Informationsblätter zur Fortbildung von Lehrern an höheren Schulen

Wissenschaftliche Nachrichten

Herausgegeben vom BMfWuK

Nr. 58 — Jänner 1982

ZENTRALBIBLIOTHEK FÜR PHYSIK IN WIEN

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 Physiker!
In der Zeit vom 8. bis 13. August 1982 wird an der Universität Sheffield eine internationale Konferenz über den **Unterricht in Statistik** abgehalten. Schriftliche Anfragen sind zu richten an
The Conference Secretary, Intern. Conf. on the Teaching of Statistics, Dep. of Probability and Statistics, the University Sheffield, S3 7RH, England.

Zur Beachtung!

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

INHALT:

Seite

Danksagung . . . 2

GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME

Buchbesprechung — Einführung in die Naturphilosophie . . . 2

BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Eiszeiten und ihre Entstehung . . . 3
Immissionswirkungen an Bäumen und Waldbeständen . . . 7
Geologische Forschung . . . 8
Lebende Resourcen des Meeres . . . 9
Zur Behandlung von Gefäßkrankheiten . . . 9
Mycorrhiza . . . 9
Kurznachrichten . . . 10

CHEMIE

Molekulare Selbstorganisation . . . 14
Sonnenenergie — elektrochemisch genutzt . . . 17
Kurznachrichten . . . 18
Buchbesprechung . . . 19

EXPERIMENTALPHYSIK

Einfache elektronische Druckmessung im Bereich von Vorvakua bis doppeltem Luftdruck mit LX 503 . . . 19
Einfache, überschaubare Wellenwanne . . . 20
Perfektes Multimeter für Demonstration . . . 21
Modellversuch zum Fehlerstromschalter . . . 22

MATHEMATIK

Kreisketten im Schnitt — Doppelsegment zweier Kreise (2. Teil) . . . 23
Einige diophantische Gleichungen (2. Teil) . . . 27

PHYSIK, ASTRONOMIE

Kreisbahnen — Abschied von der Zentrifugalkraft . . . 30
Demonstration einer komplexen Beugungserscheinung . . . 33
Leserbriefe zum Artikel „Ein einfaches Modell . . ." und zum Artikel „Anwendungen der Integralrechnung" . . . 35
Ein selbstgebautes, digital anzeigendes Polarimeter . . . 36
Transuran Z=107 nachgewiesen . . . 38
Bei Cern fand man das erste Baryon mit „nacktem" Beauty . . . 38
G 109.1-1.0, ein Analogon zu SS 433 . . . 39
Raumsonde mißt gravitative Linienverschiebung . . . 39
3-D-Filme mittels Holographie? . . . 40
Meteoritenkrater in Algerien . . . 40
Die Milchstraße ist viel größer als man dachte! . . . 41
Die Suche nach anderen Planetensystemen . . . 42
Die Windströmungen in der Venusatmosphäre . . . 43
Das Forschungsanliegen TeV-Höhenstrahlung . . . 43
Kurznachrichten . . . 44
Buchbesprechungen . . . 48

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE, WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Weltentwicklungsbericht 1981 . . . 49
Sozialstatistische Daten (Österreich) 1980 . . . 50
Hinweise auf Neuerscheinungen . . . 51

DANKSAGUNG

Ab 1. 1. 1982 tritt das **Bundesministerium f. Unt. u. Kunst** als Eigentümer und Verleger der „Wiss. Nachr." an die Stelle des **Hauptverbandes d. Öst. Sparkassen** sowie als Herausgeber an die Stelle der **Arbeitsgemeinschaft der Physiklehrer** an den allgemeinbildenden höheren Schulen in Wien.

Seit etwa eineinhalb Jahrzehnten kamen das BMUK zu zwei Drittel, der Hauptverband d. Öst. Sparkassen zu einem Drittel für die Gesamtkosten der „Wiss Nachr." auf, die das **BMUK von nun an allein** zu tragen bereit ist.

Redaktion und Lesergemeinde der „Wiss. Nachr." möchten daher nicht versäumen, beiden Institutionen auch an dieser Stelle den wärmsten Dank für die bisher geleistete sowie dem BMUK für die weitere Unterstützung der Zeitschrift auszusprechen! Er gilt in besonderem Maße den Herren **Bundesminister Dr. Fred Sinowatz, Sektionschef Leo Leitner, Ministerialrat Dr. Eduard Szirucsek, Generalsekretär Dkfm. Dr. Gustav Raab** und **Frau Dkfm. Dr. Eva Pohl-Fessel,** bei denen wir mit unseren Anliegen stets auf größtes Verständnis, bereitwilliges Entgegenkommen und großzügige Hilfsbereitschaft stießen.

Autoren und Redaktion der „Wiss. Nachr." werden sich auch in Hinkunft bemühen, das in sie gesetzte Vertrauen durch eine möglichst hochwertige Gestaltung des Fortbildungsorganes zu rechtfertigen.

Dr. Walter Kranzer

GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME

Dr. Franz Anton

Buchbesprechung

Drieschner, Michael: Einführung in die Naturphilosophie. 1981. VIII, 148 S. mit 21 Textabbildungen und 1 Faltkarte, kart. Ladenpreis DM 36,– (für Mitglieder der Wissenschaftlichen Buchgesellschaft Darmstadt DM 21,–).

Diese Einführung will der Tatsache entgegenwirken, daß der Umsturz im Bild von der Wirklichkeit, den die moderne Physik eingeleitet hat, zu wenig ins allgemeine Bewußtsein eingedrungen ist. Der Verfasser hält eine Aufbereitung für die Allgemeinbildung für notwendig. Es wird hingewiesen auf die Forschungsergebnisse und Theorien der gegenwärtigen Physik, und es werden die allgemeinen naturphilosophischen Probleme aufgezeigt, die sich daraus ergeben. Naturphilosophie wird dabei verstanden als ein Weiterfragen auf der Grundlage der Naturwissenschaft; das Thema „Physik und Philosophie" soll nicht abgehandelt sein. Dementsprechend ist das Philosophische das zentrale Anliegen des an Umfang kleinen Werkes, das Naturwissenschaftliche dient als Anregung. Letzteres ist, wenn schwierig zu verstehen, kleingedruckt, und muß in solchem Falle nicht für den Fortgang der gesamten Gedankenkette zugrunde gelegt werden. Freilich, die Behauptung, daß „jeder mit den üblichen Schulkenntnissen in Mathematik" den dargestellten Gedankengängen folgen könne, scheint dem Rezensenten doch mehr ein Wunsch zu sein.

In den Kapiteln „Relativität der Gleichzeitigkeit", „Geometrisierung der Schwerkraft", „Quantentheorie", „Wahrscheinlichkeit", „Der Physikalische Objektbegriff", „Interpretation der Quantenmechanik" (III bis VIII) wird die Fülle des Materials, häufig mit sehr anschaulichen Beispielen, angedeutet. Die Erörterung des Objektbegriffes verzahnt die Naturwissenschaft mit der Philosophie. In den Kapiteln „Naturphilosophie", „Was ist wirklich?" (I und II) und „Evolution und Reduktionismus" (IX) liegen die Schwerpunkte der Erörterung jener Probleme, die unmittelbar zu philosophischen Fragestellungen führen. Es sind dies am Ende: „Geist und Materie" (Freiheit und Reflexion).

Die Darlegungen werden präzise und folgerichtig aus den Zusammenhängen entwickelt. Der Verfasser schließt hiebei an bereits früher von ihm vertretene Gedankengänge an. Sie sind:

Jede physikalische Theorie betrachtet nicht die „Wirklichkeit", sondern behandelt idealisierte physikalische Objekte, und zwar idealisiert in zweierlei Hinsicht: a) dadurch, daß die einzelnen Dinge als aus der Gesamtheit herausgetreten, und b) dadurch, daß jeweils nur einzelne Eigenschaften der Dinge betrachtet werden. Der Schlüsselbegriff der Physik sei die Voraussage. Sie beschreibt nur einen der Aspekte der Wirklichkeit (S. 85, S. 89, S. 129).

Die Welt ist keine gigantische Maschine, dem Gedanken des Laplaceschen Dämons wird die Absage erteilt. Der Mensch entwickelt sich schöpferisch zur Freiheit hin. (Schlußkapitel zusammenfassend)

Es sind verschiedene Welten möglich (S. 116).

Die Naturwissenschaft überhaupt kann dann nur sein: Eine Theorie für Voraussagen über empirisch entscheidbare Alternativen (S. 92).

Die Naturphilosophie soll analysieren, inwiefern die Naturwissenschaft eine Spezialisierung ist oder, anders ausgedrückt, was ihre Voraussetzungen sind. Sie setzt sich daher ab von Wissenschaftswissenschaft (Geschichte der Naturwissenschaften) und Wissenschaftstheorie (Untersuchung der Methode der Naturwissenschaft). (S. 1 ff.)

Diese freie Deutung der Naturphilosophie sei dadurch gerechtfertigt, daß sie als Fach aus dem akademischen Betrieb praktisch verschwunden ist. An diesem Punkt könnte freilich die Kritik einsetzen. Das Problem der Deutung des gesamten Naturgeschehens als Aufgabe der Philosophie, wenn auch nicht gegen die „Erfahrung" der Naturwissenschaften, bleibt. (Platons und Kants Fragestellungen werden verständnisvoll in Rechnung gestellt.)

Jedenfalls: Der Versuch des Verfassers ist beachtenswert, divergierende Lösungsversuche der Naturwissenschaften zu vermerken, auf deren ungelöste Probleme hinzuweisen, die Grenzen der naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise anzudeuten, so daß es der Philosophie verwehrt ist, voreilig allgemeine (weltanschauliche) Schlüsse aus den Forschungsergebnissen der gegenwärtigen Naturwissenschaft zu ziehen. Da der Verfasser selbst das Problem der Freiheit menschlichen Handelns – „Frei handelt derjenige, der tut, was er tun soll" (S. 132) – in seine Betrachtungen einbezieht, so kann das kleine Werk als ein Beitrag zu dem nicht immer gesehenen Gesamtproblem der Philosophie, auch in unserer Zeit angesehen werden, nämlich sich darum zu mühen, das Verhältnis von Bewußtsein (Ich), Kosmos (Welt) und Sphäre des Menschlichen (Existenz) zu erhellen.

Im Anschluß an die Lektüre dieser Einführung in die Naturphilosophie könnte man sich wünschen, daß den Lehrern der Philosophie an den Höheren Schulen ein Fortbildungslehrgang im Sinne und mit dem didaktischen Geschick M. Drieschners geboten würde. Eines lehrt das Büchlein: Die Grundprinzipien der modernen Naturwissenschaft sollen auch dem nicht naturwissenschaftlich gebildeten Philosophen verständlich sein.

BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Prof. F. Muckenhuber

Herbert Summesberger[1])

Eiszeiten und ihre Entstehung

Eiszeiten in der Erdgeschichte

Mit den faszinierenden Problemen der Eiszeiten beschäftigen sich heute mehr Forscher auf der Erde als je zuvor. Es gibt eine internationale Quartär-Vereinigung (INQUA) und zahlreiche nationale Forschergruppen. Die grundsätzliche Frage lautet immer noch: Wie konnte es auf der Erde zu Vereisungen solchen Ausmaßes kommen?

Um das globale Ausmaß der Vereisungen erfassen zu können, müssen wir einige Vergleiche anstellen. Das heutige antarktische Inlandeis, das grönländische Eis und die gegenwärtigen Gebirgsgletscher bedecken zusammengenommen eine Fläche von etwa 15 Millionen Quadratkilometern. Die maximale Ausdehnung des pleistozänen Eises zur Riß-Zeit betrug etwa 49 Millionen Quadratkilometer. Die Dicke des antarktischen Eises beträgt heute bis über 4 Kilometer, auch das grönländische Eis ist über 3000 Meter dick. Ähnliche Werte sind für den pleistozänen Eisschild Europas errechnet worden, der nordamerikanische soll über 4000 Meter dick gewesen sein. Die heutige Eismasse des antarktischen Schildes kann man auf 24 Millionen Kubikkilometer schätzen. Ein Abschmelzen ließe den Ozeanspiegel um 75 Meter ansteigen und große Teile der bewohnten Welt in den Fluten versinken.

Beginn vor Millionen Jahren				
1,8	Quartär	*	KÄNOZOIKUM	Große Eisausdehnung auf Nord- u. Südhalbkugel
65	Tertiär			Eisbildung in der Antarktis
135	Kreide		MESOZOIKUM	
190	Jura			
230	Trias			
270	Perm	*	PALÄOZOIKUM	Gondwana-Eiszeit auf der Südhalbkugel (Südafrika, Südamerika, Antarktis, Indien, Australien)
345	Karbon			
400	Devon	*		Eiszeit auf der Südhalbkugel (Brasilien, Kongo)
440	Silur			
500	Ordovizium	*		Eiszeit in der Sahara, Tafelberg-Vereisung in Südafrika
600	Kambrium			
		*	PRÄKAMBRIUM	Jungalgonkische Vereisung auf den Nord- und Südkontinenten (Australien, Afrika, Skandinavien)
1900	Algonkium			
3200		*		Transvaal-Eiszeit in Südafrika
4500	Archaikum			Huronische Eiszeit i. Nordamerika

Abbildung 1: Eiszeiten in der Erdgeschichte. Die Sterne repräsentieren je eine kryogene Periode. Die Tabelle ist dem Faltprospekt „Die Welt im Eiszeitalter" entnommen. NhMW.

[1]) Dr. Herbert Summesberger, Naturhistorisches Museum Wien, 1014 Wien, Burgring 7.

Nach diesem vergleichenden Exkurs kehren wir zu unserer Fragestellung zurück: wie ist es dazu gekommen?

Grundsätzlich ist zu entscheiden zwischen Zeiten der Erdgeschichte, in denen Vereisungen prinzipiell möglich sind oder gewesen sind (kryogene Perioden) und Zeiten, in denen Vereisungen prinzipiell nicht möglich gewesen sind (akryogene Perioden). In den kryogenen Perioden waren wenigstens die Polgebiete vereist.

Gesucht wird: der Steuerungsmechanismus für die kryogenen Zeiten. Betrachten wir die Zeitskala (Abb. 1), so fällt auf, daß in kryogenen Zeiten immer ein Kontinent in Pol-Lage gewesen ist. Die Pole – Durchstoßpunkte einer gedachten Erdachse – verändern ihre Lage prinzipiell nicht, wohl aber die Kontinente. Sie driften auf ihrer spezifisch schwereren Unterlage. Passiert ein Kontinent auf seiner Driftroute einen Pol, so sind die Voraussetzungen für den Aufbau einer Eiskappe gegeben. Eine kryogene Zeit ist angebrochen. Verläßt der Kontinent das Polgebiet wieder, ist die kryogene Zeit vorbei.

Nur eine Festlandsmasse wie heute die Antarktis oder Grönland ist in der Lage, einen Eisschild von mehreren tausend Meter Dicke zu tragen. Auf dem Meer kann sich nur eine Eisschicht von einigen Metern Dicke bilden. Die Polgebiete sind, durch den flachen Einfallswinkel bedingt, zu allen Zeiten die kältesten Gebiete der Erde. Wenn eine polare Eiskappe vorhanden ist, kann das Weltmeer durch eine zirkumpolare Strömung mit Kaltwasser versorgt werden.

In der Erdgeschichte ist meist Afrika jener Kontinent gewesen, der eine Eiskappe trug, doch sind Vergletscherungen des Paläozoikums auch von Südamerika, Indien, Australien bekannt. Polare Eiskappen auf den Nordkontinenten sind aus dem Präkambrium nachgewiesen.

Somit stellt sich die Kontinentaldrift als der gesuchte Steuerungsmechanismus der kryogenen Perioden dar. Sie allein genügt jedoch nicht zur Erklärung des Gesamtphänomens Eiszeiten. Wir werden später darauf zurückkommen. Vorerst ein Blick auf die quartäre Eiszeit – das Pleistozän.

Die quartäre Eiszeit – das Pleistozän

Das Pleistozän hat vor 1,8 Millionen Jahren begonnen und ist vor rund 12.000 Jahren zu Ende gegangen. Das bedeutet keinesfalls, daß auch die kryogene Periode zu Ende ist. Wir leben mitten darin. Betrachten wir die pleistozäne Wechselfolge von Kaltzeiten und Warmzeiten, so ergibt sich beinahe zwangsläufig, daß wir eben eine Wärmeperiode nach einem Eisvorstoß erleben.

Die bekanntesten Eisvorstöße des Pleistozäns heißen nach bayerischen Flüssen Günz, Mindel, Riß und Würm. Damit sind jene Zeitabschnitte gemeint, in denen sich die Terrassen der genannten Flüsse gebildet haben. Der Beginn des Pleistozäns wird nicht mit dem Einsetzen der Vereisungen definiert, dieses Ereignis wäre zu unpräzise und ist zu ungenau bekannt. Als Leitereignis für den Beginn des Pleistozäns wird heute das Erstauftreten der Foraminifere Globorotalia truncatilinoides in den Weltmeeren anerkannt. Das Ende des Pleistozäns wird allgemein mit dem Rückzug des Eises gleichgesetzt, die genaue Definition des Zeitpunktes ist noch Gegenstand der Diskussion.

Die großen Eisvorstöße des Pleistozäns – im allgemeinen Sprachgebrauch werden sie oft als „Eiszeiten" bezeichnet – treten weltweit mehr oder weniger gleichzeitig auf. Damit soll hervorgehoben werden, daß sie nicht auf eine Hemisphäre beschränkt sind. Die unterschiedlich großen Eisschilder erstreckten sich jeweils von den Polgebieten bis in die gemäßigten Breiten.

Früher hatte man angenommen, daß einer Eiszeit in den Nord- und Südgebieten eine Pluvialzeit – eine Regenzeit – in äquatornahe gelegenen Zonen der Erde entsprechen müsse. Nach neuesten Forschungen ist dies keineswegs der Fall gewesen. Das Gegenteil war eingetreten. Während der Zeit maximaler Vereisung in den Polregionen kam es zur Austrocknung der Kontinente um den Äquator, selbst in eisrandnahen Gebieten dominierten Steppen und Wüsten. Gro-

		Geologische Zeitskala	Absolute Zeitskala	Donauterrassen bei Wien	Großsäugetiere	Urgeschichte
QUARTÄR	Holozän	Postglazial		Zone der rezenten Mäander	Wisent	Eisenzeit Bronzezeit Jungsteinzeit Mittlere Steinzeit
			10 000			
	Pleistozän	WÜRM		Praterterrasse	Mammut, Wollhaarnashorn, Riesenhirsch, Auerochs, Wisent	Jüngere Altsteinzeit Mittlere
			70 000			
		Riß/Würm Interglazial				
			120 000			
		RISS		Stadt-Terrasse		
			275 000			
		Mindel/Riß Interglazial				
			350 000			
		MINDEL		Arsenal-Terrasse	Arvernernashorn, Südelefant, Etruskernashorn, Wisent	Frühe Altsteinzeit
			500 000			
		Günz/Mindel Interglazial				
			750 000			
		GÜNZ		Wienerberg-Terrasse		
			900 000			
		Donau/Günz Interglazial				
			1 550 000			
		DONAU		Laarberg-Terrasse		
			1 790 000			
TERTIÄR	Pliozän					Kaltzeiten

Abbildung 2: Übersichtstabelle Quartär. Die Kaltzeiten sind durch Rasteraufdrucke hervorgehoben.

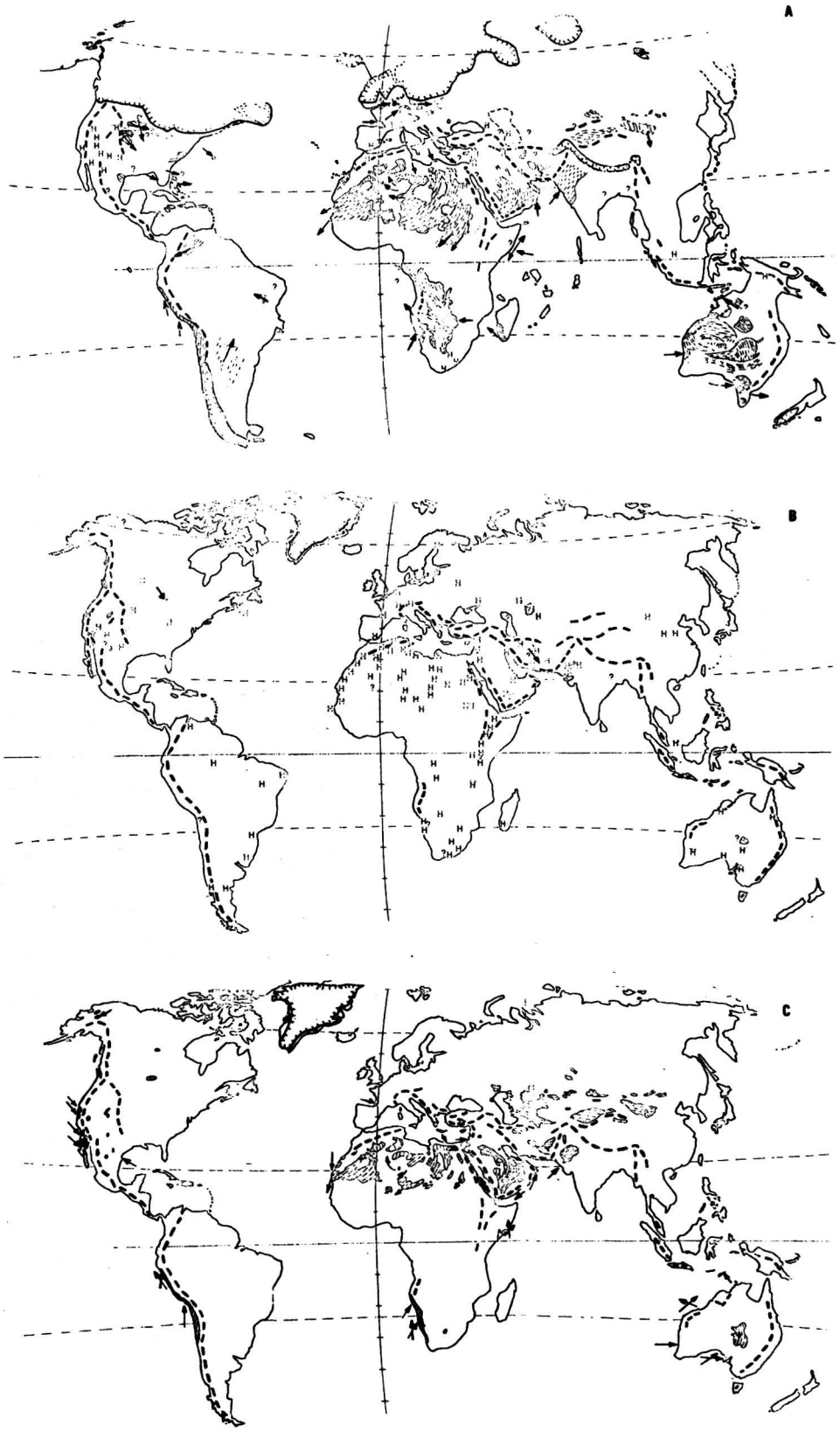


Abbildung 3: Die Beziehungen zwischen Vereisungen und Wüstenbildung. Legende: Starke unterbrochene Linien: Gebirgszüge. Gezahnte starke Linien: Gletschereis. Strichlierte Areale: Gebiete aktiver Dünen. Pfeile: Nachgewiesene Bodenwindrichtungen. H-Symbole: Gebiete mit nachgewiesen feuchtem Klima.

A: Maximale Eisausdehnung geht mit maximaler Wüstenbildung einher. Situation vor 20 000 Jahren.

B: Zu Zeiten des Klimaoptimums vor rund 6000 Jahren sind nahezu alle Wüstengebiete verschwunden gewesen. Zahlreiche Nachweise von feuchtem Klima in heutigen Wüstengegenden.

C: Die heutige Verteilung von Wüsten und Eis zeigt an, daß die Gebiete aktiver Dünenbildung seit dem Klimaoptimum stark zugenommen haben. Die Austrocknung der Sahel-Zone in Afrika ist selbst für das relativ kurze Menschenleben direkt beobachtbar.

Grafik nach M. Sarnthein, 1978.

ße Wassermengen waren in Form der Inlandeismassen gebunden, daher lagen weite Schelfgebiete trocken. Die Ozeanflächen waren kleiner, die Temperaturen waren stark abgesunken, daher war die in der Atmosphäre zirkulierende Wassermenge bedeutend geringer. Die Ausdehnung aktiver Wüsten mit wandernden Dünen muß während der Kaltzeiten bedeutend größer gewesen sein als heute. Für die Würmzeit ist dies nachgewiesen (Abb. 3).

In den Zwischeneiszeiten war das Gegenteil der Fall. Große Wassermengen wurden frei, die Ozeanspiegel stiegen weltweit an. Die maximale Amplitude der Meeresspiegelschwankungen betrug bis zu 200 Meter. Der Nachweis dafür gelingt mit den Brandungsterrassen an den Küsten. Kaltzeitliche Terrassen und kaltzeitliche Korallenriffe befinden sich heute in mehreren Zehnermetern Tiefe, warmzeitliche Terrassen und Korallenriffe liegen dagegen heute landeinwärts trocken. In den Warmzeiten ist auch der Feuchtigkeitsgehalt der Lufthülle größer gewesen. Ein Beispiel dafür ist das sogenannte Klimaoptimum vor etwa 6000 Jahren, nach dem Ende der Würmvereisung.

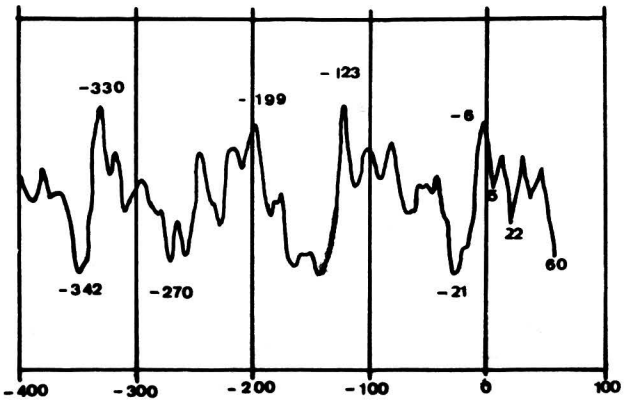


Abbildung 5: Die Schwankungen des Sauerstoffisotopenverhältnisses $0^{16} : 0^{18}$ in den Kalkschalen von Foraminiferen und Mollusken geben ein getreues Bild von den Temperaturschwankungen des Meerwassers in der Vergangenheit. Die Proben stammen aus Tiefseebohrkernen, die Kurve ist auf 400 000 Jahre zurückgezeichnet und basiert ausschließlich auf echten $0^{16} : 0^{18}$-Verhältniszahlen. Die Fortsetzung in die Zukunft (60 000 Jahre) gehen auf Computerberechnungen für ein selbstgesteuertes Eiszeitmodell zurück. Grafik nach André Berger, 1980.

Die Milanković-Strahlungskurve

Wir haben die Kontinentaldrift als entscheidenden Faktor für die Ursache kryogener Perioden kennengelernt. Sie reicht jedoch nicht aus, um die gewaltigen Eisvorstöße des Pleistozäns zu erklären. Wodurch werden diese Vorstöße und Rückzüge gesteuert? Eine ganze Reihe einander ergänzender und verstärkender Faktoren kommt dafür in Betracht. Entscheidender Einfluß scheint den regelmäßigen Schwankungen im Erde/Sonne-Verhältnis zuzukommen.

Der Abstand der Erde zur Sonne ist nicht gleichbleibend. Alle 92 000 Jahre ist ein Maximum erreicht und damit ein Minimum an Sonnenenergieeinstrahlung.

In regelmäßigen Abständen von 21 000 Jahren durchläuft der Zeitpunkt der jährlich größten Sonnennähe alle Jahreszeiten. Fällt das Perihel in den Sommer, so kommt es zu Extremwerten, fällt es in den Winter, so werden die Jahreszeiten ausgeglichener.

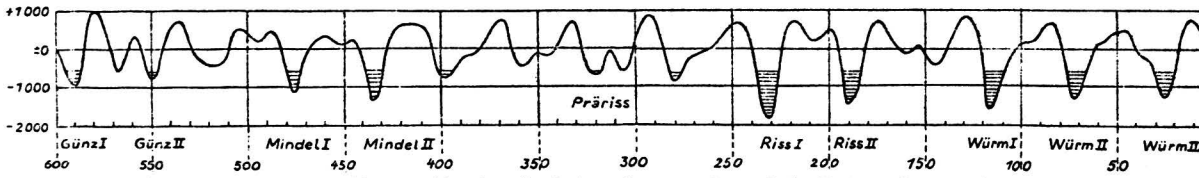


Abbildung 4: Strahlungskurve von Milanković zeigt die Schwankungen der auf die Erde treffenden Strahlungsmenge. Diese resultieren aus den zyklischen Veränderungen der Beziehung zwischen Sonne und Erde. Die Strahlungskurve ist auf 600 000 Jahre zurückberechnet und wurde lange Zeit als allein verantwortlich für die Entstehung von Eiszeiten angesehen.

Die Neigung der Erdachse zur Umlaufbahn um die Sonne pendelt in einem Zeitraum von 23 000 Jahren zwischen 24° 36' und 21° 58'. Dadurch ändert sich das Reflexionsverhalten der Erdoberfläche. Kontinente in Äquatornähe, insbesondere die Wüsten, reflektieren bis zu 65 % der eingestrahlten Energie, Ozeane dagegen nehmen bis zu 94 % der Energie auf. Eine kleine Änderung des Neigungswinkels kann den Energiehaushalt der Erde auf einige tausend Jahre entscheidend mitbeeinflussen.

Diese Schwankungen der Energieeinstrahlung hat der Astronom Milanković auf mehrere hunderttausend Jahre zurückberechnet. Seine Strahlungskurven (Abb. 4 und 5) wurden in der Folge als alleinverantwortlich für die Entstehung der „Eiszeiten" – unserer kryogenen Perioden – angesehen. Die Strahlungsminima wurden mit den großen Eisvorstößen Günz, Mindel, Riß und Würm identifiziert. Die Zeiten maximaler Einstrahlung mit den Zwischeneiszeiten. Die astronomischen Berechnungen sind seither mehrmals nachgerechnet worden und gelten im Prinzip als richtig. Schwierigkeiten ergeben sich mit der zeitlichen Abstimmung auf die großen glazialen Ereignisse. Als alleinige Ursache für Eiszeiten im Sinne kryogener Perioden kommen die astronomischen Schwankungen jedoch nicht in Betracht. Mit ihrer Hilfe kann man Temperaturschwankungen von etwa 4° erklären. Sie reichen nicht aus, Temperaturunterschiede von 10 bis 12° zu begründen. Wir müssen allerdings die Schwankungen der Energiezufuhr von der Sonne zur Erde als Faktor betrachten, der großen Einfluß auf den Aufbau der Eismassen hat.

Das Klima der Erde ist äußerst labil

Wie wir wissen, ist es sehr schwierig, das Wetter auch nur für kürzere Zeitabschnitte zu prognostizieren. Zu viele Faktoren spielen bei der Gestaltung des täglichen Wetterablaufs mit. Ebenso verhält es sich mit dem Klima. Seit dem Ende des Pleistozäns gab es große Schwankungen. Es sei nur an den Vorstoß der Gletscher im 17. Jahrhundert erinnert. Dieser brachte einen Großteil des alpinen Silber- und Goldbergbaus zum Erliegen. Die Stollen verschwanden unter den Gletschern. Erst in unserem Jahrhundert ist manches Stollenmundloch wieder vom Eis freigegeben worden. Um 1850 und zwischen 1911 und 1925 erfolgten weitere Vorstöße alpiner Gletscher. Dazwischen lagen Abschmelzperioden. Seit einigen Jahren ist wieder ein allgemeines Vorrücken zu beobachten. Diese Gletscherbewegungen geben ein getreuliches Bild von den Klimaschwankungen unserer Erde wieder, die die Menschheit überblicken kann. Größere Zyklen erkennen wir nur aus geologischen und biologischen Dokumenten.

Etwa um 4000 v. Chr. war eine Zeit des günstigsten Klimas (Klimaoptimum) auf der Erde. Um diese Zeit finden wir die großen Wüsten der Erde grün. In der Sahara herrschte reiches Tierleben. Aus Darstellungen des prähistorischen Menschen wissen wir, daß Elefanten und sogar Nashörner die Sahara bevölkerten. Dann begann eine Austrocknungsphase, die heute noch anhält. Die Menschen mußten sich in den Oasen zusammendrängen. Unter dem Druck der Klimaverschlechterung entstanden die Hochkulturen Altägyptens und Mesopotamiens.

Ein Modell zum Verständnis der Eiszeiten

Versuchen wir an Hand eines Modells zu rekonstruieren, wie es zu Vereisungen auf der Erde kommen konnte.

Im Jungtertiär befindet sich die Antarktis bereits in der Region des Südpols. Die Bildung eines Eisschildes beginnt. Die anwachsende Eismasse entzieht dem Ozean mehr und mehr Wasser. Der Ozeanspiegel beginnt zu sinken.

Der Effekt der Strahlungskurve tritt hinzu. Es kühlt weiter ab. Die antarktische Eiskappe vergrößert sich, auch Grönland trägt eine kompakte Inlandeismasse. Allmählich fallen die Schelfgebiete der Kontinente trocken. Das Verhältnis von absorbierter Energie zu reflektierter Energie wird immer ungünstiger.

Die großen Eisfelder lassen eine weitere Erscheinung wirksam werden – die Albedo. Albedo nennt man die Reflexionskraft schnee- und eisbedeckter Gebiete. Sie wirft einen Großteil der in den Polgebieten ohnehin nur spärlich auftreffenden Sonnenenergie zurück. Große Teile der Nordhalbkugel werden immer länger von winterlichen Schneedecken überzogen. Dadurch steigert sich die Albedo weiter. Jetzt verschwinden große Teile Europas und Nordamerikas unter riesigen Eispanzern. Die Eisdicken betragen bis über 4000 Meter. Die Ozeanspiegel sind um mehr als 100 Meter abgesenkt. Ein zirkulierender Kaltwasserstrom um die Antarktis versorgt die Weltmeere mit Kaltwasser. Der Golfstrom, heute ein unerschöpflicher Energiespender Nordeuropas, wird an der Islandschwelle abgelenkt und erreicht nicht einmal mehr die Iberische Halbinsel. Der Nordatlantik ist jetzt bis auf die Höhe von Island zugefroren. Südlich davon kreist ein treibeisbeladener Katwasserstrom. Jetzt ist die maximale Eisausdehnung erreicht. Die Auflast der Eismassen drückt die Kontinente um mehrere hundert Meter in die Tiefe. Die durchschnittliche Höhe der Eisschilde liegt dennoch etwa 2000 Meter über dem Meer.

Der Aufbau der Eiskappen geht anfangs wohl langsam vor sich. Er benötigt viele Zehntausende bis Hunderttausende Jahre. Der katastrophale Eisvorstoß über Nordamerika, Europa und alle Hochgebirge der Erde vollzieht sich jedoch innerhalb weniger tausend Jahre.

Wir haben jetzt in unserem Modell maximale Eisausdehnung erreicht. Jetzt müßte der umgekehrte Vorgang einsetzen. Wir wissen, daß die Natur nur wenige tausend Jahre zur Verfügung gestanden haben, diese gewaltigen Eismassen zum Schmelzen zu bringen. Unser Modell steuert sich selbst. Es ist schwierig geworden, die riesigen Eisfelder mit dem nötigen Nachschub an Schnee zu versorgen. Die Erde ist ausgetrocknet. Der feuchtigkeitsbringende Golfstrom existiert nicht mehr. Die Strahlungsaktivität der Sonne ist bereits längst wieder am Höhepunkt angekommen. Die jährlich abschmelzende Eismenge kann nicht mehr ersetzt werden. Die Albedo wird auch immer geringer, je weiter die Eisflächen zurückweichen. Die Ozeanspiegel steigen wieder an. Die Meeresoberfläche vergrößert sich und nimmt mehr und mehr Energie auf. Die Strömungssysteme verteilen die Energie wieder weiter nach Norden. 10 000 Jahre nach der größten Eisausdehnung gibt es nur mehr geringe Eisreste.

Die Eismassen Grönlands und der Antarktis bleiben allerdings stabil. Der Eisvorstoß ist vorbei, die kryogene Periode bleibt bestehen, der Zyklus kann sich wiederholen.

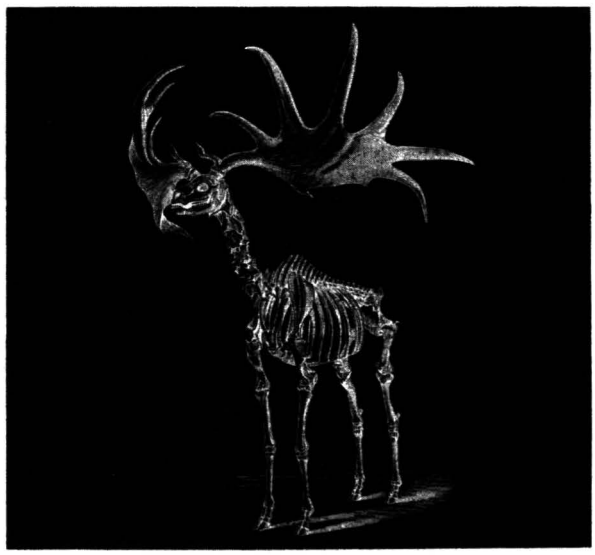


Abbildung 6: Riesenhirsch *(Megaceros giganteus)* nach einem Stich aus der Jagdzeitung (Jg. 1875). Das Originalstück des Irischen Riesenhirsches befindet sich in der Eiszeit-Ausstellung des Naturhistorischen Museums in Wien. Mit einer Geweihauslage bis über 4 Meter ist der Irische Riesenhirsch der größte Geweihträger aller Zeiten. Man hat viele hervorragend erhaltene Skelette in irischen Torfmooren gefunden. Diese sind jünger als 10 000 Jahre und belegen, daß der Riesenhirsch in Europa auch noch nach dem Ende der letzten großen Vereisung vorgekommen ist.

Die Erscheinungen der Kaltzeiten

Dem mehrmaligen Klimawechsel im Pleistozän mußte sich die Pflanzenwelt anpassen. Während es in den Zwischeneiszeiten in Europa weite Laub- und Nadelwälder gab, herrschten in den Kaltzeiten Tundren- und Kältesteppegesellschaften. Nördlich der Alpen und Karpaten gab es keine zusammenhängenden Wälder. Erst im Mittelmeerraum gab es verbreitet Laubwälder. Als Rest der eiszeitlichen Flora hat sich die Silberwurz *(Dryas octopetala)* ins Hochgebirge zurückgezogen.

Auch auf die Tierwelt ergaben sich tiefgreifende Veränderungen. Charaktertiere der Riß/Würm-Zwischeneiszeiten waren das etruskische Nashorn, der Deningerbär, der europäische Säbelzahntiger. In der Würmzeit waren diese verschwunden. Mammutherden, Herden des Przewalskipferdes, das Wollhaarige Nashorn, Auerochs, Wisent und der Riesenhirsch*) bevölkerten die Steppenlandschaft. Alle sind heute ausgestorben, wie auch die großen Raubtiere der Würmzeit: Höhlenlöwe, Höhlenbär und Höhlenhyäne. Steinbock und Murmeltier bewohnten die Mittelgebirge und die Niederungen. Sie haben sich heute ins Hochgebirge zurückgezogen. Elch, Rentier, Moschusochse, Vielfraß, Wolf und Luchs sind nach Norden und Osten ausgewichen.

Während der Kaltzeiten bildete sich in Mitteleuropa und in großen Teilen Asiens ein charakteristisches Sediment: der Löß. Löß ist ein verfestigtes Flugstaubsediment, das in Randgebieten der großen Eismassen entstanden ist. Es stammt aus dem Feinmaterial der Moränen und wurde durch starke Winde in der waldlosen Landschaft verdriftet.

Ausblick

Aus modernen Berechnungen der Milanković-Strahlungskurve in die Zukunft ergab sich, daß sich die Erde bereits seit etwa 6000 Jahren in einem Zeitraum steter Klimaverschlechterung befindet. Danach wären in etwa 4000 Jahren die ersten gravierenden Temperaturrückgänge zu erwarten, das nächste Minimum der Energieeinstrahlung würde bis in etwa 60 000 Jahren bevorstehen.

*) Ergänzende Informationen in der Dauerausstellung „Die Welt im Eiszeitalter" im Naturhistorischen Museum Wien.

Literaturangaben:
Thenius, E.: Eiszeiten – einst und jetzt. Kosmos Bibliothek, Bd. 284, Stuttgart 1974.
Summesberger, H.: Die Welt im Eiszeitalter. Faltbroschüre, Naturhistorisches Museum Wien. Wien, 1980.

Immissionswirkungen an Bäumen und Waldbeständen

In unserem Lande ist eine besonders enge Verzahnung von Industrie und Waldgebieten gegeben. Die Fichte hat die größte forstwirtschaftliche Bedeutung, ist aber gleichzeitig besonders empfindlich gegenüber bestimmten Immissionen. Schwefeldioxid und Fluorwasserstoff werden den Baumbeständen vor allem gefährlich; sie können zunächst einmal die Assimilationsorgane betreffen. Die gasförmigen Schadstoffe dringen überwiegend durch die Spaltöffnungen in das Pflanzeninnere und entfalten dort einmal direkte Wirkungen. Dabei haben sie die Kutikula, die Zellwand und das Plasmalemma als Barrieren zu überwinden. Auch die Kutikula ist nicht undurchlässig für Wasser und wasserlösliche Substanzen. In dem Imbibitionswasser der Zellwände lösen sich die eingedrungenen Schadgase. Das Plasmalemma verfügt über ein gewisses Wahlvermögen, d. h. in das Plasma können nur jene Ionen leicht eindringen, die als essentielle Elemente von der Pflanze benötigt werden. Es hängt aber vielfach von der Konzentration der gebotenen Ionen ab, ob das Plasmalemma seiner Wahlfähigkeit Genüge leisten kann. Bei geringen Konzentrationen verbleiben die nicht aufgenommenen Ionen in der Zellwand, wo sie mittels des Transpirationsstromes zu den Rändern oder Spitzen der Blätter transportiert werden. Dort kommt es dann zu derartigen Konzentrationsanstiegen, daß das Plasmalemma außer Funktion gesetzt wird und die Ionen in das Zellinnere einwandern und die Zelle zerstören können.

Die vielfältigen Prozesse, die durch gasförmige Schadstoffe induziert werden, finden auf verschiedenen Ebenen statt.

Zunächst kann es zur Störung der Spaltöffnungsfunktion kommen, wobei je nach Konzentration, Einwirkungsdauer und Art des Schadstoffes alle Möglichkeiten, von der Auslösung von Schließbewegungen bis zur Öffnungsstarre, verbunden mit letalem Wasserverlust, eintreten können. Im Zellinneren laufen weitere Prozesse ab, die z. B. Veränderungen der photosynthetischen CO_2-Fixierung betreffen, aber auch Beeinträchtigungen der Membranfunktionen und der Plasmaeigenschaften nach sich ziehen können. Auch die Modifizierung von Enzymproteinen und daraus resultierende Stoffwechseleffekte wurden als Folge der Einwirkung verschiedener Schadstoffe festgestellt.

Die zahlreichen, auf Zellniveau ablaufenden Prozesse können schließlich auch äußerlich in Form meist brauner Nekrosen makroskopisch sichtbar werden. Diese aus vielen Rauchschadenuntersuchungen bekannten, dem freien Auge sichtbaren Symptome an den Assimilationsorganen werden als „akute Schädigungen" bezeichnet. Treten aber über längere Zeiträume relativ niedrig konzentrierte Immissionen in die Blattorgane ein, dann resultieren „chronische Schädigungen", die durch das Fehlen von Nekrosen gekennzeichnet sind, sich aber dennoch auf das äußere Habitusbild einer Pflanze auswirken können. Kurztriebigkeit oder Kleinbleiben der Blattorgane sind häufig als Folge chronischer Immissionseinwirkungen zu beobachten. Die Ausbreitung von Schadstoffen vom Ort der Aufnahme über den ganzen Bereich der Pflanze wurde z. B. an Fichten nachgewiesen. Als charakteristisches Symbol tritt bei immissionsgeschädigten Bäumen das Wipfelsterben auf. Wirken sehr hohe Konzentrationen ein, kann überhaupt die normale Entwicklung zur Baumform unterdrückt werden.

Neben den bisher beschriebenen direkten Wirkungen auf Bäume und deren Organe sind auch die als Folge von Immissionen auftretenden Veränderungen vor allem im edaphischen Bereich als indirekte Wirkungen zu beachten. Durch jahrelange oft auch nur geringe Konzentrationen von sauren oder basischen Schadstoffen kann der pH-Wert des Bodens allmählich geändert werden, was schließlich auch zu einer Änderung der Artenzusammensetzung führen kann. Eine besondere Gefährdung scheint dort zu bestehen, wo auf Grund der silikatischen Bodenzusammensetzung eine nur geringe Pufferkapazität der Böden für saure Immissionen existiert und die pH-Werte langsam absinken. In diesem Zusammenhang gewinnen auch die Beobachtungen über die atmosphärische Verfrachtung vorwiegend saurer Schadstoffe über sehr große Distanzen an Bedeutung für Waldbestände, selbst in sogenannten „Reinluftgebieten".

Die Einwirkung saurer gasförmiger Immissionen auf Waldbestände kann aber auch zur Verschiebung von Konkurrenzverhältnissen beitragen: Die immissionsresistenteren Laubholzarten, die als dienende Holzarten im Nadelholzbestand eine sehr positive Rolle erfüllen, erlangen dann gegenüber der empfindlichen eigentlichen Nutzholzart Fichte wesentliche Vorteile und drängen die Fichte in den Unterstand. Anders als die indirekten Wirkungen sind die Sekundärschädigungen zu beurteilen. Dazu zählen z. B. Frostschäden, die sich in Rauchschadensgebieten verstärkt auswirken, Dürre oder der durch immissionsbedingte Auflichtungen in Waldbeständen auftretende Rindenbrand. Wenn die Vitalität der Bäume zurückgeht, werden sie auch anfälliger gegen Pilze (Hallimasch), Bakterien und tierische Schädlinge.

Die hier überblicksartig angedeutete Vielfalt der Wirkungen, die durch Immissionen an Bäumen und Waldbeständen verursacht werden können, unterstreicht die Notwendigkeit, zum Schutz der österreichischen Wälder endlich die gesetzlichen Voraussetzungen zur Begrenzung der Immissionskonzentrationen, zumindest für die Schadstoffe SO_2 und gasförmige Fluorwasserstoffsäure, zu schaffen.

(Nach einem Referat von Prof. G. Halbwachs, Universität für Bodenkultur)

Im nördlichen und westlichen Europa besteht seit 1972 ein 76 Stationen umfassendes Meßnetz zur Niederschlagsprobennahme. Es wurde im Rahmen des OECD-Programms errichtet. Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß der pH-Wert der Niederschläge in den letzten 20 Jahren von etwa 5,6 auf 3,5 gesunken ist. Die Entwicklung findet sich wohlkonserviert in den Schichten des Grönlandeises wieder, was darauf hinweist, daß die weltweit verfrachtete Luftverschmutzung zum internationalen Problem geworden ist.

Regen und Schnee sind heute in einigen Gebieten Westeuropas und der USA so sauer wie Essig (in Schottland wurden pH 2,5 gemessen).

Nach trockenen, heißen Sommern kommt es immer wieder zu einem **Tannensterben.** In manchen Gebieten Mitteleuropas macht der Verlust bereits 20 bis 30 % des Tannenbestandes aus. In jünster Zeit greift diese seltsame Krankheit auch auf andere Nadelbäume über. Eine Tagung von Pflanzenphysiologen, Forstpathologen, Bodenkundlern usw. suchte im Oktober 1980 nach den Ursachen für diese Erscheinung und mußte feststellen, daß die Krankheit komplex ist. Nahezu unbemerkt haben sich in den letzten Jahren unsere Waldökosysteme verändert. Umweltgifte mindern die Vitalität der gesamten Baumpopulationen. Die Weißtanne hat als empfindlicher Baum als erster reagiert. Bei einer gesunden Tanne ist mehr als die Hälfte des Baumes bekront. An den Ästen können 11 bis 12 Nadeljahrgänge für die Photosynthese sorgen. Die Tanne ist von großer Bedeutung für den Mischwald, weil sie mit ihrer langen Wurzel optimal zur Bodenbearbeitung beiträgt. Typisch für eine kranke Tanne ist die als „Storchennest" bezeichnete gestauchte Krone, verengte Jahresringe und ein pathologischer Naßkern. Dieser ist ungleichmäßig geformt und von einer schmalen, hellen Trokkenzone umgeben. Er wächst von den Wurzeln kommend nach oben und beherbergt viele Bakterien. Der Wassertransport wird gehemmt, die Tanne verliert ihre Nadeln von unten nach oben und von innen nach außen. Mit der abnehmenden Photosyntheseleistung geht die Vitalität des Baumes zurück: Sekundärschädlinge, wie Läuse, Bakterien, Hallimasch, können nicht mehr zurückgehalten werden. Man führt diese Entwicklung auf eine steigende Versauerung des Bodens durch die SO_2-Emission zurück. Solange genügend Niederschläge existieren, sind die Bäume ausreichend mit Wasser versorgt und der Boden wird entsauert.

(Naturwiss. Rundschau 6/1981)

Geologische Forschung

Das Tiefseebohrschiff „Glomar Challenger" wird 1983 nach zwölfjährigem Dauereinsatz ausgemustert. Es wurden bis Ende 1980 bereits zirka 878 Tiefbohrungen in den Meeresboden niedergebracht, die unser Bild vom Aufbau der Erde wesentlich verändert und Erkenntnisse gebracht haben, die die gesamte Geowissenschaft revolutionierten. Die Kontinentalverschiebungstheorie Alfred Wegeners wurde bestätigt und die Gewißheit gewonnen, daß die heutige Tiefsee nicht älter als 200 Mio. Jahre ist, die Spreizung der Ozeanböden (Sea-Flor-Spreading) wurde erkannt und die Plattentektonik konzipiert. Als Motor der Globaltektonik wurde die Konvektionsströmung erkannt. Mit dem hydraulischen Stoß-Kernrohr (hydraulic piston cerer) konnten die Sedimentationszyklen erschlossen werden, wodurch eine weltweite Klimarekonstruktion über die letzten 100 000 Jahre ermöglicht wird.

Nun arbeitet man an einem „Glomar Explorer", einem Forschungsschiff, das erheblich leistungsfähiger und auch für Tiefseebohrungen tauglich sein soll. Es wird eine erheblich größere Menge an Bohrgestänge (für 12 000 m!) mitführen und auch in polaren Breiten operieren können. Besondere Einrichtungen sollen es gestatten, auch im Tiefwasser Erdöl- und Erdgasaustritte unter Kontrolle zu halten. Selbstverständlichkeiten sind bei so einem Schiff Satelliten-Navigation mit einer Genauigkeit der Positionsbestimmung im 10-m-Bereich auf hoher See und ein dynamisches Positionierungssystem, das das Schiff notfalls über Wochen auf hoher See innerhalb eines Schlagkreises von 300 Fuß (1 ft = ca. 0,3 m) verankerungsfrei in Position zu halten gestattet. Natürlich sind die Kosten für den Einsatz dieses Schiffes gewaltig; sie sollen neben der Regierung der USA von internationalen Erdölfirmen und beteiligten Industrieländern aufgebracht werden. Außer rein wissenschaftlichen Interessen sollen die Bohrungen auch dem Aufspüren von Erdöl und anderen Bodenschätzen dienen, nach ihrer Beendigung sollen etwa langzeitregistrierende geophysikalische Meßinstrumente eingebracht werden, die die Seismizität, den Wärmestrom, Schwankungen des Magnetfeldes und anderes registrieren sollen.

Tiefseebohrungen, die während der 73. Bohrfahrt des Glomar Challenger an der Ostflanke des Mittelantlantischen Rückens auf der Höhe von Namibia niedergebracht wurden, haben neue Beweise dafür geliefert, daß sich die marine Lebewelt vor etwa 65 Mio. Jahren, d. h. an der Grenze von Erdmittelalter und Erdneuzeit, in einer großen Krise befunden hat. Damals muß es zu einem Massensterben mariner Lebewesen gekommen sein, fast zur gleichen Zeit, in der die Dinosaurier ausstarben. Auch eine Umkehr des Erdmagnetfel-

des ist in den Ablagerungen dieser Zeit zu verzeichnen. Vor 30 bis 40 Mio. Jahren begann übrigens auch die Vereisung der Antarktis.

Bohrkerne, die aneinandergereiht 134 km lang sind und von den bisher abgeschlossenen Fahrten des Tiefbohrschiffs stammen, lagern, den Wissenschaftlern der Welt zugänglich, in den Kühlräumen von geologischen Instituten in New York und in La Jolla, Kalifornien. (Umschau 8/1981)

Der **magnetische Nordpol** befindet sich derzeit bei der Insel Bathurst im nördlichsten Kanada, er bewegt sich um zirka 10 cm/Jahr in Richtung Labrador. Die Entstehung des erdmagnetischen Feldes erklärt man durch mechanische Strömungen im flüssigen äußeren Erdkern (in 2900 bis 5000 km Tiefe); dadurch werden in der elektrisch leitfähigen Materie elektrische Ströme hervorgerufen, die wieder Magnetfelder induzieren. Die Positionen der Magnetpole und deren Veränderungen in der Vergangenheit kann man durch den Nachweis des remanenten Magnetismus in den Gesteinen feststellen. Die Polwanderungskurven aller Kontinente fallen für den Zeitraum vom Silur bis in das Mesozoikum zusammen, wodurch die damalige Existenz einer einzigen Landmasse bewiesen erscheint. Vor dem Silur gab es zwei Kontinentalblöcke: Laurasia, ein Nordkontinent, und das Gondwanaland. Dann vereinigten sich diese Massen, um vor zirka 200 Mio. Jahren in die heutigen Kontinente zu zerbrechen, die seither selbständig driften mit getrennten Polwanderungskurven für Eurasien, Nordamerika, Südamerika, Afrika, Indien, Australien und Antarktis. Anfangs der sechziger Jahre hat man zudem bei genaueren erdmagnetischen Messungen auf den Weltmeeren regelmäßig verlaufende Streifen positiv und negativ magnetisierter Krustengesteine parallel zu den Riftsystemen (Mittelatlantischer Rücken) entdeckt. Das erdmagnetische Feld hat sich also in der Vergangenheit wiederholt umgepolt. Diese Umpolungen treten im Mittel alle 200 000 bis 300 000 Jahre auf; sie vollziehen sich relativ schnell während einiger Tausend bis sogar einiger Hundert Jahre. Die Zeitskala der Feldumpolungen ist bis zu 80 Mio. Jahren bereits gut erforscht. (Umschau 5/1981)

Lebende Resourcen des Meeres

Von den rund 30 000 Fischarten, die es im Salz- und Süßwasser gibt, werden nur etwa 1000 kommerziell genutzt. Aber nur wenige Arten haben wirklich merklichen Anteil an den Fangerträgen. Bis 1971 waren die Anchovisarten stark vertreten, vorwiegend die vor Peru und Chile zur Gewinnung von Fischmehl gefangene Anchoveta, von der im besten Jahr (1970) allein 13 Mio. t gefangen wurden. Nach dem weitgehenden Zusammenbruch dieser Fischerei, bedingt durch Überfischung und zeitweilige natürliche Einflüsse, bewegte sich die Fangmenge hier ab 1973 zwischen 1 bis 4 Mio. t jährlich. Eine ertragreiche Gruppe bilden die Clupeiden, insbesondere Herings- und Sardinenarten, mit durchschnittlich über 7 Mio. t jährlich. Anfang der siebziger Jahre waren die Heringsanlandungen infolge fischereilicher Überbeanspruchung der Bestände auf weniger als die Hälfte zurückgegangen und liegen 1978 nur noch bei rund 1,2 Mio. t. Eine weitere wichtige Komponente sind die Kabeljauartigen (Gadide). Die Erträge aus dieser Gruppe pendeln um 4 Mio. t. Die Makrelenartigen sind eine weitere Gruppe von Bedeutung.

Die Weltfischereierträge stiegen von zirka 4 Mio. t im Jahre 1900 auf gut 70 Mio. t im Jahre 1980. Diese gewaltige Steigerung wurde durch den Aufbau großer Fangflotten und die Verbesserung der Fangtechniken erreicht. Besonders die Sowjetunion schuf sich eine Flotte, die heute rund 50 % der Weltfischereitonnage ausmacht. Durch den Einsatz von pelagischen Schleppnetzen, Ringwaden und Echolotgeräten für die Ortung von Fischschwärmen wurde die Fangkraft enorm verstärkt. Acht Länder bringen zusammen bereits mehr als die Hälfte des jährlichen Gesamtertrages: Japan 10 Mio. t, Sowjetunion 8,6, China zirka 6, Peru 3,6, USA 3,3, Norwegen 2,7, Indien 2,6 und Südkorea 2,4 Mio. t.

Man mußte in zunehmendem Maße einsehen, daß viele Fischbestände auf Grund ihrer natürlichen Produktionskraft einer derartig intensiven Nutzung nicht gewachsen waren. Besonders im Nordatlantik, Nordpazifik, vor Peru und Südwestafrika kam es zu drastischen Rückschlägen. Bemühungen im Rahmen internationaler Fischereikonventionen durch die Einführung von Mindestmaschenweiten (zur Schonung der Fischbrut), Beschränkung des Fischereiaufwandes und rigorose Fangquoten hatten nur geringen Erfolg. Die zunehmende Erkenntnis, daß die Resourcen nicht unerschöpflich sind, hat bereits zur Einführung eines praktisch neuen internationalen Seerechts geführt. Fast alle Küstenstaaten haben ihre Wirtschafts- bzw. Fischereizonen auf 200 Seemeilen ausgedehnt. Natürlich war dabei auch das Interesse an mineralischen Schätzen (Erdöl und Erze) stark maßgebend.

Die **Tintenfisch**anlandungen in der Welt betragen zur Zeit etwas über 1 Mio. t jährlich. Die Hälfte davon wird von Japan gefangen und nur wenige andere Länder (Spanien, Thailand, Korea) haben wesentliche Anlagen für diesen Bereich. Spezialisten schätzen, daß in den Schelfgebieten und über den Kontinentalabhängen der Weltmeere 6 bis 12 Mio. t Tintenfische gefangen werden könnten. Auf der Hochsee lassen sich Kopffüßer (Kalmare) nur schwierig fischen. Zudem gehen die Schätzungen über ihren Bestand stark auseinander.

Ganz allgemein ist eine Steigerung der Fischereierträge nur mehr durch eine sinnvollere Bewirtschaftung der weithin überbeanspruchten Fischbestände zu erwarten. Wirkliche Entwicklungsmöglichkeiten bestehen noch rund um Süd- und Mittelamerika. Auch im Indischen Ozean, aus dem bisher nur rund 6 % der Seefischereierträge kommen, läßt sich die Produktion noch erheblich steigern.

(Naturw. Rundschau 4/1981)

Zur Behandlung von Gefäßkrankheiten

Zur **Behandlung von Herz- und Gefäßkrankheiten** verwendet man heute immer häufiger einen Katheter. Der erste, der mit einem Katheter 1929 vom linken Arm aus bis ins Herz vordrang – übrigens vor einem Spiegel und Röntgenschirm in sein eigenes! –, war der deutsche Chirurg Werner Forßmann. Heute sind die dünnen Schläuche in den Blutgefäßen therapeutische Instrumente, vergleichbar in ihrer Anwendbarkeit den chemischen Substanzen der Medikamente oder dem Skalpell in der Hand des Chirurgen. Das Öffnen verschlossener Arterien mit dem Katheter hat sich seit 1964 zu einem Routineverfahren entwickelt. Bei der Öffnung fast verschlossener Herzkranzgefäße und Nierenarterien wurden schon vielversprechende Ergebnisse verzeichnet. Es laufen bereits Versuche, mit dem Katheter direkt in den akuten Herzinfarkt einzugreifen, durch lösende Enzyme den Blutpfropf in den Kranzgefäßen aufzulösen und so die Blutversorgung des Herzmuskels wieder herzustellen. Man schiebt den Katheter aus der Leistengegend oder vom Arm aus bis in das erkrankte Gefäß. Der doppelwandige Schlauch mit einem aufblasbaren Ballon hat einen Durchmesser von etwa einem Millimeter. An der verengten Stelle kann der Ballon für wenige Sekunden auf einen Durchmesser von etwa 3,5 Millimeter aufgeblasen werden. Der hohe Druck im Inneren des Ballons – mit 5 atü entspricht er dem dreifachen Druck eines Autoreifens – preßt das arteriosklerotische Material auseinander. Die Gefäßwand, die zunächst rauh ist, glättet sich und bleibt meist durchgängig. Die Belastung des Patienten mit dem Katheter ist im Vergleich zu einer herkömmlichen Operation minimal. Für die Konstruktion einer Umleitung für verstopfte Herzkranzgefäße, eine sogenannte Bypass-Operation, ist ein erheblicher Aufwand erforderlich, mit einer Öffnung des Brustraumes und Einsatz der Herz-Lungen-Maschine. Für die Perkutane Transluminale Dilatation dagegen braucht man nur eine kleine Operation unter Lokalanästhesie. Nach zwei Tagen kann normalerweise der Patient die Klinik wieder verlassen. Allerdings ist der Katheter nur bei Koronar-Stenosen zu gebrauchen, die relativ nahe am Eingang der Körperschlagader liegen. Zudem ist bei derartigen Erkrankungen, die bereits älter als ein Jahr sind, die Gefahr einer zu starken Verkalkung ein Hindernis für den Einsatz des Katheters. Derzeit wurden aber bereits über 800 Patienten mit dem Ballonkatheter, 3 von 4 mit Erfolg, behandelt. (Umschau 5/1981)

Mycorrhiza

Mycorrhiza, die Symbiose von Pilzen mit den Faserwurzeln, wird in ihrer Bedeutung für die Land- und Forstwirtschaft immer mehr erkannt. Für die Ernährung vieler Waldbäume (Koniferen, Eichen, Buchen, Birken, Weiden und Pappeln) ist vor allem die Ectomycorrhiza wichtig. Die Endomycorrhiza ist wesentlich weiter verbreitet. Eine Wirtsspezifität

ist durchaus nicht immer gegeben. Aus einem Wurzelballen konnte man drei verschiedene Pilzarten isolieren. Untersuchungen in Baumschulen haben ergeben, daß Sämlinge mit einer Mycorrhiza besser gedeihen, deshalb beimpft man häufig die Containersetzlinge oder auch bereits die Samen der Waldbäume mit zerriebenen Fruchtkörpern von Bovisten (Pisolithus). Eine stärkere Düngung der Setzlinge hemmt häufig die Ausbildung einer Mycorrhiza. Indem die Endomycorrhiza schwer lösliches Phosphat im Boden aufschließt, kann sie das Wachstum der Pflanzen um mehrere hundert Prozent steigern. Bei Bäumen, die im Verhältnis zu ihrer Größe weit weniger direkten Kontakt zum Boden durch feine Haarwurzeln haben als etwa Gräser, verstärkt die Endomycorrhiza diesen Kontakt durch die auswachsenden Hyphen. Diese überbrücken auch die Zone, die bereits durch die Wurzeln von Phosphor entblößt wurde. Man hat aber inzwischen auch gefunden, daß sie andere schlecht bewegliche Ionen, wie Zink, aufnehmen, das z. B. für Pfirsiche besonders wichtig ist. Als segensreich erwies sich die Endomycorrhiza auch besonders für wasserarme Gebiete. In England erzielte man Erfolge mit der Übertragung von Erde aus einem Haferfeld, dessen Boden viel Endomycorrhiza enthielt, auf einen phosphorarmen Acker mit wenigen Sporen. Damit konnte dort die Kartoffelernte um 20 % gesteigert werden. In Pakistan wuchsen Mais, Weizen und Gerste schneller, wenn die Saat mit Pilzen vorbehandelt wurde. Wurden die dort sehr unfruchtbaren Böden mit hohen Phosphorgaben gedüngt, so wurde der Effekt der Endomycorrhiza aufgehoben. Die Aufschließung schwerlöslicher Bodenphosphate erwies sich besonders in den Tropen als wichtiger Faktor für die Landwirtschaft. Endomycorrhiza erholt sich nicht nach Dampfsterilisation des Bodens, weil die Sporen nicht mit dem Wind verstreut werden. Bei Verschulung von Zitruspflanzen macht man daher mit so behandelten Böden schlechte Erfahrungen, wenn man nicht Hunderte von Kilogramm Phosphordünger pro Hektar zusetzen wollte. Hier und bei anderen Arten erwies sich die Zufuhr geeigneter Mycorrhiza als viel wirtschaftlicher.

(Naturwiss. Rundschau 5/1981)

Kurznachrichten

Die **Vorgeschichte des Menschen** liefert vor 60 000 Jahren den ersten Hinweis für mitleidiges Verhalten durch den Fund der Skelette von zwei Neandertalern, die durch schwere Verletzungen behindert waren. Die Knochen beweisen, daß die beiden Krüppel zwei Jahre lang am Leben erhalten wurden, was nur mit der Fürsorge durch andere Mitglieder ihrer Sippe erklärt werden kann. Auf Gefühle des Mitleides schließt man auch aus der bemerkenswerten Entdeckung in der Shanidarhöhle, daß bei Begräbnissen in dieser Zeit Blumen beigegeben wurden, was man durch Pollenanalyse nachweisen konnte.

Den Glauben an ein Leben nach dem Tode finden wir schon sehr früh in der Menschheitsgeschichte, wie die feierlichen Bestattungsbräuche des Neandertalers vor 80 000 Jahren zeigen. Der Versuch, diese Tatsache auf ein bloßes Wunschdenken zurückzuführen, erscheint ungerechtfertigt, wel ja die ältesten Aufzeichnungen (Gilgamesch-Epos, Dichtungen Homers u. a.) das Leben im Jenseits nicht unter allen Umständen erfreulich erscheinen ließen.

Ein Schimpanse hat Schwierigkeiten, **sich im Spiegel zu erkennen,** er kann das aber lernen. Andere Affen lernen das nie; auch von anderen Säugetieren sind keine Beispiele dafür bekannt. So könnte es scheinen, daß Menschenaffen über eine primitive Selbsterkenntnis verfügen. Die anfänglich hochgespannten Hoffnungen aber, mit Affen zu einer Verständigung auf menschlicher Ebene zu kommen, wurden enttäuscht (T. A. Sebeok: Speaking of Apes. Plenum Press. New York 1980). (Naturwiss. Rundschau 6/1981)

Das **Klonen von Säugetieren,** die identische Vervielfältigung von Genen, Zellen oder ganzen Individuen, ist zum ersten Mal an der Universität Genf gemacht worden. Bislang waren solche Versuche nur mit Fröschen geglückt. Es gelang, Zellkerne einer Maus im embryonalen Entwicklungszustand in befruchtete Mäuseeier zu verpflanzen, nachdem deren eigener Kern zuvor entfernt, mit einer Glaskapillare weggesaugt worden war. Aus der inneren Zellmasse von Blastozyten, die sich später zum Fötus entwickelt, hatte man rund 360 Zellkerne entnommen und in kurz zuvor befruchtete Eizellen manipuliert, nachdem man deren eigene Zellkerne entfernt hatte. In entsprechenden Kulturen bildete ein Teil dieser Zellen wieder Blastozyten; 16 von ihnen wurden in die Gebärmuttern von Ammen-Mäusen eingepflanzt. Um eine normale Schwangerschaft und Geburt zu sichern, pflanzte man gleichzeitig eine Anzahl normal befruchteter Embryonen ein. Unter den 35 Tieren, die geboren wurden, befanden sich drei, die aus den Eizellen mit implantiertem Kern stammten. Zur leichteren Unterscheidung hatte man verschiedenfarbige Stämme genommen.

(Science I/1981, Vol. 211)

Ein Massensterben von **Kudus** infolge von Tollwut wird in Südwestafrika beobachtet. Die Zahl der betroffenen Tiere geht schon in die Zehntausende. Die Übertragung der Viren im Speichel erfolgt hauptsächlich durch Fliegen, Pferdelausfliegen und Tierläuse. (Rundschau)

Tieftemperatur-Konservierung lebender Embryonen wird bereits mit Erfolg durchgeführt. Es eignen sich hierfür aber nur frühe Embryonen bis zum 8-Zell-Stadium. Die Methoden des Einfrierens sind sehr diffizil und nach Tierart und Entwicklungsstufe verschieden. Bei den frühen Entwicklungsstufen sind die Zellen noch sehr gleichartig in ihrem Einfrierverhalten. Das Einfrieren erfolgt im großen und ganzen stufenweise und in verschiedener Geschwindigkeit, zunächst auf −6 (−8) °C, dann −40 (−80) °C. Von dieser Stufe werden die Embryonen direkt in flüssigen Stickstoff (−196 °C) gegeben, wo sie bis zum Wiederauftauen, das in analoger umgekehrter Reihenfolge durchgeführt wird, verbleiben. Nach dem Herauswaschen des Gefrierschutzmittels werden die Embryionen 24 Stunden lang in einem Nährmedium bis zum Morula und Blastulastadium kultiviert. Der Transfer auf mit Hormonbehandlung synchronisierte, pseudogravide Ammen erfolgt mit einer pipette in die aufnahmebereiten Uterushörner. So werden bereits seit acht Jahren Embryonen gelagert. Eine derartige Konservierung ist nicht nur für die Versorgung mit Labortieren interessant, sondern in besonderer Weise für den Transport von landwirtschaftlichen Nutztieren (Rindern und Schafen).

(Rundschau 4/1981)

Mit der Methode der hormonellen Superovulation ist es möglich, bei einem Mausweibchen 30 bis 60, ja sogar 100 Follikel gleichzeitig zur Ovulation zu bringen.

Versuchstiere (Mäuse, Ratten, Hamster, Meerschweinchen, Hasen und Affen) in einer Menge von 250 000 Exemplaren pro Jahr züchtet eine Gesellschaft, die Charles River Breeding Laroratories im Wilmington, Mass., USA. Allein im Jahre 1979 wurden für 30 Mio. Dollar Versuchstiere in die ganzue Welt verkauft. Nun ist es gelungen, nackte Mäuse ohne Thymusdrüsen zu züchten. Die Tiere eignen sich besonders für die Zwecke der Krebsforschung, da sie wegen des Fehlens der Abwehrkräfte tansplantiertes Gewebe nicht abstoßen; sie müssen aber auch sehr kostenaufwendig in absolut keimfreier Umgebung gehalten werden.

Mit dem Kontakt mit **tollwütigen Hunden** muß man vor allem bei Reisen in die Türkei, ins nördliche und mittlere Afrika, nach Mittel- und Südamerika sowie nach asiatischen Ländern rechnen. Neben den Hunden sind es in den außereuropäischen Ländern vor allem die Fledermäuse, die die Seuche in den Dörfern verbreiten. Bei einem Biß durch ein tollwütiges Tier muß innerhalb 72 Stunden unbedingt eine Wutschutzimpfung eingeleitet werden. Freilich sind die Impfstoffe gelgentlich noch nach einem veralteten Verfahren hergestellt und haben oft sehr unangenehme Nebenwirkungen im Gefolge. Es gibt vor einem entsprechenden Tropenaufenthalt die Möglichkeit einer vorsorglichen Impfung in der Heimat.

Auch heute noch sollten Kleinstkinder gegen **Tuberkulose** schutzgeimpft werden. Die Bagatellisierung dieser Seuche stellt nach Meinung der führenden Lungenfachärzte eine latente Gefahr für die Volksgesundheit dar. In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich rund 30 000 frische Tuberkulosefälle registriert.

(Naturwiss. Rundschau 6/1981)

Einem Bericht der Zeitschrift Science ist zu entnehmen, daß ohne die Anti-Raucher-Kampagnen der letzten Jahre heute in den USA 36 % Zigaretten mehr geraucht würden.

Ein einzelner Säulenkaktus **(Saguarokaktus,** Carnegiea = Cereus gigant) in Arizona (Natl. Monument) kann vier Tonnen und mehr Wasser speichern. Dieses kann bis zu 90 % des

Gesamtgewichtes ausmachen und reicht lange aus, so daß ein abgeschnittener Ast noch nach einem halben Jahr blühen kann.

Wüstenpflanzen haben die verschiedensten Eigenschaften entwickelt, die ihnen Überlebenschancen verleihen. Wir denken natürlich zuerst an besonders tiefreichende Wurzeln; sehr oft aber bietet ein möglichst flaches, oberflächlich liegendes Wurzelsystem mehr Vorteile. Pflanzen, die nach kurzem Regen das Oberflächenwasser schnell und wirkungsvoll sammeln können, haben eine größere Überlebenschance. Cholla-Kakteen sollen Wurzelgeflechte bis zu 10 m Radius besitzen, der Fischhakenkaktus (Ferocactus wislizenii) hat ein weitausgebreitetes Wurzelsystem, das nur einige Zentimeter unter der Oberfläche liegt.

Häufig werden von den Wurzeln Stoffe ausgeschieden, die das Keimen anderer Arten verhindern, ja der Creosot Bush (Larrea tridentata) hemmt sogar die Keimung von Konkurrenten der eigenen Art. So kommt es, daß dieser Busch in der Mojavewüste in Arizona überraschend regelmäßig verteilt ist.

Durch die Spaltöffnungen wird CO_2 aufgenommen und Wasser in Dampfform abgegeben; zur Regelung der Transpiration sind die Stomata bei vielen Pflanzen bei Licht geöffnet und bei Dunkelheit geschlossen. Im Dunkeln findet keine Photosynthese statt, daher ist es sinnvoll, diese Öffnungen zu schließen, wenn mit dem Wasser gespart werden muß. Vor allem Sukulente, wie Kakteen, Mesembryanthemum u. a., halten die Spaltöffnungen nachts offen und am Tag geschlossen. Der Zeitpunkt der CO_2-Aufnahme ist dadurch von dem der Lichtenergiezufuhr getrennt, CO_2 muß gespeichert werden. Das Kohlendioxid wird an eine Verbindung, Phosphoenolpyruvat, angelagert, wodurch Malat, die Speicherform mit 4 C-Atomen, entsteht. Im Licht wird das Malat wieder gespalten und das CO_2 in einen normalen photosynthetischen Prozeß eingeschleust. Der Prozeß wird z. B. bei Crassulaceen beobachtet. (Umschau 11/1981)

Es ist allgemeine Überzeugung der Wissenschafter, daß mit der **„Pille für den Mann"** vor dem Jahre 2000 nicht zu rechnen ist. Die Pharmaindustrie zweifelt, ob damit ein entsprechendes Geschäft zu machen ist, und ist nicht bereit, für den Komplex hormongesteuerter Fertilitätshemmung beim Mann entsprechende Kapitalinvestitionen zu machen. Von allen nichthormonalen Mitteln, die heute in Erprobung sind, werden an den aus China kommenden Wirkstoff Gossypol die größten Erwartungen geknüpft. Das Mittel unterdrückt schon nach zwei Wochen die Samenreifung. Während einer zweijährigen Untersuchung an 8000 Männern in China lag die Erfolgsquote bei über 99 %. Allerdings gewannen nach Absetzen des Präparats viele ihre Zeugungsfähigkeit nicht wieder zurück.

(Umschau 6/1981)

Krebstests dauern allein bei Mäusen 90 Wochen, bei Hamstern und Ratten 104 Wochen. Pro Dosis ist der Einsatz von mindesten 25 Weibchen und Männchen, oft von mehr als 100 Tieren erforderlich; die Kosten sind dementsprechend. Im Deutschen Krebsforschungszentrum Heidelberg wurde nun ein Sensibilitätstest für Krebsgeschwülste entwickelt, mit dem man die Aussichten für eine medikamentöse Behandlung (Zytostatika) relativ rasch in vitro testen kann. Das hat eine ganz große Bedeutung, weil man damit Krebskranken etwa eine Zytostatika-Behandlung, die reich an Nebenwirkungen ist, ersparen kann.

(Umschau 24/1980)

Auch in **Plastiden ist DNA** zweifelsfrei nachgewiesen. Diese ist wie bei Mitochondrien, Bakterien und vielen Viren ringförmig, ihre Länge beträgt bei Bedecktsamigen etwa 45 μm, was etwa 150 000 Basenpaaren entspricht. Aus genetischen Untersuchungen weiß man, daß die Information für den Aufbau der Plastiden von der DNA der Plastiden im Zusammenwirken mit dem Zellkern geliefert wird. Inzwischen wurden bereits für einige Organismen Karten des Plastiden-DNA-Moleküls aufgestellt. Bei den meisten Organismen ist ein beträchtlicher Teil der Sequenzen doppelt vorhanden – aber invers („Kopf an Kopf") angeordnet. Die Bedeutung dieser Tatsachen konnte noch nicht geklärt werden.

(Umschau 5/1981)

Globol, para-Dichlorbenzol wird im Haushalt und in unseren Lehrmittelsammlungen häufig als „Mottenschutzmittel" verwendet. Der Stoff ist mit einer gewissen Vorsicht zu gebrauchen. Nach seiner Verwendung wurden verschiedene Erkrankungen festgestellt: Gelbsucht, Gewichtsabnahme und nach vielen Monaten Trübung der Augenlinsen (Grauer Star).

(Umschau 8/1981)

Thaumatin ist ein **süß schmeckendes Protein,** das in den Samen hartfleischiger Beeren einer afrikanischen Staude, Thaumatococcus danielli (Marantaceae), vorkommt. Aus 1000 kg Beeren läßt sich etwa 1 kg Thaumatin gewinnen, das etwa 2500mal süßer schmeckt als eine 10-%-Rohrzuckerlösung. Allerdings registriert die Zunge den süßen Geschmack etwas langsamer, weil das Protein wegen seiner Molekülgröße langsamer diffundiert als Zucker. Um die Produktion von Thaumatin wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen, wird versucht, das Gen, das für die Thaumatinsynthese verantwortlich ist, auf Bakterien zu übertragen, die dann in Fermentern gezüchtet werden könnten.

(Naturwiss. Rundschau 3/1981)

Es sind mindestens 27 Reptilienarten bekannt, die fast oder ganz ausschließlich aus weiblichen Individuen bestehen und auch nur weiblichen Nachwuchs hervorbringen. Schon seit mehreren Jahren weiß man aber auch, daß es zwischen diesen normalerweise parthenogenetischen Tieren und solchen verwandter und vollgeschlechtlicher Arten zu erfolgreichen Paarungen kommt. Es gibt natürliche Hybride von einigen vollgeschlechtlichen und parthenogenetischen Eidechsenarten. Neuerdings ist nun auch ein ausgeprägtes „Sexualverhalten" bei rein weiblichen Eidechsenarten der Gattung Cnemidophorus beobachtet worden. Sowohl sehr junge, noch nicht ausgereifte, als auch ältere Weibchen, die keine Eier mehr produzieren, spielen bei einer Pseudobegattung mit fortpflanzungsfähigen Weibchen die Rolle eines Männchens. Es könnte dieses Verhalten etwa einen Stimulus für die normale Ovarienfunktion darstellen.

(Naturwiss. Rundschau 3/1981)

Etwa 80 Prozent der Lipizzaner-Pferde erkranken an einem bösartigen Hautkrebs (Melanom), ohne daran zu sterben.

Es gibt Bäume im Amazonasgebiet, die in der Verbreitung ihrer Samen von Fischen abhängig sind. In den Uferwäldern hat man dort etwa 200 Baumarten gefunden, deren Samen bestimmten Fischen mit großen Kauzähnen und starken Kieferknochen als Grundnahrungsmittel dienen. Die großen Fische scheiden lebensfähige Samen der Bäume mit ihren Fäkalien aus. (Rundschau 6/1981)

Methanerzeugende Bakterien unterscheiden sich nach der Meinung der Biochemiker genau so stark von den übrigen Mikroorganismen, wie diese von den höheren Lebewesen. Der Aufbau ihrer Zellmembranen ist anders, sie besitzen weniger genetisches Material, dafür aber andersartige Zellinhaltsstoffe. Nun betrachtet man die Methanbakterien als „Archebakterien", als urtümlichste Entwicklungsstufe, und stellt sich vor, daß die Vorfahren der heutigen Methanbakterien in den Gewässern der Uratmosphäre unserer Erde bereits ideale Lebensbedingungen fanden: Es war warm, es gab so gut wie keinen Sauerstoff. Diese Bakterien stehen derzeit im Mittelpunkt des allgemeinen wissenschaftlichen Interesses. Da sie auf Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid spezialisiert sind, findet man sie immer symbiotisch zusammen mit Essigsäurebakterien. Abfallstoffe (Zellulose, Stärke, Proteine und Fette) müssen vorerst durch fermentative Prozesse, acidogene Bakterien in kleinere Verbindungen zerlegt werden. Wie in der Natur bildet sich in Mülldeponien ebenfalls Methan, das immer häufiger genutzt wird. So werden in einer Mülldeponie von Los Angeles täglich gut 9000 m^3 Methan gewonnen, das mehr als 2000 Einfamilienhäusern zugute kommt. (Umschau 3/1981)

Man schätzt, daß jährlich fast 900 Millionen Tonnen Methan an die Erdatmosphäre abgegeben werden, der weitaus größte Teil davon biogenen Ursprungs. Das Methan wird in der Troposphäre durch Einwirkung von Licht und Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert.

Die Süßwasseralge Botryococcus braunii ist durch einen extem hohen **Gehalt an flüssigen Kohlenwasserstoffen** (75 % des Trockengewichtes!) gekennzeichnet. Bei einem massenhaften Auftreten der Alge (Algenblüte) in australischen Süßwasserbecken ließ sich aus dem Algenöl 67 % Petroleum, 15 % Flugbenzin, 15 % Dieselöl und 3 % Schweröl gewinnen. Einer kommerziellen Verwertung dieser Entdeckung stehen noch schwerwiegende Fragen im Wege.

Single Cell Protein, Methan (CH_4), wird in den Erdölfeldern vielfach (z. B. am Persischen Golf jährlich in einer Menge von 50 000 bis 100 000 Tonnen) als unbrauchbar abgefackelt. Bestimmte Arten von Bakterien sind nun darauf spezialisiert, CH_4 als Energie-Kohlenstoffquelle zu verwenden, um damit ihren eigenen Stoffwechselbedarf zu decken. Diese methanoxidierenden Bakterien, Methanotrophen genannt, sitzen an einer wichtigen Schaltstelle der Natur, da sie durch Oxidation CO_2 erzeugen. Auf den Bioaktivitäten ausgesuchter Methanotrophen basiert die praktische Umwandlung von Erdgas in Einzeller-Eiweiß. Trotz hervorragender Eiweißqualität bildeten jedoch zweierlei Gründe die Haupthindernisse einer industriellen Verwirklichung: 1. Die Massenzüchtung wollte nicht gelingen. 2. Methan ist mit Sauerstoff hochexplosiv. Die Ursache der Wachstumshemmung wurde in abgegebenen Stoffwechselprodukten erkannt. Als man diese störenden Produkte durch Dialysegeräte (nach Art einer künstlichen Niere) entfernte oder durch eine weitere spezifische Bakteriengruppe abbaute, konnte die Eiweißproduktion auf das 50fache gesteigert werden. Das getrocknete Endprodukt weist eine mehlige Beschaffenheit ohne Geschmack und Geruch auf und enthält 60 bis 70 % Eiweiß mit einem kompletten essentiellen Aminosäurenspektrum neben einem niedrigen Nukleinsäuregehalt (3–4 %). Das Produkt hat die Bewährungsprobe betreffend Toxizität und Wertigkeit als Futter für verschiedene landwirtschaftliche Tierarten bestanden.

(Umschau 11/1981)

Eine ganze Reihe von **Infektionskrankheiten** wird auch heute noch mit dem Trink- und Brauchwasser übertragen. Besonders in der Zeit des Massentourismus ist diese Gefahr nicht zu übersehen. Aus den Ländern der dritten Welt können noch immer die „klassischen" Seuchen (Typhus, Cholera, Amöbenruhr, Hepatitis u. a.) nach Europa infiltrieren. Im Frühjahr 1963 erkrankten in Zermatt zirka 450 Personen (3 tödlich) an Typhus. In einer Kraftwerksbaustelle waren die Krankheitskeime in den Bach gelangt, aus dem die Kurgemeinde ihr Wasserwerk speiste. Die Wasseraufbereitungsanlage war für den Verbrauch ungenügend dimensioniert. Die Gefahr einer Wasserverseuchung und einer dadurch verursachten Massenerkrankung unter der Bevölkerung ist also auch heute nicht völlig gebannt. Eine Filtration reicht durchaus nicht immer, um das Wasser genußfähig zu machen; eine Sterilisation aber ist meist zu aufwendig. Man wendet vielfach verschiedene physikalische und chemische Desinfektionsverfahren an: Bestrahlen mit UV, Röntgen- und Gamma-Emission oder Temperaturen über 70 °C. Am meisten wird aber die chemische Behandlung eingesetzt. Chlor ist natürlich eine sichere Waffe, die allerdings eine gewisse Zeit einwirken muß und anderseits die Gefahr einer Überdosierung birgt. Amerikanische Untersuchungen haben zudem den Verdacht aufkommen lassen, daß organische Inhalts- und Spurenstoffe durch Aufnahme von Chlor in krebserregende Verbindungen übergehen könnten. Bei Chlordioxid (ClO_2) gibt es diese Bedenken nicht, es gewinnt an Interesse als Wasserdesinfizienz, da es einen sehr weit gespannten p_H-Wirkungsbereich hat. Allerdings neigt das äußerst reaktionsfähige Gas zu explosivem Zerfall und muß daher unmittelbar an der Einsatzstelle erzeugt werden. Als hygienisch optimales Desinfektionsmittel hat sich bisher das Ozon erwiesen. Es benötigt die geringste Kontaktzeit und zeigt keine Nachwirkungen, keine Geruchs- und Geschmacksbildungen. Mit steigendem p_H-Wert nimmt allerdings der Entkeimungseffekt ab. Ozon vernichtet nicht nur Bakterien und Viren, es beseitigt auch Spurengifte, wie Phenol und -abkömmlinge, sowie andere üble Geschmacksstoffe durch Oxidation. Bei Bedarf läßt es sich auch überdosieren, beim Austritt an die Luft allerdings wirkt es als Atemgift und kann Arbeiter in Wasserwerken gefährden.

Die spinale Kinderlähmung ist bei uns dank der Schluckimpfungen so gut wie verschwunden, nicht aber z. B. in den Mittelmeerländern. In der sogenannten Badezeit machen uns jeweils verschiedene Viren zu schaffen, die sehr widerstandsfähig sind und vor allem aus Fäkalien stammen. Sie stellen oft die eigentliche Ursache von zunächst rätselhaften Ausbrüchen einer „Wasserkrankheit" dar. Nach den neuesten Erkenntnissen verbreitet sich auch das Hepatitis-Virus, der Erreger der infektiösen Gelbsucht, auf diese Art. Ein Trinkwasser, das auf Grund einer Chlorbehandlung bakteriologisch einwandfrei ist, ist nicht automatisch auch frei von Viren und Salmonellen. Ein Virus kann durch einen Schutzmantel aus Protein geschützt werden.

Algen und Planktonlebewesen eliminieren durch die Prozesse der Selbstreinigung pathogene Bakterien und Viren, aber natürlich auch Phosphate und Stickstoffverbindungen aus Abwässern.

(Naturwiss. Rundschau 5/1981)

Verdorbene Fleischprodukte sind an mehr als der Hälfte der Lebensmittelinfektionen schuld. Die Nahrungsmittel sind meist nicht kühl genug gehalten oder nicht stark genug erhitzt worden. Diese Feststellung traf das Institut für Lebensmittelhygiene der Freien Universität Berlin.

(Umschau 5/1981)

Die **Stickoxide** werden hinsichtlich der emittierten Mengen zwar von CO, SO_2 und organischen Gasen und Dämpfen übertroffen; mit ihrer relativen Giftigkeit stehen sie freilich an zweiter Stelle. Ihre Zufuhr aus der Atmosphäre bedeutet für forstliche und landwirtschaftliche Produktionsflächen zumeist eine positive Versorgung mit einem essentiellen Nährstoff. Durch Stickoxide (vor allem NO_2) gelangen in Mitteleuropa mit den Niederschlägen jährlich pro Hektar zirka 10 kg in den Boden. Das bedeutet natürlich eine kräftige Düngung für normalerweise ungedüngte (Wald-)Flächen. Für nährstoffarme Heide- und Moorgesellschaften bringt dies freilich eine beachtliche Störung des ökologischen Gefüges.

In den Kaliwerken Niedersachsens und Hessens wurde vor kurzer Zeit ein Verfahren zur Trennung von Kalium- und Magnesiumverbindungen und Steinsalzabfällen entwickelt, das wesentliche Energieeinsparungen erwarten läßt. Die geförderten Minerale werden fein zerkleinert und dann elektrostatisch aufgeladen. Zur Trennung läßt man das feinkörnige Salzgemenge in einem Hochspannungsfeld 1–2 m tief fallen. Die Elektroden (ähnlich Kondensatorplatten) müssen dauernd reingehalten werden. Für ein erfolgreiches gegensinniges Aufladen der Mineralstoffe ist eine streng ausgewogene Klimatisierung erforderlich.

(Umschau 9/1981)

Daß durch **Akupunktur** Endorphine (körpereigene Opiate) im Gehirn freigesetzt werden, konnte jetzt durch Wissenschafter des amerikanischen National Institute of Menthal Health in Bethesda in Rattenversuchen bewiesen werden. Damit ist eine Erklärung für den schmerzverhindernden Effekt der Akupunktur gefunden worden.

(Naturwiss. Rundschau 5/1981)

Im südlichen Jugoslawien (Mazedonien) lebt der wohl giftigste Skorpion Europas (Gott sei Dank nicht in der Nähe menschlicher Siedlungen). Das Gift von Mesobuthus gibbosus wirkt vor allem auf den Sympathikus und Parasympathikus.

Der **Hundespulwurm** Toxocara ist überaus verbeitet. Bereits fünf Wochen alte Welpen können täglich mehrere Millionen dieser Würmer mit dem Kot ausscheiden. Die Wurmeier bleiben sehr lange entwicklungsfähig und bedeuten besonders für Kinder eine große Gefahr. Die im Darm des Menschen schlüpfenden Larven wandern in Lunge und Leber; nicht selten siedeln sie sich auch im Gehirn und in der Netzhaut an. Als Folgeerkrankungen sind Asthma, Epilepsie und Sehstörungen bekannt geworden.

(Naturwiss. Rundschau 4/1981)

Die einzellige Alge Dunaliella bardawil scheint sich als Produzent von Glyzerin (40 % des Trockengewichtes), β-Karotin (8 %) und möglicherweise auch anderer wertvoller Substanzen (Fettsäuren, Steroide, Vitamine und Enzyme) anzubieten. Die Pflanze befindet sich z. B. in stark salzhaltigen Gewässern der Halbinsel Sinai. Dort wurde jetzt ein riesiges Wasserbecken errichtet, um die optimalen Wachstumsbedingungen zu bieten.

Die Eruption des **Mount St. Helens** in den äußerst dünn besiedelten Gebirgsregionen des Staates Washington am 18. Mai 1980 hat schätzungsweise einige Kubikkilometer Gesteinsmaterial in die Luft geschleudert; die dabei freigewordene Energie hat jene der Hiroshima-Bombe um das Fünfhundertfache übertroffen. Auf einer Fläche von zirka 400 Quadratkilometern wurden alle Bäume geknickt.

Ein Gewebe, das mit einem Virus infiziert ist, erlaubt nur eine eingeschränkte Vermehrung eines zweiten andersgearteten Virus. Erkrankte Zellen schützen ihre Nachbarn. Diese Interferenz wurde 1935 entdeckt, 1957 wurde auch der Stoff, der diese Wirkung hat, in einer infizierten Hühnereihaut als Eiweißkörper mit einem Molekulargewicht zwischen 20 000

und 30 000, ein Interferon, festgestellt. Diese Eiweißkörper werden von verschiedenen Zellsystemen, die für eine Immunwirkung zuständig sind (Lymphozyten und Fibroblasten), unter dem Einfluß verschiedener Reize (Inducer) gebildet. Als Inducer wirken neben Viren auch einige Endotoxine von Bakterien und Cytostatika, die die Eiweißbildung hemmen. Als Abkürzung für Interferon wird „IFN" bevorzugt: also Hu-IFN für humanes Interferon, Mu-IFN für Mäuseinterferon usw. Alle Interferone wirken nur bei der Tierart, von der sie produziert wurden. Die Bildung von Interferon geht sehr rasch vor sich und kann auch durch abgeschwächtes Virus induziert werden. Man nimmt an, daß Interferon die Bereitschaft der befallenen Zellen zur Bildung von Virus beeinträchtigt.

Derzeit arbeitet man intensiv an der Aufklärung des chemischen Aufbaues und hat bereits festgestellt, daß gewisse Unterschiede im chemischen Aufbau ohne Beeinträchtigung der Wirkung abgespalten werden können. Vielleicht kann in Zukunft durch Ausschaltung der diskordanten Abschnitte ein allgemein brauchbares Interferon gefunden werden.

Es steht fest, daß IFN das Wachstum von Krebsgeschwülsten, aber auch die Regeneration gesunder Gewebe hemmt. Während einer Schwangerschaft und für einen jugendlichen Organismus, der sich im Wachstum befindet, ist IFN streng kontraindiziert. Nach den heutigen Kenntnissen bedeutet es einen sehr nützlichen Verstärker einiger Funktionen der natürlichen Abwehr, aber durchaus keine Wunderwaffe – auch nicht im Kampf gegen alle Krebserkrankungen.

(Naturwiss. Rundschau 3/1981)

Eine Infektabwehr durch kommensale Bakterien glaubt man annehmen zu müssen. Etwa 10^{12} Bakterien finden sich auf der Haut eines Menschen. Bei diesen handelt es sich vor allem um Staphylococcus epidermis und Corynebacterium akne. Die Wirkung dieser unter normalen Umständen harmlosen Keime liegt darin, daß sie durch mikrobiellen Antagonismus die Besiedlung der Haut mit potentiellen pathogenen Bakterien verhindern. Im Mundrachenraum finden sich etwa 10^{10}, im Darmtrakt zirka 10^{14}, die ebenfalls durch ihre Gegenwart ein Anwachsen pathogener Keime erschweren.

Das Wimperepithel des Luftröhrentraktes befördert ständig Schleim (mit Bakterien usw.) mit einer Geschwindigkeit von 1 bis 3 cm/h aus dem Atemtrakt.

Ad Insektizide: Als „Dalmatinisches Pulver" wurden bereits um 1800 die gemahlenen Blüten von Chrysanthemum cinerariaefolium gegen lästige Insekten eingesetzt. Heute werden diese Pflanzen vor allem in Kenia und Tansania angebaut. Das für die insektizide Wirkung maßgebliche Stoffgemisch wird durch Extraktion isoliert und unter der Bezeichnung „Pyrethrum-Extrakt" gehandelt. Durch Licht und Sauerstoff werden die Pyrethrine ziemlich rasch abgebaut. Für eine synthetische Herstellung in größerem Ausmaß ist die Struktur etwas zu kompliziert. Man konnte nun synthetisch analoge Substanzen, „Pyrethroide", erzeugen — dazu mit abgestufter Beständigkeit für einen Einsatz in Freilandkulturen. Sehr licht- und sauerstoffempfindlich ist Bioresmethrin, dagegen sind Permethrin, Cypermethrin und das im Chemismus stärker abweichende Fenvalerat als hochwirksame Insektizide für den Freilandeinsatz geeignet. Im Vergleich zu anderen handelsüblichen Insektiziden zeigen Pyretroide eine teilweise geringere Toxizität für Warmblütler. (Umschau 1/1981)

Erdgas, das nicht biologischen Ursprungs ist, soll sich nach der Meinung amerikanischer Astronomen in größeren Tiefen unserer Erde finden. Tatsächlich wurden im Wasser über Plattengrenzen, in der Tiefe des Roten Meeres, im Kiwusee in Ruanda und in Spalten des ostpazifischen Rückens hohe Methangehalte festgestellt. (Umschau 1/1981)

Die afrikanische Wanderheuschrecke hat laut Informationen der Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen 700 km südwestlich des Tschadsees ein Areal mit neuen Brutstätten. Übrigens drangen diese Tiere im 18./19. Jahrhundert auch nach Mitteleuropa vor. Es wird von 14 Heuschreckenjahren berichtet, in denen unsere Vorfahren in besonderer Weise Hunger und Not litten. Maria Theresia erließ im Jahre 1749 ein Edikt mit einer Beschreibung der Schädlinge und einer Anleitung zu ihrer Bekämpfung.

Aus dem Einzugsgebiet des Amazonas kennt man über 2000 Arten von Fischen (aus den Flüssen Europas aber nur 192). Die Erträge der kommerziellen Fischerei lagen dort im Jahre 1971 nur bei 85 000 t. Diese Menge reichte nicht aus, um den Bedarf völlig zu decken; dabei spielt Fisch dort für die Ernährung der Bevölkerung eine außergewöhnlich große Rolle.

89,1 kg Fleisch, 83,4 kg Milch, 13,1 kg Käse, 4,7 kg Sahne, 6,9 kg Butter hat der Bewohner der Bundesrepublik Deutschland im Wirtschaftsjahr 1978/79 (Juni bis Juli) verzehrt.

(Naturw. Rundschau 2/1981)

Der Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre durch die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (Spraydosen, Kühlschränke) erfolgt wahrscheinlich rascher als man bisher angenommen hat. In Amerika ist ihre Verwendung verboten. Selbst bei einem sofortigen Produktionsstopp wird die Ozonschicht in der nächsten Zeit um 16,5 % abgebaut. Diese Ozonschicht in rund 25 km Höhe absorbiert etwa 99 % der Sonnen-UV-Strahlung. Die intensive UV-Strahlung ist für jede Form des Lebens schädlich. Schätzungen der National Science Foundation besagen, daß der Abbau der Ozonschicht um nur 5 % eine zehnprozentige Zunahme der Hautkrebsfälle zur Folge haben wird.

General Electric hat Bakterien der Gattung Pseudomonas genetisch verändert, so daß sie Erdölprodukte, die die Umwelt verseuchen, z. B. nach Unfällen, möglichst rasch abbauen. Nun wurde auf diese „industriellen Werkzeuge" ein Patent erteilt. Damit wurde erstmalig eine sozial-juridische Frage der Gentechnik angeschnitten. (Umschau 11/1980)

Am 28. März 1979 führte der Ausfall eines Sicherheitsventils im Kernkraftwerk „Three Miles Island" bei Harrisburg zum größten Unfall in der Geschichte der Kerntechnik. Dieser Unfall machte deutlich, wie wenig die Kerntechnik auf mögliche Katastrophen vorbereitet ist.

(Umschau in Wiss. u. Technik, 9/1980)

Alkoholabhängige, die eine Entwöhnungskur mitgemacht haben, können nicht mehr zu „mäßigem Genuß" von alkoholischen Getränken zurückkehren — entweder sie beachten völlige Abstinenz oder sie werden wieder rückfällig.

(Umschau 13/1980)

In manchen Teilen Westdeutschlands wurde eine infektiöse **Erkrankung von Lärchen** festgestellt; die Bäume zeigen verschiedene Degenerationserscheinungen, Hexenbesen, Hängenlassen der Zweige und Nadeln, Abnahme der Wuchsleistung und sogar ein Absterben der befallenen Gewächse. Im Leitgewebe der absterbenden Bäume fand man Anhäufungen von primitiven Rikettsien.

(Naturw. Rundschau 12/1980)

Nur wenige **Amphibienarten,** z. B. Wasserfrosch und Unken, leben mehr oder weniger ganzjährig am oder im Gewässer. Bei den übrigen Arten aber wird der Jahreskreislauf durch eine Frühjahrswanderung zum Brutplatz, die Fortpflanzungsphase, die Rückwanderung in die Sommerquartiere und die Sommeraktivität geprägt. Die so im Laufe eines Jahres beanspruchte Fläche kann für so kleine Tiere auffallend groß sein. Als Näherungswert für die Flächenausdehnung der potentiellen Jahreslebensräume einer Population können gelten: Erdkröte 1520 ha, Springfrosch 380 ha, Grasfrosch 200 ha. Es ist verständlich, daß so große Areale vielfach von Straßen zerschnitten sind, was zu den bekannten Verkehrsmassakern während der Laichwanderungen führt. Eine noch größere Gefahr droht den Lurchen durch die übliche Beseitigung jeglicher Tümpel und deren Verschmutzung, weiter durch die enorme Belastung der Landschaft mit Giften und Handelsdünger.

Die Zahl der **Schmetterlinge** ist gerade in den letzten zwei Jahrzehnten drastisch zurückgegangen. Im Überfluß angewendete Schädlingsbekämpfungsmittel und Beseitigung auch der kleinsten Flecken naturbelassener Landschaft haben dafür gesorgt, daß in unseren Ländern nahezu die Hälfte aller Schmetterlingsarten in Gefahr ist. Das Unterschutzstellen einer Schmetterlingsart reicht nicht aus, um sie vor der Ausrottung zu bewahren. (Umschau 4/1981)

Gegen die vielfach geübte **Verstümmelung der Bäume** in den Alleen und Gartenanlagen unserer Städte wendet sich ganz energisch Univ.-Prof. Dr. Zukrigl von der Universität für Bodenkultur. In einer Unterschriftenaktion er-

klären 106 Wissenschafter und Mitarbeiter österreichischer Universitätsinstitute, daß sie diese Vergewaltigung der Natur zutiefst verurteilen und daß jeder Schnitt in das dicke Holz auf das unbedingt notwendige Maß (Entfernung absterbender Äste, Lichtraumfreihaltung u. ä.) beschränkt werden soll. (Wr. Naturschutznachrichten IV/1981)

Meteorite stellen das einzige Gestein dar, an dem physikalische und chemische Untersuchungen über das frühe Sonnensystem durchgeführt werden können, weil sie sich seit ihrer Bildung nicht verändert haben. Das macht natürlich das besondere Interesse der Wissenschaft an diesen Objekten verständlich. Bis 1977 waren im Meteoritenkatalog des British Museum rund 2300 Fälle und Funde von Meteoriten verzeichnet worden. Nun aber haben japanische und amerikanische Expeditionen im Eise der Antarktis innerhalb weniger Jahre weitere 5700 Meteorite gefunden. Darunter befinden sich Steinmeteorite, deren mineralogische und chemische Zusammensetzung mit keinem bisher bekannten Fundstück vergleichbar ist. (Umschau 2/1981)

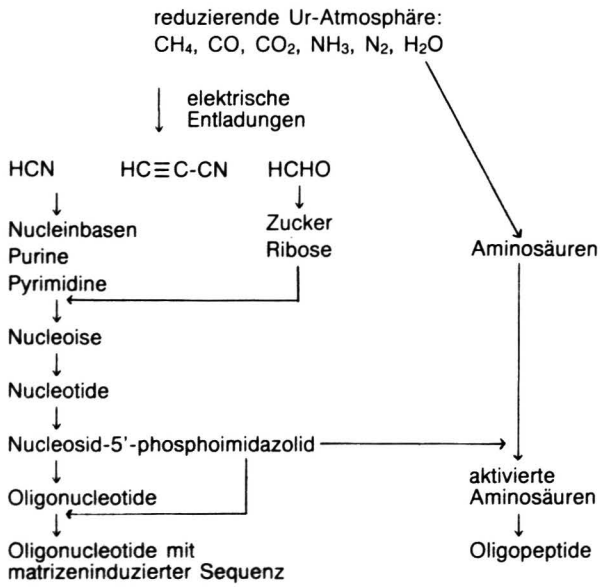
CHEMIE

Dr. Edith Jarisch

Molekulare Selbstorganisation

Ein Denkmodell für die Entstehung des Lebens wurde von H. Kuhn (Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie) und J. Waser (La Jolla, USA) entworfen, welches aus einer Folge von physikalisch und chemisch plausiblen Schritten besteht, als Antriebskraft periodische Temperaturänderungen voraussetzt, wie sie auf einem präbiotischen Planeten bestehen, und so den Versuch unternimmt, logisch die Evolution zu deuten.

Heutige Organismen verwenden, bis auf wenige Ausnahmen (RNA-Viren), zur Speicherung der genetischen Information DNA-Moleküle, von denen eine Matrize synthetisiert wird (m-DNA), anschließend wird mittels t-RNA-Molekülen, welche die zugehörige Aminosäure am „Schwanzende" tragen, und RNA-hältigen Ribosomen und einem passenden Enzymapparat das arteigene Protein synthetisiert. Die prinzipielle Schwierigkeit zur Deutung des Entstehens dieses komplexen Systems zur Selbstreproduktion von Organismen liegt darin, daß bei den heute existierenden Organismen ein bereits durch Selektion entstandener Selbstreproduktionsmechanismus vorliegt. Dies würde auch zwangsläufig zur paradoxen Fragestellung führen: Wer war früher? Henne oder Ei bzw. DNA oder Protein?



Schema der möglichen präbiotischen Reaktionen auf der Erde: Alle Reaktionsschritte sind als Einzelreaktionen experimentell an ausgewählten Beispielen durchführbar und so experimentell bestätigt.

Ein Modell für die Evolution muß daher von Voraussetzungen ausgehen, die auf einer präbiotischen Erde geherrscht haben, und versuchen, Spuren dieser urtümlichen Selbstreproduktion aufzufinden, aber auch Versuche anregen, mögliche Teilschritte und Zwischenstadien experimentell zu überprüfen.

1. Die chemische Evolution

Seit den ersten Versuchen von Miller und Urey, durch elektrische Funkenentladungen in einer Atmosphäre aus CH_4, CO, CO_2, NH_3, N_2 und H_2O die Bildung von Aminosäuren zu erreichen, sind viele Einzelergebnisse erhalten worden. So konnte experimentell die Bildung von allen jenen Bausteinen beobachtet werden, die Voraussetzung für die Selbstorganisation der Materie darstellen (Schema a). Alle diese Verbindungen entstehen teils in der Gasphase, teils in Lösungen, teils in Reaktionen an Oberflächen von Festkörpern, wie z. B. Montmorillonit, Kaolinit oder anderen spezifischen Tonerden. Es erscheint dabei sehr wesentlich, daß als Zuckerkomponente stets nur Ribose in den kurzen, zur Replikation fähigen Oligonucleotiden auftritt.

Im Gegensatz dazu waren Experimente zur matrizengesteuerten Polymerisation von Nucleotiden mit Desoxyribose erfolglos. Dies ist nach Ansicht der Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut eine Stütze für die Modellannahme, daß in präbiotischen Systemen die ersten Träger von „genetischer Information" RNA-Stränge gewesen sind. DNA sollte erst in einem späteren Stadium der Evolution auftreten, nämlich dann, wenn bereits ein Apparat zur Synthese von Enzymen vorhanden war.

Die Experimente zeigen auch, daß in der präbiotischen Synthese von energiereichen, ribosehältigen Nucleotiden bzw. ihren Derivaten Reaktionen sowohl in der Gasphase als auch in wäßriger Lösung und an Festkörperoberflächen erforderlich sind. Sicher konnten sich auf der Urerde solche Substanzen nur an speziellen Stellen anreichern, also in einer ganz bestimmten, hochstrukturierten Umgebung.

2. Erste Schritte zum Urleben

Die Modellannahme geht davon aus, daß Kettenmoleküle aus Ribonucleotiden entstehen, sie sollen als (−)-Stränge bezeichnet werden, an welche sich die komplementären Sorten der Kettenbausteine anlagern, so daß ein (+)-Strang entsteht. Bei ihrer Trennung wiederholt sich der ganze Vorgang, doch kann diese wiederholte Replikation nur unter geeigneten Umweltbedingungen stattfinden und bei Anwesenheit geeigneter Monomere. So sind periodische Temperaturänderungen notwendig, da sich das Schließen und Öffnen von Wasserstoffbrückenbindungen periodisch wiederholen muß. In kleinen Bereichen sind sicher diese Voraussetzungen auf der Urerde erfüllt gewesen. So kann man sich einen kurzen RNA-Strang vorstellen, der die komplementären Basen Guanin (G) und Cytosin (C) enthält. Dieser Strang sei durch zufällige Kondensation, z. B. beim Eintrocknen einer Lösung aus den Monomeren, entstanden. Zufälligerweise sei die Kondensation auch in der „richtigen" 3'5'-Verknüpfung erfolgt. Diffundiert nunmehr so ein Strang in den angenommenen kleinen Bereich mit den günstigen Voraussetzungen, so wird die Replikation erfolgen und zu einer Doppelhelix führen. Dabei begünstigt die helicale Anordnung der Bausteine das schnelle und genaue Kettenwachstum. Es ist zu berücksichtigen, daß die Bildung der Doppelhelix nur erfolgen kann, wenn alle Bausteine die gleiche Chiralität besitzen. Es ist aber dabei zufällig, welche Chiralität der ursprüngliche Strang

besitzt. Mit dem Erscheinen und Überleben der ersten Matrize ist auch bereits die Entscheidung über die Chiralität aller Folgeprodukte gefallen. Es erscheint daher nicht verwunderlich, daß heute alle lebenden Organismen die gleiche Chiralität haben.

Man kann Abschätzungen über die Wahrscheinlichkeit machen, mit der die erste, besondere Matrize durch den zufälligen, korrekten Zusammenbau gebildet wird. Nimmt man an, daß die erste Kette aus zehn Kettenbausteinen besteht, so müßte unter 10^{20} Strängen (etwa 0,1 mmol) ein Exemplar „richtig" sein. Je länger der Strang, um so weniger wahrscheinlich wird es, daß alle Kettenglieder richtig aneinanderpassen. Die Wahrscheinlichkeit für einen Strang von 10 richtig angeordneten Kettengliedern läßt sich durch ein Würfelspiel veranschaulichen: Man erhält eine Wahrscheinlichkeit, 26mal nacheinander eine Sechs zu würfeln! Spielt man aber mit 10^{21} Würfeln, so tritt dieses Ereignis bereits bei 10 Würfen auf*).

Wenn sich also einmal ein richtiger Strang zu replizieren beginnt, so wird sich nach einiger Zeit ein stationärer Zustand einstellen, bei dem gerade so viele Stränge neu entstehen wie auch zerfallen und durch Wegdiffundieren die „günstige" Stelle verlassen. Sicher stellen sich bei der wiederholten Replikation auch Fehler ein. Solche Fehler bilden eine wichtige Schranke: ab und zu verlängern sich die Stränge. Sie können nunmehr weniger schnell aus dem vorteilhaften Bereich wegdiffundieren, aber bei ihnen treten auch häufiger Replikationsfehler auf. Dies kann sowohl die Zuckerkomponente als auch eine Base betreffen. Damit kann sich eine obere Grenze für die Kettenlänge einstellen (etwa 50 Glieder), bzw. es werden alle möglichen Basensequenzen gebildet. Die größere Kettenlänge ermöglicht die interne Basenpaarung, wodurch z. B. Haarnadelformen gebildet werden. Die periodischen Schwankungen der Umgebungstemperatur lassen zu, daß sich auch die haarnadelförmigen, gefalteten Ketten wieder öffnen und zu neuerlicher Replikation fähig sind. Treten bei der Folgereplikation jedoch wieder Fehler auf, so kann z. B. auch die zunächst einmal als „günstig" angenommene Haarnadelform wieder verschwinden: das System „vergißt", was es bereits „gelernt" hat.

3. Die Aggregatbildung

Um ein evolutionsfähiges System auszudenken, muß man einen Mechanismus „erfinden", der die durch die Fehler gesetzte Schranke überwindet. Dies ist für das Modell von sehr großer Tragweite, auch wenn der Mechanismus denkbar einfach ist. Bei t-RNA konnte mittels Röntgenstrukturanalyse festgestellt werden, daß der Übergang zwischen gefalteter

Abb. 1: Haarnadelmolekül.

(entspricht also einer „Haarnadel") und ungefalteter Form sich im Temperaturbereich von 30 bis 100 °C abspielt. Somit ist die Modellvorstellung bis hierher auch experimentell untermauert. Untersucht man Kalottenmodelle solcher RNA-Haarnadeln etwas genauer, so stellt man fest, daß sich aus ihnen mit erstaunlicher Präzision Aggregate bilden lassen. In ihnen sind die RNA-Doppelhelices durch Ca^{2+}-Ionen, welche die negativen Phosphatidylreste zusammenhalten, stabilisiert. Fehlerhafte „Haarnadeln" können nicht in solche Aggregate eingebaut werden. Damit ist ein „Ausmerzen" von Fehlern möglich. Im Aggregatverband sind die Stränge durch gegen-

*) 1 Würfel: Wahrscheinlichkeit ist $(1/6)^{26} \approx 10^{-20}$; spielt man mit $10 \cdot 6^{26} \approx \approx 10^{21}$ Würfeln, so tritt das Ergebnis bei $10^{-20} \cdot 10^{21} = 10$ Würfen auf (genauer: $1 - [1 - (1/6)^{26}]^{10 \cdot 6^{26}} = 1 - (1/e)^{10} = 0{,}99995$ ist die Wahrscheinlichkeit beim Würfeln 26 Sechser zu erhalten). Man kann auch sagen, daß dann bei 26 Würfen mindestens ein Würfel stets den Sechser oben hat.

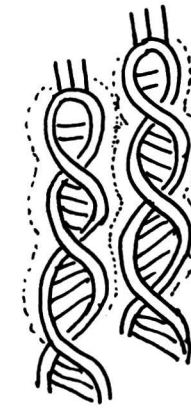


Abb. 2: Zwei Haarnadelmoleküle passen gut zusammen, so können sich palisadenartige Aggregate bilden.

seitige Abschirmung auch chemisch resistenter geworden, und wegen der Größe des Aggregats ist ein Verlassen des „günstigen" Bereiches durch Diffusion weniger leicht möglich. Die periodischen Umweltveränderungen, wie Tag und Nacht, führen auch dazu, daß sich die Aggregate entfalten und wieder reproduzieren. Der erforderliche „Bereich" kann sehr klein sein, es genügt z. B. eine Gesteinspore von weniger als 1 mm Durchmesser. In ein feinporiges Gestein können dann wohl kleine Monomermoleküle hineindiffundieren, aber die Aggregate sind doch „eingeschlossen". Berechnungen führen dabei auf einen günstigen Porenhohlraum von etwa 500 nm; und dies ist auch etwa die Größe von Bakterien.

4. Der Sammelapparat

Einen großen Selektionsvorteil würde ein Mechanismus bringen, der die Aggregation zusammenpassender „Haarnadeln" beschleunigt. Ein einfaches Modell für so einen „Sammelapparat" wäre ein nicht gefaltetes Nucleinsäuremolekül,

Abb. 3: Der Sammelapparat: ein palisadenartiges Aggregat ist über Basentripletts an einen Strang aus RNA gebunden und so stabilisiert.

an welches durch Wasserstoffbrücken die Bögen der Haarnadelmoleküle infolge Basenpaarung gebunden sind. Dadurch entstehen Aggregate in Palisadenform. Diese Ansammlung verhindert ebenfalls jeden Anbau eines nicht passenden, fehlerhaften RNA-Stranges. Auch bei diesen Aggregaten konnten Untersuchungen an Kalottenmodellen zeigen, daß gerade die Haarnadelkrümmung mit drei nicht gepaarten Basen, also ein Triplett oder Codon, besonders gut sich an einen „Sammelstrang" anlagern kann. In diesem Modell können sowohl (+)- als auch die komplementären (−)-Stränge als Anbauelemente dienen. Die Richtung, in welcher die Basentripletts am Sammelstrang abgelesen werden, ist dieselbe 5'3'-Richtung, in welcher der genetische Bauplan am heutigen m-RNA-Molekül abgelesen wird. Man kann sich also denken, daß dieser „Sammelstrang" die Urform der genetischen Information ist, die Anbaumoleküle also die Urform der heutigen t-RNA ist.

Es wäre nunmehr von größter Bedeutung, daß Experimente durchgeführt würden, bei denen GC-Ribonucleinsäurestränge gemäß dem Modell reagieren.

Es gibt neue Befunde (Eigen und Winkler, 1979), die auf Grund der gefundenen großen Ähnlichkeiten der Nucleotidsequenzen die Annahme stützen, daß alle t-RNA-Sorten für alle Aminosäuren aus einer Urform hervorgegangen sind. Die so extrapolierte Stammform ist interessanterweise ebenso symmetrisch wie die postulierte „Haarnadelform", so daß sie auch haarnadelförmig hätte sein können. Als nächster Evolutionsschritt müßte die Entstehung eines Übersetzungsapparates stattgefunden haben. Auch hierzu läßt sich ein Denkmodell entwickeln.

5. Die Aggregate als Katalysatoren

Treten an den Enden der Haarnadelstränge Fehler auf, so verhindern diese nicht die Bildung von Aggregaten, doch können diese losen Enden wegen der Replikationsfehler auch nicht gepaart sein. Das vorgeschlagene Modell postuliert nun, daß an diesen freien Enden sich Aminosäuren, mit geeigneten aktivierenden Gruppen verknüpft, anlagern können. Aminosäuren sind auf der Urerde sicher vorhanden gewesen. Günstige sterische Verhältnisse können nun dazu führen, daß sich die Aminosäureketten miteinander verknüpfen, dann vom Aggregat loslösen, so daß der gleiche Vorgang erneut stattfinden kann. Polypeptide aus den präbiotisch häufigsten Aminosäuren Glycin und Alanin bringen dem Modell sogar einen Selektionsvorteil, da sie wegen ihrer hydrophoben Eigenschaften Agglomerate bilden, die die Porenöffnungen noch weiter verkleinern können. Damit wird aber das replikationsfähige System nicht mehr an engporige Bereiche gebunden sein müssen. Auch könnten in einer späteren Stufe die gebildeten Polypeptide eine Art Hülle bilden. Diese Hülle müßte bereits wie ein Filter wirken, das Mononucleotide noch hindurchläßt, aber Nucleinsäurestränge zurückhält. Diese Eigenschaften haben nur Hüllen aus Polypeptiden, aber nicht aus Lipiden. Daher muß man annehmen, daß Hüllen mit Lipidgehalt erst zu einem späteren Zeitpunkt der Evolution auftraten.

Jede Änderung, die eine Loslösung vom engporigen Bereich ermöglicht, erhöht jetzt die Vermehrungschancen. Und daß sich solche Gebilde mit einer Proteinhülle „vermehren" können, zeigten schon Versuche mit Koazervaten (Oparin, 1964), die wachsen und sprossen. Im neuen Bereich besitzen die veränderten Formen keine Konkurrenten mehr. Dieser Effekt zeigt, daß die komplexere Form einen Selektionsvorteil besitzt. Damit ist die Evolution zu zunehmend komplexeren Formen eine notwendige Folge der großen Mannigfaltigkeit der Umgebungsstrukturen.

6. Der Übersetzungsapparat

Die Evolution der Polypeptide erfolgte von anfänglichen Diffusionsbarrieren über Hüllen mit steigender Komplexität schließlich zum ersten Molekül mit gewisser, wenngleich auch nur sehr schwacher enzymatischer Wirkung.

Geht man davon aus, daß zunächst immer neben (+)-auch (−)-Haarnadelstränge existieren und nebeneinander im Aggregat eingebaut werden, so befinden sich z. B. an den Enden des (+)-Stranges die zwei Basen G, so wird der (−)-Strang an den entsprechenden Enden die zwei Basen C enthalten. Damit haben aber diese beiden Stränge verschiedene Affinitäten für zwei Sorten von Aminosäuren. Somit kommt es automatisch zu einer Korrelation zwischen Sequenz der Nucleotide auf dem Sammelstrang und der Sequenz von Aminosäuren im Polypeptid. Die Haarnadelstränge besitzen damit die Funktion eines Adapters.

Die Sequenz des Sammelstranges ändert sich jedoch mit der Zeit durch die Replikationsfehler, aber damit wird auch die Sequenz der Aminosäuren geändert. So ist schließlich auch das Entstehen eines Polypeptids mit einer ersten, äußerst schwachen enzymatischen Aktivität vorstellbar, das als erste primitive „Replikase" wirkt. Dies bedeutet aber, daß jetzt die Replikationsschritte rascher erfolgen und die Häufigkeit von Fehlern herabgesetzt wird: die Information zu ihrer eigenen Herstellung bleibt erhalten.

Die quantitative Abschätzung zeigt, daß bereits durch ein relativ kurzes Polypeptid, das z. B. in eine Furche der Doppelhelix eines Stranges paßt und so den Bereich, wo die Replikation stattfindet, stabilisiert, die Häufigkeit von Replikationsfehlern auf etwa ein Drittel des Wertes ohne Replikase herabsetzt. Es wäre daher von großem Nutzen, nach Gly-Ala-Polypeptiden aus etwa 10 Bausteine zu suchen, die eine matrizengesteuerte Polymerisation von Nucleinsäure erleichtern. Das Auftreten der ersten Replikase ist ein Durchbruch: ein Apparat zum Lesen und Übersetzen des Codes ist entstanden. Die Evolution von Systemen mit anderen Enzymen ist jetzt möglich geworden. Andere basen können als Codebuchstaben eingeführt werden, so daß bis zu sechs Aminosäuren ohne Schwierigkeiten codiert werden können, wie Computersimulationen zeigten.

Dies gibt auch die Antwort auf die Frage, wie es möglich ist, daß ein Übersetzungsapparat entstehen konnte, der aus Übersetzungsprodukten aufgebaut ist. Nach dem vorliegenden Modell ist die Ursache dafür allein das erstaunlich gute Ineinanderpassen von Anbauelementen und Sammelstrang.

7. Die DNA wird zum Träger der genetischen Information

Bis hierher sind Adaptermoleküle (Ur-t-RNA) und Sammelstrang nur aus Ribose enthaltenden Nucleotiden aufgebaut. Diese Systeme kommen aber hinsichtlich ihrer Komplexität schließlich an eine Gernze: da für „sinnvolle" Polypeptide nur eine Strangsorte, etwa die (+)-Stränge, benötigt werden, aber stets auch die (−)-Stränge benötigt werden. Diese (−)-Stränge sind nicht nutzlos, sondern sie verursachen auch die Synthese von „sinnlosen" Polypeptiden. Dies führt zu „Verkehrsproblemen" innerhalb der Hülle und zu einem nutlosen Verbrauch eindiffundierender Aminosäuren.

Nimmt man nunmehr an, daß eine Replikase gebildet wird, die nicht nur Mononucleotide mit Ribose, sondern solche mit Desoxyribose – wenn auch nur geringfügig – bei der Strangsynthese bevorzugt, während ein anderes Enzym desoxyribosereiche Stränge als Matrizen bei der Synthese von ribosereichen Strängen bevorzugt. Dabei soll dieses zweite Enzym zufällig etwas wirksamer als das erste sein. Dies hat aber weitreichende Folgen: Die durch das erste Enzym katalysierte Replikation eines (+)-RNA-Stranges liefert dann einen desoxyribosereichen (−)-Strang, der selbst wieder als Matrize dient. Weil das zweite Enzym etwas leistungsfähiger als das erste ist, entstehen schnell viele Kopien, die (+)-Stränge sind. Diese (+)-Stränge werden als Komponenten im Übersetzungsapparat eingebaut, wo die Enzymsynthese stattfindet. Dadurch entwickelt sich allmählich ein genetischer Apparat, in dem die Mechanismen der Replikation und der Enzymsynthese getrennt sind. Jetzt werden auch nicht mehr die „sinnlosen" Polypeptide angehäuft, aber es sind neue Polymere entstanden, die hauptsächlich Desoxyribonucleotide enthalten. In diesem Evolutionsstadium enthält die Molekülgesellschaft eine Vielzahl von (+)-Strängen, über welche die gesamte genetische Information verstreut ist. Nimmt man aber an, daß sich die Stränge, welche aus Desoxyribonucleotiden gebildet werden, sich zu einigen wenigen, aber längeren Strängen vereinigen, was durch ein als „Ligase" wirkendes Polypeptid ermöglicht wird, so kann dadurch ein weiterer Selektionsvorteil eintreten: die längeren (−)-Stränge aus Desoxyribonucleotiden können weniger leicht durch Diffusion aus der günstigen Umgebung entweichen. Betrachten wir dieses System: es enthält die (+)-Stränge (wir bezeichnen sie mit R^+), die langen (−)-Stränge (wir bezeichen sie mit D^-), die folgenden Enzyme: das E_1 (für die Replikation von R^+ in D^-), das E_2 (für die rasche Bildung der Kopien R^+ aus D^-) und eine Ligase. Für die weitere Evolution wird angenommen, daß aus einer frühen Replikase sich ein Enzym E_3 entwickelt, welches die Bildung von D^+-Kopien an den bereits vorhandenen D^--Matrizen ermöglicht. Da aber nur die D^--Matrize zur Herstellung der Stränge R_1^+, R_2^+, . . . dient, sollte die Erkennungsregion für das Enzym E_2 für die D^--Stränge spezifisch sein.

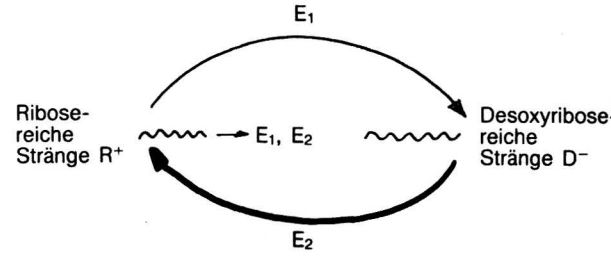


Abb. 4: Erscheinen von Strängen, welche einen hohe Anteil an Desoxyribose enthalten. Kurze desoxyribosereiche Stränge D^- werden auf ribosereichen Strägen R^+ unter katalytischer Wirkung des Enzyms E_1 synthetisiert. Ribosereiche Stränge R^+ werden durch das Enzym E_2 an D^--Strängen synthetisiert. Das Enzym E_2 ist wirksamer als E_1.

Das Enzym E_2 könnte sich zu einer immer besser funktionierenden „Transkriptase" entwickelt haben, das Enzym E_1 ist wahrscheinlich degeneriert, vielleicht ist die „inverse Transkriptase", welche heute beim genetic engineering eine große Rolle spielt, aus E_1 entstanden. Auch muß sich auf einer sehr frühen Evolutionsstufe bereits ein Apparat entwikkelt haben, der den Kontakt zwischen Sammelstrang und den „Haarnadelmolekülen" verbesserte und damit Ablesefehler weitgehend unterdrückte. Die heutigen Ribosomen sind die

einzigen Enzymsysteme, welche zum Großteil aus RNA bestehen. Es ist daher naheliegend, daß diese Ribosomen eben aus jenem Apparat sich entwickelt haben könnten.

Ist eine Molekülgesellschaft, ein solches System, einmal in dieses Stadium getreten, so muß eine weitere Evolution zwangsläufig erfolgen:

8. Kenntnis als Maß der Nützlichkeit von Information

Man kann den Evolutionsprozeß als Vorgang beschreiben, der irgendwo und irgendwann im Verlauf der Einwicklung eines Planeten spontan und schlagartig beginnt. Plötzlich ist ein Strang da, der Fähigkeit zur Replikation besitzt. In vielen Replikations- und Selektionsschritten paßt sich das System immer besser an die Umwelt an. Die Entwicklung erfolgt dabei nicht stetig: es gibt sicher lange Perioden, in denen nichts Entscheidendes „passiert", aber plötzlich erfolgt eine Veränderung, ein Umbau des Systems, der eine stürmische Weiterentwicklung und Neuentwicklung einleitet. Entsprechend ruckweise wächst der Inhalt der Botschaft, die die Systeme in sich tragen: die „Kenntnis" des Systems wächst, sie ist ein Maß für den Evolutionsgrad des Systems. Als „Kenntnis" soll hier eine Größe verstanden werden, die Information (gemessen an der Zahl der Ja-Nein-Entscheidungen), welche in allen Bauplänen enthalten, aber „nützlich" ist, beschreibt; d. h. viele „Information" wurde im Verlauf der Evolution notwendigerweise verworfen, da sie sich nicht als „nützlich" erwies. (Im Gegensatz dazu wird „Information" im Sinne Shannons als Menge in bits angegeben, ohne Berücksichtigung der „Nützlichkeit".)

9. Antworten auf Fragen, die den Ursprung des Lebens betreffen

Die Arbeitsgruppe des Max-Planck-Instituts beschäftigt sich auch mit diesem Aspekt. Statistische Untersuchungen und Abschätzungen sind die Grundlage der hier vereinfacht und gekürzt wiedergegebenen Argumentation. Folgende Fragen werden oft gestellt:

1. „Die geologische Zeitspanne zur Entstehung des Lebens auf der Erde ist zu kurz. Leben kommt aus dem Weltraum; außerphysikalische Einflüsse sind die Ursache für das Entstehen von Leben."

Die Evolution muß bis zum Zeitpunkt, an dem ein genetischer Apparat erschienen ist, sehr schnell verlaufen sein. Berechnungen zeigen, daß etwa 10^{11} Generationen sich replizierender Systeme notwendig sind. Nimmt man für eine Generation die Zeitspanne von einem Tag an, so sind dies 10^{11} Tage, was etwa 10^8 Jahren entspricht. Diese Zeitspanne ist klein gegenüber der erdgeschichtlich für den Prozeß zur Verfügung stehenden Zeit von 10^9 Jahren.

2. „Die Wahrscheinlichkeit für die spontane Entstehung einfachster Systeme, die zu lebenden Systemen führen könnte, ist viel zu klein für eine physikalische Erklärung dieses Phänomens."

Das vorgestellte Modell geht von kleinsten, detaillierten Schritten aus. Es muß daher für diese die Wahrscheinlichkeit betrachtet werden. Werden größere Schritte betrachtet, so werden die Wahrscheinlichkeiten verschwindend klein. Geht man von kleinen Monomeren mit etwa 10 Gliedern aus, so beträgt die Wahrscheinlichkeit, daß jede Base mit dem korrekten Zucker und der Phosphatgruppe richtig gebunden ist, etwa 10^{-20}. Dieser Wert liegt in annehmbarer Größenordnung. Würde man hingegen einen Strang von etwa 50 Gliedern betrachten, so ergäbe sich die entsprechende Wahrscheinlichkeit mit 10^{-100}. Diese Wahrscheinlichkeit ist nun wirklich so klein, daß das ganze Universum einen Strang pro nm^3 enthalten müßte, um tatsächlich einen „richtigen" Strang zu enthalten. Diese Überlegung zeigt, daß relativ große Schritte generell nicht stattfinden, da sie einfach zu unwahrscheinlich sind.

3. „Biologische Systeme verhalten sich in einer ganzheitlich zielorientierten Weise, die in Widerspruch zum Verhalten von Systemen steht, die den physikalischen Gesetzen gehorchen."

Es ergibt sich in Wirklichkeit gar kein Widerspruch zu den Gesetzen der Physik. Das in diesem Modell beschriebene Verhalten von Systemen ist eine Folge des Überlebens solcher Systeme in einer Umgebung, die für das Überleben sehr schwierig sein kann. Sicher wird dadurch eine große Zahl von sich bildenden Systemen wieder ausgemerzt. Das Entstehen „lebender" Systeme ist eine Folge des stets gleichbleibenden Mechanismus der Evolution: Multiplikation, Mutation und Selektion. Der beschriebene Evolutionsprozeß ist somit ein „Lernvorgang" und eine immer bessere Adaption an die Umwelt. Adaption und Lernen betrachten wir als zielgerichtete Prozesse, sie sind aus den physikalischen Prinzipien ableitbar.

Die Autoren betonen schließlich den Modellcharakter ihrer Evolutionshypothese. Man darf nicht erwarten, daß die vielen kleinen Modellschritte, die hier betrachtet wurden, wirklich den Weg beschreiben, der in der Natur erfolgte. Das angestrebte Ziel soll vielmehr sein, die grundsätzlichen Aspekte zur Ausbildung sich selbst reproduzierender Systeme greifbar zu machen. Es wird wohl Aufgabe weiterer Forschung sein, die vorgeschlagenen Evolutionsschritte an realen, einfachen Systemen auch experimentell zu überprüfen.

LITERATUR:
H. Kuhn, J. Waser, „Molekulare Selbstorganisation und Ursprung des Lebens", Angew. Chem. 93, 495-515 (1981).

Sonnenenergie — elektrochemisch genutzt

Elektrochemische Nutzung der Sonnenenergie wird heute im großen Maßstab nur von Pflanzen betrieben. Deshalb scheint die Nutzung dieser Energiequelle auf anderen Wegen als durch Photosynthese eine reizvolle Alternative zu sein. Der erste Schritt zur Nutzung der Solarenergie ist die Absorption der Strahlung durch Materie, doch nur derjenige Teil des Spektrums ist interessant, der zu elektronischen Anregungszuständen führt. Als Folge dieser Anregung sollten energiespeichernde Prozesse ausgelöst werden, denn elektronische Anregungszustände besitzen nur sehr kurze Lebensdauer. Folgende Prozesse kommen in Frage: Ionisierung, chemische Umwandlung (Atome verändern ihre Lage und Bindungen) und eine Kombination von Ionisierung und chemischer Umwandlung. Auch die Photosynthese gehört zu dieser dritten Gruppe von Prozessen.

Die photovoltaische Energieumwandlung, die als elektrische Energiespeicherung zur ersten Gruppe gehört, mit der Erzeugung einer Photospannung an einer Schottky-Barriere zwischen einem Metall und einem Halbleiter: Fällt ein Lichtquant mit einer Energie, die größer als die Lücke zwischen Valenz- und Leitungsband ist, auf die Schottky-Barriere, so wird bei seiner Absorption paarweise ein Leitungs- und ein Defektelektron gebildet. Die Elektronen wandern in das Innere des Halbleiters ab, die Defektelektronen rekombinieren an der Grenzfläche zwischen Metall und Halbmetall mit den Elektronen des Metalls. Damit wird das Metall positiv gegenüber dem Halbmetall aufgeladen. Dadurch wird das zwischen Metall und Halbmetall im Gleichgewichtszustand bestehende Feld geschwächt. Bei kontinuierlicher Belichtung erhöht sich diese Gegenspannung so lange, bis Rekombination und Rückfluß der Elektronen über die Barriere hinweg keine Erhöhung der Aufladung mehr zulassen. In diesem stationären Zustand liegt das Fermi-Niveau im Inneren des Halbleiters höher als im Metall. Nach außen erscheint diese Differenz als elektrische Potentialdifferenz, die zur Arbeitsleistung genutzt werden kann.

Bei der photoelektrochemischen Energieumwandlung wird durch Absorption eines geeigneten Lichtquants durch ein Molekül das Elektron aus dem obersten besetzten Energiezustand in den untersten nicht besetzten befördert. Dieses Elektron kann nun zu einem geeigneten Elektronenakzeptor übergehen, auch wenn im Akzeptor der unbesetzte Energiezustand höher liegt als im ursprünglichen Molekül. So entsteht das angeregte Molekül M^*, welches eine viel größere Reduktionsfähigkeit besitzt als das unangeregte Molekül (Photoreduktion). Anderseits ist im angeregten Molekül ein tiefliegender Elektronen-Term frei geworden. Dieser bewirkt, daß dieses Molekül nunmehr von einem geeigneten Donor ein Elektron aufnehmen kann, dessen besetzter Term tiefer liegt als der unbesetzte Zustand im unangeregten Molekül (Photooxidation). Beide Prozesse können zur Energienutzung dienen, vorausgesetzt, die unkontrollierte Rückreaktion wird verhindert. Und hier liegt das Hauptproblem für eine effektive Nutzung.

Bei der Photosynthese sind die beiden Reaktionsprodukte durch Phasengrenzen räumlich getrennt, denn die Chlorophyllmoleküle, welche die Energiewandlung durch Elektronenabgabe vollziehen, sind in eine Membran eingebaut. Ein durch Lichtabsorption angehobenes Elektron wird auf der einen Seite der Membran von einem Akzeptor aufgenommen, der die Reduktion von CO_2 einleiten kann. Ein oxidier-

tes Chlorophyllmolekül auf der anderen Seite der Membran wird von einem Donor reduziert, wonach dieser die Oxidation des Wassers vollziehen kann. Der erzielte Energiegewinn, der die chemischen Folgereaktionen auslöst, entspricht der Energiedifferenz zwischen reduziertem Akzeptor und dem oxidierten Donor. In der Natur sind also zwei solche Photoreaktionen in Serie geschaltet, um ausreichende Triebkraft für die folgenden Redoxreaktionen zu gewinnen. Der Elektronentransfer durch die Membran, der zu einer elektrischen Aufladung führt, wird aber durch den parallel verlaufenden Protonentransport verhindert. Deshalb steht die aus der Lichtenergie gewonnene Redoxenergie den Zellen in Form elektrisch neutraler Reaktionsprodukte zur Verfügung.

Eine analoge Nutzung der Lichtenergie ist möglich, wenn sich zwischen einem Halbleiter und einem Elektrolyten eine Schottky-Barriere ausbildet. In der zugehörigen Randschicht werden durch Absorption von geeigneten Lichtquanten die gleichen Prozesse zur Ladungstrennung ausgelöst, die zur photovoltaischen Energieumwandlung dienen. An der Phasengrenze können die entsprechenden Redoxreaktionen eintreten. Gegenüber der Photosynthesemembran hat dieser Kontakt sogar den Vorteil, daß die Lichtabsorption auch in größerer Tiefe erfolgen kann, wodurch sich höhere Wirkungsgrade ergeben könnten.

Die Versuche zur praktischen Nutzanwendung von Photoelektrolysezellen haben sich vorläufig auf die Wasserzersetzung konzentriert. Dazu werden oxidische Halbleiter verwendet, wie zum Beispiel TiO_2, ZrO_2, Ta_2O_5 und die entsprechenden Mischoxide. Am belichteten n-Halbleiter wird Wasser durch die entstehenden Defektelektronen zu Sauerstoff oxidiert, an der Gegenelektrode durch die vom Halbleiter abgeflossenen Elektronen zu Wasserstoff reduziert. Sind die Reaktionsprodukte in Wasser löslich, so braucht man zur Verhinderung der Rückreaktion eine Trennwand, welche wohl elektrolytisch leitend, aber undurchlässig für die Reaktionsprodukte ist. Die praktischen Versuche zeigten, daß die Oxidhalbleiter nur im äußersten blauen oder gar erst im UV-Bereich des Spektrums absorbieren, wo nur mehr ein sehr geringer Teil der Sonnenenergie vorliegt, und auch von diesen Lichtquanten werden nur etwa 50 % genutzt.

Auch regenerative Photoelektrolyse-Zellen sind bereits untersucht worden. Hier wird eine Schottky-Barriere ausgenützt, welche sich zwischen einem Halbleiter und einem Elektrolyten, der ein geeignetes Redox-System enthält, befindet. Bei diesen Zellen muß dafür Sorge getragen werden, daß die Redox-Reaktion mit den vom Licht erzeugten Ladungsträgern an der Phasengrenzfläche Halbleiter/Elektrolyt durch die Redox-Reaktionen an der Gegenelektrode gerade kompensiert werden. Für diese Zelle ist auch keine Trennwand mehr nötig, da der gleiche Elektrolyt mit beiden Elektroden in Kontakt steht. In geringem Abstand von der Halbleiterelektrode befindet sich die transparente Gegenelektrode, das Licht kann deshalb ohne wesentliche Verluste frontal auf die Schottky-Barriere des Halbleiter-Kontaktes fallen. Auf der Basis von GaAs und InP konnten bereits Umwandlungsausbeuten von 12 % erreicht werden, so daß diese Zellen kaum mehr den Festkörper-Solarzellen nachstehen. Zwei wesentliche Merkmale haben sie jedoch: sie müssen den Elektrolyt dicht abgekapselt enthalten und die Halbleiter zeigen eine sehr große Neigung, am Kontakt mit der flüssigen Phase Zersetzungsreaktionen einzugehen. Deshalb ist es noch sehr ungewiß, ob die photochemischen Systeme in absehbarer Zukunft eine wesentliche Rolle bei der Nutzung der Sonnenenergie spielen werden.

LITERATUR:

H. Gerischer: Elektrochemische Nutzung von Sonnenenergie. Umschau i. W. u. T. 81(1981)/14/428.

Kurznachrichten

Metallocene zeigen überraschende Eigenschaften: Metallocene sind metallorganische Verbindungen, bei denen ein Metallion sandwichartig zwischen zwei Cyclopentadieenyl-Kationen eingebettet liegt. Es handelt sich bei ihnen um äußerst stabile π-Komplexe. Kürzlich konnte gezeigt werden, daß Titanocen-dichlorid und Vanadocen-dichlorid wirksame Antitumor-Agentien darstellen. Auch die entsprechenden Molybdän- und Niobverbindungen wirken cytostatisch, hingegen zeigen die analogen Hafnium- und Zirkoniumverbindungen keine solchen Effekte. Bis jetzt sind die Ursachen für die cytostatischen Eigenschaften der genannten Metallocene unbekannt. (Umschau i. W. u. T. 1981/14/442)

Nachfahren des Penicillins: Das charakteristische Merkmal des Penicillins ist der viergliedrige Beta-Lactam-Ring. Je nach der Seitenkette, die an diesem Ring hängt, unterscheidet man die Penicilline F, G und V. Da sich aber bald die Bildung von penicillinresistenten Bakterienstämmen nachteilig auswirkte, wurden Versuche unternommen, das Penicillin abzuwandeln. So wurde die neue Stoffklasse de Cephalosporine gefunden. Diese besitzen auch den Beta-Lactam-Ring wie die Penicilline, doch sitzt dieser an einem Sechsring, der ebenfalls als Heteroatom Schwefel enthält, doch kann dieses auch ein Sauerstoffatom (im Cefotxim) sein. Die Cephalosporine wurden 1953 als zweites Antibioticum neben Penicillin aus dem Pilz Cephalosporium isoliert.

(Spektrum, 1981/8/46)

Der natürliche Kreislauf chemischer Elemente in unserer Umwelt gewinnt zunehmend Interesse, besonders im Hinblick auf toxische Elemente. So werden Untersuchungen zur Feststellung erhöhter Gehalte, die auf unnatürliche – also durch Menschen geschaffene – Quellen schließen lassen. Zunächst muß man die Elemente nach dem Grad ihrer Giftigkeit einteilen und ihrer Verfügbarkeit:

Unkritisch	Toxisch und verfügbar	Toxisch, aber in unlöslicher Form oder selten
Na C F	Be As Au	Ti Ga
K P Li	Co Se Hg	Hf La
Mg Fe Rb	Ni Te Tl	Zr Os
Ca S Sr	Cu Pd Pb	W Rh
H Cl Al	Zn Ag Sb	Nb Ir
O Br Si N	Sn Cd Bi Pt	Ta Ru Re Ba

Die Giftigkeit hängt dabei sehr stark von den Bindungs- und Zustandsformen eines Elementes ab. So ist zum Beispiel flüssiges Quecksilber für den Menschen bei peroraler Zufuhr relativ unschädlich, Quecksilberdampf jedoch hochtoxisch, ebenso wie manche organische Quecksilberverbindungen (Minamata-Krankheit in Japan). Im Wasser werden Algen durch lösliche, anorganische Kupfersalze wesentlich stärker geschädigt als durch organische Kupferkomplexe. Noch komplizierter wird die Beurteilung der Toxizität bei solchen Elementen, die auf verschiedene Entwicklungsstadien von Organismen unterschiedliche Wirkungen zeigen. Aber es gibt auch Elemente, welche in charakteristischen Mengen essentielle Spurenelemente sind, bei höherer Dosierung als Gifte wirken (zum Beispiel Se, Cu). Um den Kreislauf der Elemente genau zu verfolgen, bedarf es einer guten Analytik. Bis jetzt gibt es leider zu wenige Analysenmethoden, die so empfindlich sind, daß ihre Anwendung nicht einen drastischen Engriff in das untersuchte System darstellen. Besonderes Interesse erwecken auch die natürlichen Entgiftungsprozesse, wie sie zum Beispiel bei Hg und As entdeckt wurden (Bildung von unlöslichen Hg-Sulfiden in der Atmosphäre durch UV-Strahlung und Reaktion mit S-Verbindungen).

LITERATUR:

Umschau i. W. u. T. 1981/15/450.

Die Massenspektrometrie negativer Ionen gewinnt an Bedeutung, trotz der 1965 fast allgemein anerkannten Meinung, daß sie für die organische Analytik bedeutungslos bleiben würde. Voraussetzung für die sich nunmehr anbahnende Entwicklung ist neben der Bereitstellung von Instrumenten auch eine fundierte theoretische Grundlage. Als Resonanzeinfang wird die Bildung eines Molekülanions bezeichnet, wobei das Elektron in ein tiefliegendes unbesetztes Orbital eintritt. Dies ist nur möglich, wenn die Elektronenaffinität des Moleküls größer Null ist. Das Molekülanion ist ein angeregtes Teilchen. Diese Anregungsenergie muß mindestens gleich der Elektronenaffinität des betreffenden Moleküls sein. Bei kleinen Molekülen kann das aufgenommene Elektron oft sehr rasch (10^{-13} s) wieder abgegeben werden, bei größeren Molekülen verteilt sich die innere Energie auf so viele Freiheitsgrade, daß die Lebensdauer groß genug wird, um das Teilchen massenspektroskopisch zu registrieren. Viele Untersuchungen über Molekülfragmente negativer Ionen ließen einen Satz recht allgemein geltender Regeln aufstellen. Es zeigte sich dabei, daß die Massenspektrometrie negativer Ionen zur sonst üblichen Massenspektrometrie positiver Ionen oft eine sehr wertvolle Ergänzung sein kann.

LITERATUR:

Agew. Chem. 93/8/635 (1981).

Die dreidimensionale Struktur der Ribosomen konnte aus elektronenoptischen Daten rekonstruiert werden. Dabei wurde ein Verfahren eingesetzt, welches gewisse Analogien

zur Röntgenstrukturaufklärung benützt (Fourier-Transformation und Analyse von Durchleuchtungsbildern der Ribosomen). Die kleine und die große Untereinheit eines Ribosoms besitzen mehrere Lappen; zahlreiche Proteine und RNA bauen das Ribosom auf. Die wachsenden Kenntnisse über die Lokalisation der für die Biosynthese der Proteine notwendigen Ribosombestandteile lassen erwarten, daß manche Unklarheiten gelöst werden können. Es werden auch viele Versuche unternommen, um Ribosomen zur Kristallisation zu bringen, was sich jetzt als aussichtsreicher herausstellt, als man ursprünglich angenommen hat, denn Ribosomen besitzen doch eine einheitliche Struktur.

LITERATUR:
Spektrum, 1981/10+68).

Schnelle intramolekulare Vorgänge, wie zum Beispiel die Rotation von Methylgruppen, können durch Messung der Dipol-Dipol- und Quadrupol-Relaxationszeiten erfaßt werden. Die NMR-spektroskopische Bestimmung der Kinetik und Energiebarrieren intramolekularer Prozesse wurde bereits in den fünfziger Jahren begonnen. Etwa zehn Jahre später wurde die vollständige Linienformanalyse herangezogen, aber es gelang erst sehr viel später, komplizierte Spinsysteme und Austauschphänomene auszuwerten. Ein Nebenprodukt der die NMR-Spektroskopie revolutionierenden Fourier-Transformations-Technik war, daß jetzt Instrumente zur Verfügung stehen, die bereits Relaxationszeiten zu messen gestatten.

LITERATUR:
Angew. Chem. 93, 553–568, 1981.

Buchbesprechung

B. Lange, Z. J. Vejdelek: Photometrische Analyse. 7., vollständig neu bearbeitete Auflage 1980, XV, 634 Seiten, 14 Abb., 1 Tab.; DM 120,–, Verlag Chemie, Weinheim.

Photometrische Analysen gehören zu den weitestverbreiteten und schnellsten Bestimmungsverfahren der chemischen Analytik. Sie können mit einfachen und preiswerten Geräten auch in der Schule duchgeführt werden und sind gleicherweise zuverlässig und von hoher Genauigkeit. Fast alle Elemente geben mit Farbreagenzien Verbindungen, die sich zur Photometrierung eignen. Zahlreiche organische Substanzen besitzen eine intensive Eigenfarbe. Viele andere können durch Farbreaktionen in stark absorbierende Verbindungen übergeführt und dann photometriert werden

Seit vier Jahrzehnten hat sich das Buch „Kolorimetrische Analyse" von Bruno Lang bewährt, die Neubearbeitung durch Z. J. Vejdelek hat die bewährte Einteilung beibehalten: I. Einführung (Theoretisches und Methodisches), II. Anorganischer Teil (Kationen, Anionen), III. Organischer Teil, dennoch ist daraus ein vollständig neues Werk enstanden, das alle modernen Entwicklungen auf diesem Gebiet berücksichtigt und durch umfassende Literaturangaben den Zugriff zur Originalliteratur ermöglicht. Es sind alle photometrischen Bestimmungsmethoden für anorganische und organische Stoffe gesammelt worden, die heute im Laboratorium eine Rolle spielen. Größter Wert ist auf die praxisgerechte Beschreibung der Analysengänge gelegt worden. Zahlreiche Arbeitsvorschriften wurden nach dem Substrat, in dem die zu bestimmende Substanz vorkommt, variiert. Jeder Vorschrift ist das Bestimmungsprinzip vorangestellt, bei der Fülle des Darzubietenden war es jedoch nicht möglich, auch die entsprechenden Reaktionsgleichungen und Formelschemata, wie sie insbesondere für den Lehrbetrieb wünschenswert wären, aufzunehmen. Nachdem die 1970 erschiene 6. Auflage als weitgehend veralter anzusehen war, liegt nunmehr wieder ein Standardwerk vor, das die Anschaffung bezahlt macht.

L. A. Hütter

EXPERIMENTALPHYSIK

Prof. Richard Lederer

Karl Hagenbuchner, Bundesrealgymnasium Traun

Einfache elektronische Druckmessung im Bereich von Vorvakua bis doppeltem Luftdruck mit LX 503

Für die Messung des Druckes des im Titel angesprochenen Bereichs stehen außer wissenschaftlichen Präzisionsgeräten enormen Preises nur Geräte mit auffälliger Ungenauigkeit zur Verfügung. Selbst wenn das Meßprinzip hohe Genauigkeit zulassen würde, wie es beim Heberbarometer der Fall wäre, schränken schlechte Ablesbarkeit und die Notwendigkeit einer Temperaturkorrektur neben der Unhandlichkeit des Gerätes die breite Anwendung ein. Zur Demonstration der Gültigkeit der barometrischen Höhenformel bei einem Transport zwischen Keller und einem Obergeschoß wird man kaum beweiskräftige Resultate erhalten, wenn nicht vielleicht gar durch die Temperatureffekte — kühler Keller, heißer Dachboden — das Obergeschoß rechnerisch unter den Keller zu liegen kommt.

Das zweite übliche Gerät, das Dosenbarometer, hat durch die ihm eigene Mechanik eine stark begrenzte Auflösung, relativ schlechte Reproduzierbarkeit bei gealtertem Gerät (typisches Beklopfen des Gerätes!), außerdem ist es auch nicht klein genug, um in irgendwelchen Versuchsapparaturen eingebracht werden zu können.

Seit einiger Zeit aber gibt es gerade für den Druckbereich, der sonst von Flüssigkeitsmanometern und -barometern abgedeckt wird, Halbleitersensoren, die in einfacher Weise die Druckmessung, verbunden mit einigen Vorteilen gegenüber herkömmlichen Wegen, erlauben: Der Druckaufnehmer ist sehr klein, kann via Vakuumschlauch an beliebige Systeme angesteckt werden, ist über den Meßbereich linear und hat eine relativ unproblematische Temperaturkompensation, die vor allem nur einmal durchzuführen ist, und, da der Druck in eine proportionale Spannung umgewandelt wird, kann der Drucksensor von der Anzeige räumlich getrennt werden, wobei eine zweiadrige Verbindung für die Informationsübertragung ausreicht.

Die Anzeige erfolgt sinnvollerweise digital, da nur so die notwendige Auflösung erzielt wird, die üblichen 3½-stelligen Anzeigen erlauben ohne Meßbereichsumschaltung die Anzeige von 95 % des gesamten Linearitätsbereichs bei einer Auflösung von 1 mbar. Für höhere Drücke, bei denen eine derart gute Auflösung ohnehin kaum gefragt ist, gibt es zwar auch Sensoren, nur können diese derzeit preislich nicht mit wesentlich günstigeren Manometern konkurrieren, für Messungen in besseren Vakua als 1 mbar gibt es bereits seit langer Zeit elektrische Meßverfahren, die zumeist auf der Leitfähigkeit verdünnter Gase beruhen. Druckbestimmungen in der Schule dürften aber zumeist im Bereich 1 bis 2000 mbar liegen, so daß die integrierte Schaltung LX 503 A von National Semiconductor sicherlich Aufmerksamkeit verdient.

Der Druckaufnehmer LX 503 A

Der eigentliche Sensor besteht aus einer Brückenschaltung vierer Piezowiderstände, die monolithisch auf einem Siliziumplättchen integriert sind. Alle vier Brückenkontakte sind beschaltet, zudem enthält der Sensor noch eine temperaturkompensierte Stromquelle zur Versorgung mit eingeprägtem Strom (Abb. 1). Im Schnittbild (Abb. 2) sieht man das auf einem evakuierten Hohlraum liegende Sensorplättchen, das sich entsprechend dem auf ihm lastenden Gasdruck mehr oder minder stark durchbiegt, was Widerstandsveränderungen der Brückenwiderstände nach sich zieht. Der IC befindet sich in einem Gehäuse ähnlich T0-3 mit einem aufgesetzten Gaseinlaß. Der Sensor ist durch eine dünne Schicht Parylen gegen feuchte Gase geschützt, verträgt aber keinen direkten Kontakt mit Wasser. Abbildung 3 gibt die geometrischen Daten in Millimeter und die Anschlußbelegung wieder. Die notwendigen Betriebsbedingungen (in Klammer die absoluten Grenzwerte) sind eine Betriebsspannung von 7,5 V (12 V) — wenn die Anschlüsse V_E und V_T verbunden werden, können auch Spannungen bis unter 2 V verwendet werden, nur sinkt die Empfindlichkeit — ein Temperaturbereich 0° bis +85° C (—40° C bis +105° C) und ein Druckbereich 0 bis 2,06 bar (5,15 bar). Die Empfindlichkeit liegt exemplarspezifisch zwischen 30 und 100 µV/mbar, so daß zur Anzeige ein Verstärker nachgeschaltet werden muß. Ein entscheidender Faktor ist letztlich auch der Preis, er liegt zur Zeit bei öS 545,—/Stk. exkl. MwSt. bei einer Lieferzeit von zirka 6 Wochen ab dem österreichischen Vertreter von National Semiconductor.

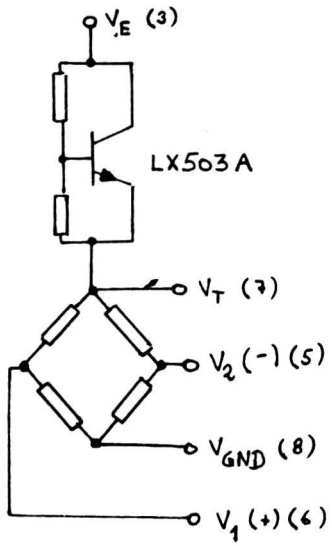


Abb. 1

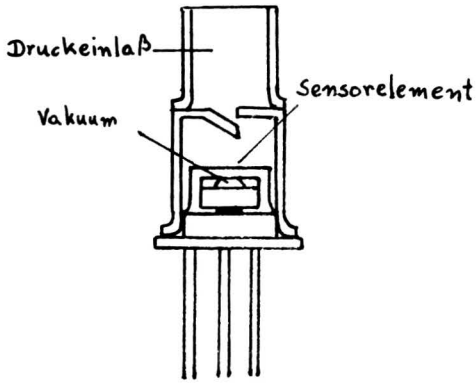


Abb. 2

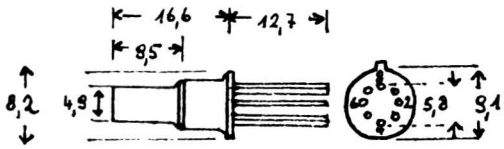


Abb. 3 (mm)

Gesamtschaltung

Die Schaltung (Abb. 4) besteht aus dem Druckaufnehmer, dessen Versorgungsspannung über eine Zenerstabilisierung (LM 329) aus der positiven Systemspannung abgeleitet wird, und einem zweistufigen Gleichspannungsverstärker, der durch den Doppeloperationsverstärker LM 358 N realisiert wird. An sonstigen Bauteilen gibt es nur einige Widerstände.

Nach dem Aufbau sind einige Abgleichschritte notwendig. Zunächst wird der LX 503 nicht angeschlossen (optimal befindet er sich ohnehin nicht im Gerät, sondern ist über eine fünfpolige Leitung und Fünfpol-DIN-Stecker angekoppelt, um flexibel zu sein), die Eingänge von IC 1 werden verbunden und die Spannung am Ausgang gemessen. Je nach ihrer Polarität wird das Offsetkompensationspotentiometer mit der entgegengesetzt gepolten Versorgungsspannung verbunden und die Ausgangsspannung auf 0 Volt kompensiert.

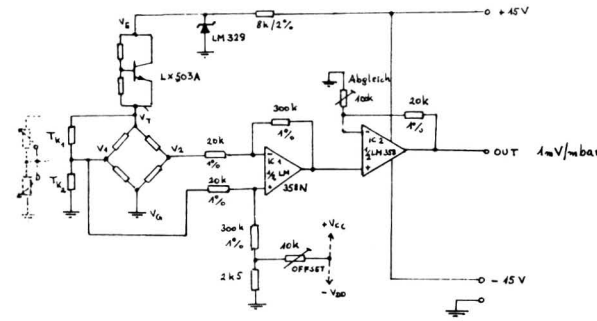


Abb. 4

Zur Temperaturkompensation ist leider ein etwas aufwendigeres Verfahren notwendig. Eine beliebige Anzeige bei einer bestimmten Temperatur soll auch bei einer zweiten Temperatur, aber bei gleichem Druck erreichbar sein, wobei die notwendigen Kompensationswiderstände empirisch gefunden werden müssen. Am einfachsten geht es, zunächst statt der Fixwerte zwei Potentiometer von 25 k einzusetzen. Als Temperaturgefälle genügt recht gut der Unterschied zwischen Außen- und Innentemperatur, da dies ja auch den späteren Einsatzbedingungen entspricht. Jeweils gut fünf Minuten müssen für die Temperaturanpassung des Gerätes gerechnet werden, wobei anschließend jene Potentiometereinstellungen gesucht werden müssen, bei der Temperaturwechsel keine Änderung der Anzeige mehr hervorrufen. Nachdem dies mit Sicherheit feststeht, werden die Potentiometer durch Metallfilmwiderstände gleichen Wertes ausgetauscht. Wesentlich bei der Temperaturkompensation ist auch, daß das Niveau bei diesen Messungen nicht mehr als ein Stockwerk differiert, denn als „Höhendifferenzmeßgerät" zeigt der LX 503 eine Auflösung um 5 Meter!

Abschließend erfolgt der Anzeigenabgleich mit dem Einstellregler am invertierenden Eingang von IC 2, der so justiert wird, daß die Anzeige den gerade herrschenden Luftdruck anzeigt. Dieser kann bei gleicher Seehöhe von einer nahe gelegenen meteorologischen Station erfragt werden (optimal führt man den Abgleich unmittelbar dort durch), oder man führt eine Präzisionsmessung an einem guten Heberbarometer durch, wobei dessen Temperaturgang nach $p_0 = p_t - 0{,}000\,181\, p_t \cdot t/^{\circ}C$ berücksichtigt wird und mmHg auf mbar umgerechnet werden.

Bei erfolgreicher Kompensation der Temperaturabhängigkeit der Anzeige ist das Gerät genau genug, um aus den Werten beim Aufstieg vom Keller bis zum Dachboden eines zweistöckigen Hauses die barometrische Höhenformel mit einem Fehler um 5 % errechnen zu können. An Vakuumdestillationsapparaturen angeschlossen, können, wenn das zunächst im Eisbad gekühlte System evakuiert wird, beim Temperaturanstieg nach der Entfernung der Kühlung hervorragende Dampfdruckkurven von Flüssigkeiten mit Siedepunkten bis maximal 85° C aufgenommen werden. Vielleicht nicht notwendig, aber angesichts des Preises des LX 503 gerechtfertigt, ist dabei das Dazwischenschalten eines mit grobkörniger Aktivkohle gefüllten U-Rohrs, da die Dämpfe der untersuchten Flüssigkeiten eventuell die Parylenschicht angreifen könnten.

LITERATUR:

LX 0503-Series Monolithic Pressure Transducers, National Semiconductor Corp. 1979.

BEZUGSVERZEICHNIS:

LX 0503A, LM 329, LM 358N bei W. Moor GmbH, 1150 Wien, Storchengasse 1/1/1.

Einfache, überschaubare Wellenwanne

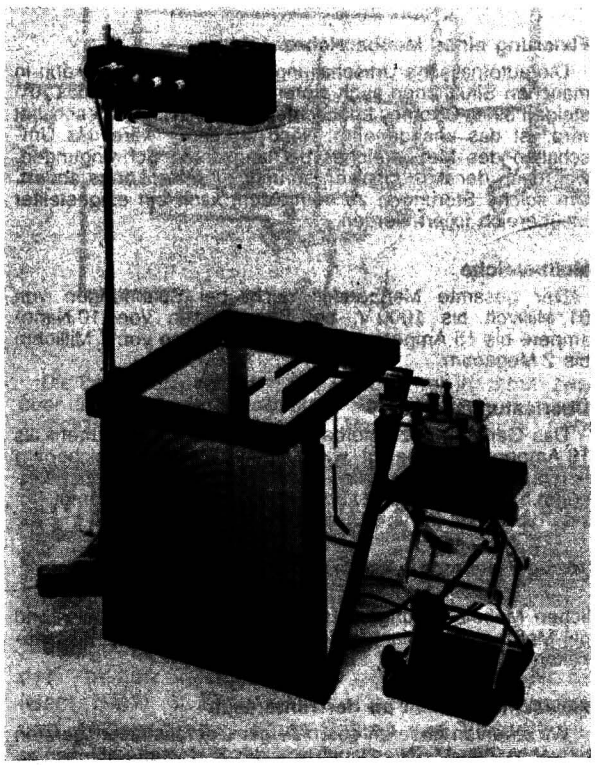
Wellenwannen sind heute schon so perfekt ausgebildet, daß sie oft wie ein Zauberkasten wirken, weil man nur mehr einige Knöpfe bedienen muß, im übrigen aber nichts mehr von der Funktionsweise sieht.

Für Freunde einfacher Geräte gibt es eine aus dem Norden Europas stammende Wellenwanne, die man zwar nicht einfach hinstellen und einschalten kann, die aber durch ihren übersichtlichen Aufbau beeindruckt.

Zwei mögliche Lichtquellen

Seit es Tageslichtprojektoren gibt, existiert auch die Idee, sie als Lichtquelle für die Wellenwanne einzusetzen. Die Erfolge waren anfangs nicht besonders gut, weil die Hochvoltlampen zu unscharfe Bilder brachten. Erst die Niedervoltprojektoren ermöglichen eine kontrastreiche Darstellung der Wellen.

Der Vorteil bei der Verwendung des Tageslichtprojektors besteht in der Größe des Bildes, das von der ganzen Klasse mühelos beobachtet werden kann. Noch kontrastreicher ist das Bild bei Verwendung einer Jodquarzlampe, die zusammen mit den sonst noch erforderlichen Teilen (Glasplatte, Spiegel) als Zubehör geliefert werden kann. Das Bild ist dann allerdings viel kleiner, wie folgende Abbildung zeigt.



Versuchsaufbau

Der Gesamtaufbau erfordert drei Teile:

1. Die Wellenwanne wird je nach Lichtquelle auf den Tageslichtprojektor oder auf einen Aufstellrahmen gestellt. Die Füllung mit Wasser ist nicht sehr kritisch.

2. Neben der Wellenwanne wird in passender Höhe der Vibrator aufgestellt. Er besitzt eine Aufnahme für die verschiedenen Wellenerreger. Den Betriebsstrom erhält er von der Stroboskop-Einheit.

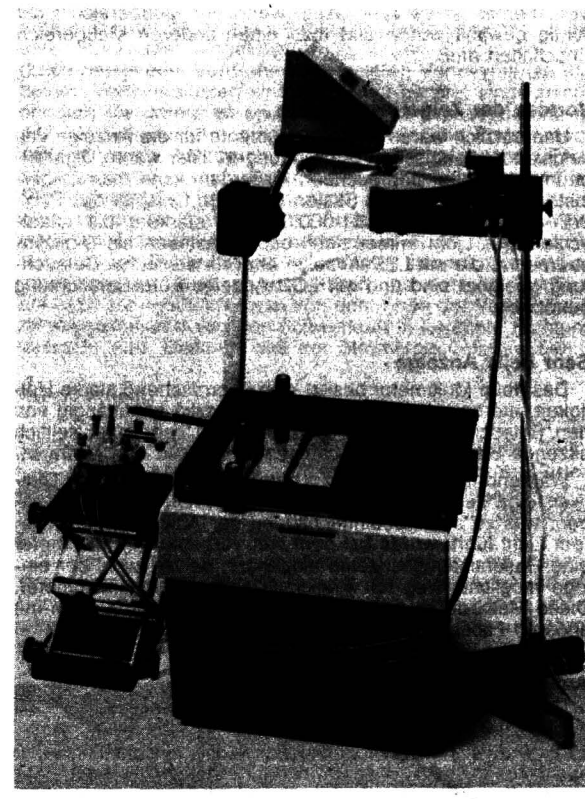
3. Auf einem Stativ wird die Stroboskop-Einheit befestigt. Sie trägt die Stroboskop-Scheibe und enthält die Synchronisier-Einrichtung, die im Zusammenwirken mit dem Vibrator dafür sorgt, daß je nach Betätigung eines Druckknopfes entweder ein stehendes Bild oder eine langsam fortschreitende Welle erzeugt wird. Die Stromversorgung erfolgt mit Gleichspannung 12 Volt.

Wellenausbreitung

Sehr einfach und eindrucksvoll sind die Versuche zur Wellenausbreitung. Als Erreger stehen ein punktförmiger Tupfer, eine Platte für ebene Wellen und ein Zweifach-Tupfer zur Verfügung. Ferner gibt es Zubehör, um einen Spalt, eine Kante, einen Doppelspalt u. a. aufzubauen. Ebene und kreisförmige Welle, Reflexion, Beugung an einer Kante, Beugung am Spalt und am Doppelspalt, Interferenz von Wellen, das sind sehr einfach durchzuführende Versuche.

Brechung

Für Brechungsversuche gibt es ein Prisma, eine Linse bikonvex und eine Linse bikonkav. Die Brechung ist wahrnehmbar, jedoch wegen des geringen Geschwindigkeitsunterschiedes im seichten Wasser nicht überwältigend. Diese Versuche fallen aber bei den teuren Super-Wellenwannen auch nicht besser aus.



Doppler-Effekt

Sehr eindrucksvoll ist die Demonstration des Doppler-Effektes. Dabei wird der Vibrator mehr oder weniger schnell mit der Hand bewegt. Überraschend deutlich erkennt man die Wellenlängenänderung in und entgegen der Bewegungsrichtung.

Bei sehr schneller Bewegung sieht man die Kopfwelle.

Überschaubar

Für alle Lehrer, die nicht eindruckschindend als Zampanos auftreten wollen, sondern ihre Aufgabe darin sehen, erklärend zu unterrichten, wird diese einfache Wellenapparatur eine willkommene Ergänzung darstellen. Der offene Aufbau macht es leicht, die Wirkungsweise verständlich zu machen.

Feinheiten

Die Ränder der Wellenwanne sind schräg angeordnet, um Reflexionen möglichst zu verhindern. Für eine vollständige Unterdrückung von Reflexionen reicht das nicht aus, dazu müßte man den Rand mit Schaumstoff oder anderen geeigneten Materialien auslegen. Das wird aber nur für Perfektionisten an den Hochschulen erforderlich sein, die ja bereits ihre teuren Geräte besitzen. Für den schnellen Aufbau in Pausen, wie er in Schulen die Regel ist, reicht das Gerät völlig aus. Auskünfte: Fa. Lorber, Mariahilfer Straße 93, 1060 Wien.

Perfektes Multimeter für Demonstration

Ein neues Produkt österreichischer Wertschöpfung war erstmals auf der Lehrmittelausstellung in Salzburg zu sehen. Es handelt sich um ein Multimeter mit großer, stark leuchtender Digitalanzeige, das eine so hervorragende technische Ausstattung besitzt, daß es unbedingt im Rahmen der Experimentalphysik besprochen werden muß.

Nachteile der Zeigerinstrumente

Unsere im Unterricht verwendeten Demonstrationsmultimeter haben zwei schwerwiegende Nachteile: Bei abgedunkelter Beleuchtung sieht man zu wenig von der Skala, und seitwärts sitzende Beobachter sehen nie den richtigen Meßwert. Ferner ist es sehr lästig, wenn der Meßbereich nicht richtig gewählt wurde und man einen anderen Meßbereich einschalten muß.

Vorteile der Zeigerinstrumente

Unersetzlich waren Zeigerinstrumente für die Anzeige von langsamen elektrischen Schwingungen. Hier waren Digitalinstrumente bisher unbrauchbar. Außerdem kann man Zeigerinstrumente mit großen Skalen (wie zum Beispiel das PHYWE-Vielfachinstrument 11 000.00) bei starkem bis mittelschlechtem Licht immer noch besser ablesen als Digitalinstrumente, die mit LED-Anzeige eher für schlechte Beleuchtung geeignet sind und mit LCD-Anzeige gute Beleuchtung benötigen.

Sehr helle Anzeige

Das neue Multimeter besitzt eine überraschend starke Helligkeit, die bewirkt, daß die Ablesung völlig unabhängig von den Beleuchtungsverhältnissen ist. Auch sehr stark seitlich sitzende Studenten und Schüler sehen exakt den Meßwert.

Während fast alle ausländischen Fabrikate mit großer Digitalanzeige Leuchtdioden als Anzeigeelemente eingebaut haben, was zu einer Beeinträchtigung der Ablesung bei hellerem Licht führt, wurde bei dem hier vorgestellten Multimeter eine Gasentladungsanzeige eingebaut, derzeit wohl der einzige mögliche Weg für wirkliche Demonstrationsmultimeter. Diese Methode ist zwar aufwendig, aber jeder Vergleich mit anderen Fabrikaten zeigt die Richtigkeit dieses Weges.

Automatische Bereichswahl

Um den Bedienungskomfort optimal zu gestalten, erhielt das Multimeter eine vollautomatische Bereichswahl eingebaut. Man muß also weder Meßbereiche einschieben noch austauschen noch einen Drehknopf betätigen, sondern das Multimeter schaltet automatisch auf den jeweils besten Bereich um. Während man bisher den erforderlichen Meßbereich vorher wissen mußte, ist das nun nicht mehr notwendig und wird sicherlich zur Erhöhung der Experimentierfreudigkeit beitragen.

Automatische Anzeige der Stromart

Wem ist es noch nicht passiert, daß man die richtige Einstellung „Gleichstrom" oder „Wechselstrom" vergessen hat und das Meßinstrument nichts oder einen unrichtigen Wert angezeigt hat? Damit ist es nun auch vorbei! Das neue Multimeter wählt sich selbst die richtige Anzeige der Stromart. Was muß man eigentlich selbst noch tun?

Nur mehr drei Buchsen

Alles, worauf man noch achten muß, ist die Wahl der richtigen Eingangsbuchse. Die Frontplatte enthält vier Eingangsbuchsen. Eine davon ist für alle Meßbereiche zu benützen. Die drei anderen Buchsen sind mit U, I und R bezeichnet. Das einzige, was man unbedingt zu tun hat, ist der Entschluß, ob man Spannung, Stromstärke oder Widerstand messen will und die Verwendung der zugeordneten Buchse. Diesen Entschluß automatisch auf das Meßgerät zu übertragen, dafür steht leider noch keine technische Möglichkeit zur Verfügung.

Anzeige von Schwingungen

Außer der Digitalanzeige besteht auch die Möglichkeit, eine Analoganzeige in Form eines Balkens einzubauen. Dieser Balken besteht aus Leuchtdioden, die auf einer zur wirkenden Spannung oder Stromstärke proportionalen Strecke aufleuchten. Im Gegensatz zur Digitalanzeige gibt es dabei keine Trägheit der Anzeige, wodurch es möglich ist, die bei einer Schwingung auftretende rasche Änderung der Meßwerte anzuzeigen.

Diese Analoganzeige kostet einiges mehr und wird deshalb auf Wunsch eingebaut. Damit der Balken im Normalbetrieb nicht stört, ist die Analoganzeige abschaltbar. Damit umgekehrt die Digitalanzeige bei der Beobachtung von Schwingungen nicht stört, kann auch sie abgeschaltet werden.

Beruhigung der letzten Stelle

Eine unangenehme Eigenschaft vieler Digitalanzeigen ist die dauernde Unruhe und Änderung der letzten Ziffer bei sanft schwankenden Meßwerten. Damit nervöse Naturen nicht beunruhigt werden, besitzt das Multimeter eine Spezialschaltung der Beruhigung der letzten Ziffer.

Fixierung eines Meßwertes

Manchmal tritt das Problem auf, den Meßwert für einen bestimmten Augenblick festzuhalten. Man denke zum Beispiel an die Aufladung oder Entladung eines Kondensators, die man viel einfacher punktweise messen kann, wenn die Spannung in einem bestimmten Zeitpunkt festgehalten werden kann. Das besprochene Multimeter ermöglicht die Fixierung des Meßwertes in einem gewünschten Augenblick.

Fixierung eines Meßbereiches

Die automatische Umschaltung des Meßbereiches kann in manchen Situationen auch störend sein. Wenn man das Ansteigen eines Stromes beobachtet und plötzlich umgeschaltet wird, ist das unangenehm. Noch störender wäre das Umschalten des Meßbereiches bei langsamen Schwingungen, weil dann der Analogbalken sprunghaft seine Länge ändert. Um solche Störungen zu vermeiden, kann ein eingestellter Meßbereich fixiert werden.

Meßbereiche

Der gesamte Meßbereich reicht bei Spannungen von 01, Millivolt bis 1000 V, bei Stromstärken von 10 Nanoampere bis 15 Ampere und bei Widerständen von 1 Milliohm bis 2 Megaohm.

Überlastungsschutz

Das Gerät ist unzerstörbar. Wenn ein Strom von mehr als 16 Ampere durchgejagt wird, schmilzt eine Feinsicherung durch und muß ersetzt werden. Sonst aber braucht man keinerlei Schädigung zu befürchten. Sicherheitshalber empfiehlt sich die Lagerung von Ersatzsicherungen.

Weitere Meßmöglichkeiten

Eine seitliche Buchse ermöglicht den Anschluß von zusätzlichen Meßeinrichtungen. Bisher sind Temperaturfühler und pH-Meßzusatz geplant, jedoch sind weitere Zusatzmöglichkeiten im Stadium der Planung.

Ablesemöglichkeit an der Hinterseite

Wir sind von unseren guten Zeiger-Demonstrationsgeräten gewohnt, den Meßwert auch von der Hinterseite ablesen zu können, damit wir nicht ständig vor dem Experimentiertisch die Sicht verstellen müssen. Auch das neue Multimeter besitzt eine Digitalanzeige an der Hinterseite, was wieder einen sehr wichtigen Vorteil gegenüber anderen Multimetern darstellt.

Schlußbetrachtung

Mit diesem großartigen Digitalmultimeter mit heller, weithin sichtbarer Anzeige ist österreichischen Elektronikern ein derzeit auf dem letzten Stand der Technik befindliches Werk gelungen. Es ist zu hoffen, daß es die gerechte Würdigung und Förderung erhält.

Modellversuch zum Fehlerstromschalter

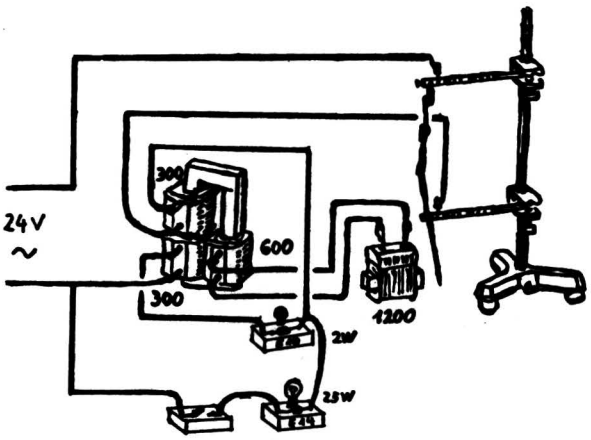
Lernziel:

Der Fehlerstromschalter hat die Aufgabe, Fehlerströme zu erkennen und bei einer gewissen Stärke des Fehlerstromes abzuschalten. Ein Fehlerstrom kommt von der einen Zuleitung (vom Außenleiter), fließt aber nicht durch die zweite Zuleitung (Nulleiter) zurück und fehlt daher in dieser zweiten Zuleitung. Unser Modellversuch zeigt, wie der FI-Schalter die Ströme in den beiden Zuleitungen vergleicht und bei Überschreiten einer gewissen Differenz reagiert.

Der Strom fließt von der einen Zuleitung über einen Abschaltmechanismus und über eine Spule mit 300 Wdg. zum Verbraucher (Lämpchen 2 W) und über eine zweite Spule mit 300 Wdg. zur anderen Zuleitung zurück. Die beiden Spulen

sind so gepolt, daß ihre Magnetfelder gegeneinander wirken und deshalb kein resultierendes Magnetfeld entsteht, wenn der gesamte zum Verbraucher fließende Strom auch wieder zurückfließt, also kein Fehlerstrom vorhanden ist.

Auf dem aus zwei U-Kernen zusammengesetzten geschlossenen Eisenkern befindet sich eine dritte Spule mit 600 Wdg., in der zunächst (ohne Magnetfeld) keine Induktionsspannung entstehen kann. An dieser Spule ist die Magnetspule für den Abschaltmechanismus (1200 Wdg.) angeschlossen.



Die Lampe erzeugt einen Fehlerstrom, weil ihr Strom zwar über die eine Spule zufließt, aber nicht über die zweite Spule zurückfließt. Deshalb sind die Magnetfelder nicht mehr gleich, heben einander nicht mehr auf, in der dritten Spule wird Spannung induziert, und sie liefert den für das Abschalten erforderlichen Strom.

Der Abschaltmechanismus ist in folgender Weise aufgebaut: In der oberen Verteilerstütze steckt eine ganz kurze Leitungsschnur (10 cm inklusive der beiden Stecker). Der untere Stecker ist mit einer Krokodilklemme versehen, in der eine Stricknadel eingeklemmt ist. Diese Stricknadel wird durch geeignetes Verdrehen der unteren Verteilerstütze (die beiden Verteilerstützen sind also nicht parallel eingespannt, sondern die untere ist etwas nach vorne herausgedreht, so daß die Stricknadel schräg liegt), von der die Endschraube entfernt wurde, schräg angeordnet und liegt ganz am Ende der Verteilerstütze auf, wodurch der Kontakt geschlossen ist. Die Magnetspule (1200 Windungen) mit kurzem Eisenkern ist etwa 15 mm vor dem unteren Ende der Stricknadel aufgestellt. Im Falle eines Fehlerstromes erhält die Magnetspule den von der Spule mit 600 Windungen stammenden Induktionsstrom, wird dadurch magnetisch und zieht die Stricknadel nach vor, wodurch diese von dem Ende der Verteilerstütze abgeleitet und von der Schwerkraft in lotrechte Richtung gebracht wird. Dadurch wird der Stromkreis unterbrochen.

Durchführung:

1. Schaltung gemäß Skizze aufbauen, wobei der mir der Lampe 25 W in Serie liegende Schalter geöffnet sein muß.
2. Die Stricknadel wird ganz am Ende der unteren Verteilerstütze schräg liegend angeordnet. Das Lämpchen 2 W muß leuchten. Die Abschaltspule wird 10 mm vor dem Ende der Stricknadel aufgestellt.
3. Der Schalter wird geschlossen, wodurch ein Fehlerstrom erzeugt wird. Die Stricknadel wird angezogen und die Schwerkraft muß sie am Ende der Stütze vorbeiziehen und in lotrechte Lage bringen, wodurch der Stromkreis unterbrochen bleibt.

MATHEMATIK

Dr. Walter Kranzer

Infolge eines Mißverständnisses wurde nur einer der beiden Autoren des Artikels in Nr. 57 (Sept. 1981), S. 22, der Wiss. Nachr. **„Herleitungen und Abgrenzungen eines Satzes von Viviani"** genannt. Der zweite Autor ist Herr **Dr. Robert Tichy, TU Wien,** was hiermit mit Bedauern über die seinerzeitige Unterlassung mitgeteilt wird.

Die Redaktion

Analyse eines Lösungsweges:

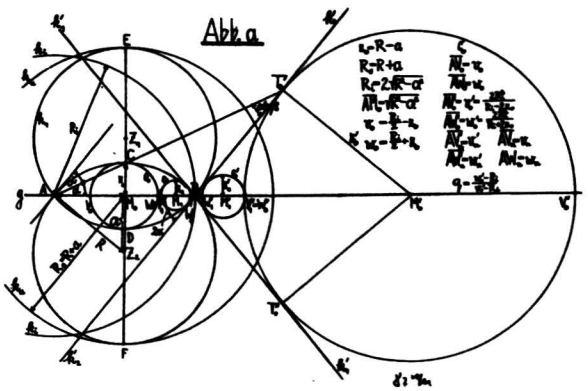
II. Teil, Kreisketten im Schnitt – Doppelsegment zweier Kreise

Wir behandeln jetzt eine Verallgemeinerung des Problems aus dem ersten Teil, indem wir nicht von einem Halbkreis, sondern von zwei kongruenten, einander schneidenden Kreisen $k_1(Z_1, R)$, $k_2(Z_2, R)$ mit dem Zentralabstand $\overline{Z_1Z_2} = 2a$, $R > 2a$, ausgehen. k_1, k_2 schließen u. a. ein Gebiet von der Gestalt einer Bikonvexlinse ein. Diesem Doppelsegment sind die Kreise $c_0(M_0, r_0)$, $c_1(M_1, r_1)$, ... derart eingeschrieben, daß sie die Bogenstücke ACB und ADB berühren (s. Abb. a). M_0 ist der Mittelpunkt der gemeinsamen Sehne AB. Ferner berührt jeder Kreis c_n, $n \in N_0$, seinen Nachbarkreis c_{n+1}.

Aufgabe: Die Krümmungen $K_n = 1/r_n$ sind zu berechnen!

Lösung: Auch im allgemeineren Fall erweist sich die Inversion als außerordentlich nützliches Instrument, wenn sie die Kreise k_1, k_2 in Gerade überführt. Dies leistet der Inversionskreis $k_i(A, R_i)$, $R_i = \overline{AB} = 2 \cdot \sqrt{R^2 - a^2}$. Er konstituiert folgende Zuordnungen:

Kreis $k_1 \rightarrow$ Gerade k_1',
Kreis $k_2 \rightarrow$ Gerade k_2',
Sehne AB $\rightarrow$ Halbgerade h (B, ∞),
$c_0 \rightarrow$ Kreis c_0',
$c_1 \rightarrow$ Kreis c_1',
. . . . . .
$c_n \rightarrow$ Kreis c_n'
. . . . . .



Die Bildkreise c_n' sind den Geraden k_1', k_2' und einander berührend eingeschrieben, ihre Radien bilden daher eine geometrische Folge

$$r_n' = r_0' \cdot q^n$$

mit dem Quotienten

(1) $$q = (w_0' - R_i) / (v_0' - R_i) .$$

(Die Bedeutung der einzelnen Buchstabensymbole ist dem Begleittext der Abb. a zu entnehmen.) Aus der Inversion folgt

(2a) $$v_o' = R_i^2/[(R_i/2) - r_o] = 2R_i^2/(R_i - 2r_o)\,,$$

(2b) $$w_o' = 2R_i^2/(R_i + 2r_o)\,,$$

also

(2c) $$v_o' - R_i = R_i(R_i + 2r_o)/(R_i - 2r_o)\,,$$

(2d) $$w_o' - R_i = R_i(R_i - 2r_o)/(R_i + 2r_o)\,,$$

somit

$$q = \left(\frac{R_i - 2r_o}{R_i + 2r_o}\right)^2 = \left(\frac{2\sqrt{R^2 - a^2} - 2R - 2a}{2\sqrt{R^2 - a^2} + 2R - 2a}\right)^2 =$$

$$= \left(\frac{\sqrt{R + a} - \sqrt{R - a}}{\sqrt{R + a} + \sqrt{R - a}}\right)^2.$$

Je nachdem, ob man quadriert oder den Nenner rational macht, resultieren folgende zwei Darstellungen von q

(3a) $$q = \frac{R - \sqrt{R^2 - a^2}}{R + \sqrt{R^2 - a^2}}\,,$$

(3b) $$q = \left(\frac{R - \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^2.$$

Man erkennt unmittelbar

(3c) $$\frac{1}{q} = \left(\frac{R + \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^2.$$

Aus der Abb. a und den Gleichungen (2a), (2b) geht hervor

$$r_o' = \frac{1}{2}(v_o' - w_o') = R_i^2\,\frac{4r_o}{R_i^2 - 4r_o^2}\,,$$

(4a) $$r_o' = \frac{4R_i^2 r_o}{R_i^2 - 4r_o^2}$$

oder nach Substitution $R_i^2 = 4(R^2 - a^2)$, $r_o = R - a$,

(4) $$r_o' = 2(R^2 - a^2)/a\,.$$

Da die r_n' eine geometrische Folge mit dem Quotioenten q bilden, gilt

(5) $$r_n' = \frac{1}{2}(v_n' - w_n') = r_o' \cdot q^n\,.$$

r_n geht aus r_n' durch Inversion an k_i hervor

$$r_n = \frac{1}{2}\left(\frac{R_i^2}{w_n'} - \frac{R_i^2}{v_n'}\right) = \frac{R^2(v_n' - w_n')}{2v_n' \cdot w_n'}\,.$$

Nach (5) und (4a) wird daraus

(6) $$r_n = \frac{R_i^2 \cdot r_o' q^n}{v_n' \cdot w_n'} = \frac{4R_i^4 \cdot r_o \cdot q^n}{(R_i^2 - 4r_o^2)\,v_n' w_n'}\,.$$

Weiter ergibt sich

$$v_n' = (v_o' - R_i) \cdot q^n + R_i\,,$$

$$w_n' = (w_o' - R_i) \cdot q^n + R_i\,,$$

$$v_n' w_n' = (v_o' - R_i)(w_o' - R_i)q^{2n} + (v_o' - 2R_i + w_o')R_i q^n + R_i^2 =$$

$$= R^2 q^{2n} + 2R_i^2 \cdot \frac{R_i^2 + 4r_o^2}{R_i^2 - 4r_o^2} \cdot q^n + R_i^2 = R_i^2\left(q^{2n} + 2\frac{R}{a}q^n + 1\right),$$

wenn man die Gleichungen (2c), (2d) multipliziert bzw. addiert und R_i^2, r_o^2, durch R und a ausdrückt.

[Das Teilergebnis

$$(v_o' - R_i)(w_o' - R_i) = R_i^2$$

läßt sich auch ohne Rechnung rein geometrisch ableiten. c_o' berührt k_2' in T_o', nach dem Satz von der Potenz des Punktes B bzgl. Kreis c_o' gilt daher

$$(v_o' - R_i)(w_o' - R_i) = \overline{BT_o'}^2\,.$$

Die Inversion ist ferner eine winkeltreue Abbildung, so daß

$$2\alpha = \sphericalangle(\widehat{AC}, \overrightarrow{AB}) = \sphericalangle(\overrightarrow{T'B}, \overrightarrow{V'B})\,.$$

(Infolge der Symmetrie in der Figur bzgl. g berührt die Gerade k_2' den Kreis k_1 in B, ebenso k_1' den Kreis k_2.) Aus dem gleichen Grunde ist

$$\sphericalangle(\widehat{AC}, \overrightarrow{AC}) = \sphericalangle(\overrightarrow{T'A}, \overrightarrow{T'B})\,.$$

Als Sehnen-Tangentenwinkel ist $\sphericalangle(\widehat{AC}, \overrightarrow{AB})$ doppelt so groß wie der Peripheriewinkel $\sphericalangle(\overrightarrow{AC}, \overrightarrow{AB})$, also ist $\triangle ABT_1'$ gleichschenkelig und

$$\overline{BT_o'} = \overline{AB} = R_i\,, \text{ wzbw.]}$$

Wir tragen nun $v_n' w_n'$ in Gleichung (6) ein, ersetzen R_i^2, r_o durch $4(R^2 - a^2)$, $R - a$, und gehen zur Krümmung über

$$r_n = \frac{4R_i^4 \cdot r_o q^n}{R_i^2 - 4r_o^2} \cdot \frac{1}{R_i^2\left(q^{2n} + \frac{2R_o}{a}q^n + 1\right)}\,,$$

$$K_n = \frac{1}{r_n} = \frac{a}{2(R^2 - a^2)} \cdot \left(q^n + \frac{2R}{a} + \frac{1}{q^n}\right).$$

Mit (3b), (3c) findet man

$$K_n = \frac{a}{2(R^2 - a^2)}\left[\left(\frac{R - \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^{2n} + \frac{2R}{a} + \left(\frac{R + \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^{2n}\right]$$

oder

(7) $$K_n = \frac{a}{2(R^2 - a^2)}\left[\left(\frac{R + \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^n + \left(\frac{R - \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^n\right]^2 + \frac{1}{R + a}\,.$$

Mit Ausnahme des Einsatzes der Inversion, in der Absicht, eine Kette ähnlicher Figuren und damit Kreisradien zu erhalten, und der soeben ausgeführten Umformung des „eckigen" Klammerausdruckes in ein vollständiges Quadrat, handelt es sich bis jetzt um routinemäßige Rechnungen, deren Motivation sich kaum von der im ersten Teil der Abhandlung erläuterten unterscheidet. Der geometrische Kern des Fragenkreises legt aber jetzt den Gedanken nach einer geometrischen Interpretation des – rein optisch – störenden letzten Summanden in (7) nahe. Sie ist leicht zu finden, denn R + a ist der Radius des Kreises $K_u(M_o, R_o)$, der die beiden Ausgangskreise k_1, k_2 symmetrisch und umfassend berührt. Führt man konsequenterweise auch noch für k_u die Krümmung ein, $K' = 1/(R + a)$, so erhält man die gefälligere wirkende Schlußformel

(8) $$D_n = K_n - K' = \frac{a}{2(R^2 - a^2)} \cdot \left[\left(\frac{R + \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^n + \left(\frac{R - \sqrt{R^2 - a^2}}{a}\right)^n\right]^2.$$

Auch der Faktor vor der eckigen Klammer in (8) erlaubt eine geometrische Deutung. Er stellt die Krümmung $K_o' = 1/r_o'$ des Bildkreises c_o' von c_o dar.

Wie im ersten Teil haben auch hier negativ-ganzzahlige Exponenten n einen geometrischen Sinn. Sie liefern die in der Abb. a weggelassenen linken Anschlußkreise $c_{-1}, c_{-2}, \ldots c_{-n}$, ...an den Ausgangskreis c_o, ohne – wegen der Reziprozität der Ausdrücke in den runden Klammern – D_{-n} gegenüber D_n zu verändern. c_n und c_{-n} sind ja kongruent. Wieder eine bemerkenswerte algebraische Realisierung geometrischer Zusammenhänge!

Die Berechnung von D_n ist bereits für kleine Werte von n mühevoll, auch wenn R, a numerisch vorgegeben sind. Daher

wollen wir – wie in Teil I – Ausschau nach brauchbaren Rekursionen halten. Ein guter Wegbereiter ist die Voruntersuchung an Hand eines numerischen Beispiels mit möglichst einfachen Zahlen. Daraus erhält eine „gute Nase" Chancen zum Meistern des allgemeinen Falles.

Hiezu bietet sich als Anfangsfigur ein Kreispaar an, dessen Zentralabstand $2a = R$ ist. Mit $R = 2$, $a = 1$, behandelt man einen Sonderfall, von dem man sich die erhofften Hinweise erwarten darf. Nach (8) lautet die Formel für den speziellen Fall

$$D_n = \frac{1}{6} \cdot \left[(2+\sqrt{3})^n + (2-\sqrt{3})^n \right]^2 . \tag{8a}$$

Nach den im Teil I gewonnenen Erfahrungen erscheint die getrennte Notierung der D_n mit geradem bzw. ungeradem Index ratsam. Außerdem kann man sich auf die Berechnung des Terms

$$S_n = \frac{1}{2} \cdot \left[(2+\sqrt{3})^n + (2-\sqrt{3})^n \right] \tag{9}$$

beschränken. Kennt man nämlich die Struktur der S_n, dann ergibt sich der Aufbau der D_n ohne Schwierigkeiten. Bliebe man bei D_n, dann wüchsen die Zahlenwerte derart rasch, daß selbst der feinsten Nase erkennbare strukturelle Tendenzen verborgen blieben. Nun die ersteren elf S_n:

$S_0 = 1$	$S_1 = 2$
$S_2 = 7$	$S_3 = 26$
$S_4 = 97$	$S_5 = 362$
$S_6 = 1351$	$S_7 = 5042$
$S_8 = 18817$	$S_9 = 71226$
$S_{10} = 262087$	$S_{11} = 978122$

Die Erinnerung an die analoge Lage bei der Kreiskette im Halbkreis lenkt die Aufmerksamkeit zuerst auf $S_1, S_3, S_5, \ldots$ mit der Ergebnis

$$S_1 = 1^2 + 1 , \; S_3 = 5^2 + 1 , \; S_5 = 19^2 + 1 .$$

Die drei nächsten S_{2m+1} sind ebenfalls um 1 vermehrte Quadrate ganzer Zahlen, wie man schnell nachprüft. $S_7 = 71^2 + 1$, $S_9 = 265^2 + 1$, $S_{11} = 989^2 + 1$. Also scheint man einer ersten Gesetzmäßigkeit auf der Spur zu sein.

Für den Beweis der Vermutung ist die zusätzliche Kenntnis des Bildungsgesetzes der Basiszahlen B_m in $S_{2m+1} = B_m^2 + 1$, sicher von Nutzen. Beim Halbkreisproblem in Teil I existierte eine lineare Beziehung zwischen B_m, B_{m-1}, B_{m-2}. Nähere Inaugenscheinnahme der B_m deutet auch hier Ähnliches an.

$$\begin{aligned} B_2 &= 19 = 4 \cdot 5 - 1 , \\ B_3 &= 71 = 4 \cdot 19 - 5 , \\ B_4 &= 265 = 4 \cdot 71 - 19 , \\ B_5 &= 989 = 4 \cdot 265 - 71 , \end{aligned}$$

d. h., die Behiehung könnte lauten:

$$B_m = 4 \cdot B_{m-1} - B_{m-2} , B_o = 1 , B_1 = 5 .$$

In Erinnerung an Teil I könnte die B-Rekursion gewisse, für die Klärung der Sachlage entscheidende Analogien zur S-Rekursion aufweisen. (Die charakteristische Gleichung böte natürlich den bequemeren, für unsere Zwecke jedoch ungangbaren Lösungsweg!) Zur Abkürzung führen wir die Zeichen

$$P = 2 + \sqrt{3} , \; M = P^{-1} = 2 - \sqrt{3}$$

ein und erhalten wegen $S_1 = 2$

$$\begin{aligned} S_n \cdot 2 &= (1/2)(P^n + P^{-n}) \cdot \frac{1}{2}(P + P^{-1}) , \\ 4S_n &= (1/2) \cdot (P^{n+1} + P^{-n-1} + P^{n-1} + P^{-n+1}) , \\ 4S_n &= S_{n+1} + S_{n-1} , \end{aligned}$$

$$S_{n+1} = 4 \cdot S_n - S_{n-1} , \; S_o = 1 , \; S_1 = 2 . \tag{10}$$

(10) stimmt, bis auf die Anfangsbedingungen, mit der vermuteten B-Rekursion überein. Zum Beweise setzen wir vorerst an

$$B_m = \alpha(2+\sqrt{3})^m + \beta \cdot (2-\sqrt{3})^m .$$

Die Anfangsbedingungen liefern zwei Gleichungen für α, β

$$\begin{aligned} m = 0: &\quad 1 = \alpha + \beta \\ m = 1: &\quad 5 = \alpha(2+\sqrt{3}) + \beta(2-\sqrt{3}) \end{aligned}$$

und daraus

$$\alpha = (2+\sqrt{3})/2 , \; \beta = (2-\sqrt{3})/2 .$$

Der Term

$$B_m = \frac{\sqrt{3}+1}{2} P^m - \frac{\sqrt{3}-1}{2} P^{-m} . \tag{11}$$

genügt tatsächlich der Rekursion. Man erhält nämlich durch Multiplikation beider Seiten von (11) mit 2 links bzw. mit $(1/2)(P + P^{-1})$ rechts

$$2B_m = \frac{\sqrt{3}+1}{4}(P^{m+1} + P^{m-1}) - \frac{\sqrt{3}-1}{4}(P^{-m+1} + P^{-m-1})$$

$$4B_m = B_{m+1} + B_{m-1} , \text{ wzbw.}$$

Bleibt nur noch zu zeigen, daß $S_{2m+1} = B_m^2 + 1$ gilt.

$$B_m^2 = \frac{2+\sqrt{3}}{2} \cdot P^{2m} + \frac{2-\sqrt{3}}{2} \cdot P^{-2m} - 1 .$$

Die zwei ersten Summanden rechts sind S_{2m+1}, womit die Bezeichnung

$$S_{2m+1} = B_m^2 + 1 \tag{12}$$

bewiesen ist.

Neben den Rekursionen für S_n, S_{2m+1}, B_m fehlt noch eine Rekursion für S_{2m}. Wir ergänzen die rechte Seite von $S_{2m} = (1/2)(P^{2m} + P^{-2m})$ zu einem vollständigen Quadrat

$$S_{2m} = 2 \cdot \left(\frac{1}{4} P^{2m} + \frac{1}{2} + P^{-2m} \right) - 1 .$$

Daraus folgt unmittelbar die Rekursion

$$S_{2m} = 2 \cdot S_m^2 - 1. \tag{13}$$

Der Sonderfall ist nun vollständig geklärt. Die dabei erworbenen Kenntnisse von zielführenden Verfahrensweisen und Zusammenhängen erlauben die rasche und schmerzlose Erledigung des allgemeinen Problems.

Wir führen zwecks verkürzter Notation folgende Symbole ein:

$$a/2(R^2 - a^2) = A^2 ,$$

$$(R + \sqrt{R^2 - a^2})/a = P , \; (R - \sqrt{R^2 - a^2})/a = M = 1/P .$$

Gleichung (8) schreibt sich dann

$$D_n = A^2(P^n + M^n)^2 . \tag{8'}$$

Wie im Sonderfall genügt die Betrachtung der Folge $\langle S_n \rangle$,

$$S_n = A(P^n + M^n) , \; S_o = 2A , \; S_1 = 6AR/a . \tag{14}$$

Inspiriert durch den Erfolg der im Spezialfall geübten Vorgangsweise, versuchen wir jetzt die Rekursion gleich in möglichst allgemeiner Form anzusteuern, indem wir die linke Seite von (14) mit S_m, die rechte mit $A(P^m + M^m)$ multiplizieren und $P \cdot M = 1$ verwenden ($n \geq m$):

$$\begin{aligned} S_n \cdot S_m &= A^2(P^n + M^n)(P^m + M^m) = \\ &= A^2(P^{n+m} + M^{n+m} + P^{n-m} + M^{n-m}) \end{aligned}$$

Das ist bereits die gesuchte Rekursion

$$\underline{\underline{S_n \cdot S_m = A \cdot S_{n+m} + A \cdot S_{n-m} .}} \tag{15}$$

Aus (15) ergeben sich weitere Rekursionen speziellerer Art

m = 1: $\quad S_1 = 2AR/a , \; S_n \cdot 2AR/a = AS_{n+1} + A \cdot S_{n-1} ,$

(15a) $$S_{n+1} = \frac{2R}{a} \cdot S_n - S_{n-1} .$$

m = 2: $$S_2 = A(2R^2 - 2a^2)/a^2 = 1/aA ,$$

$$S_n \cdot \frac{1}{aA} = A \cdot S_{n+2} + A \cdot S_{n-2} ,$$

(15b) $$S_{n+2} = \frac{1}{aA^2}(S_n - S_{n-2}) .$$

m = n: $S_o = 2A$, $S_n^2 = A \cdot S_{2n} + A \cdot S_o$

(15c) $$S_{2n} = \frac{1}{A} \cdot (S_n^2 - 2A) .$$

Es fehlt nur noch die Rekursion für S_{2n+1}. Für $R = 2$, $a = 1$, hatte B_n die Gestalt $\alpha P^n - (1/\alpha)M^n$ mit $\alpha^2 = P$. Nach einigem Probieren erhält man

$$f = \sqrt{P} = (\sqrt{R+a} + \sqrt{R-a})/\sqrt{2a} ,$$

$$\sqrt{M} = (\sqrt{R+a} - \sqrt{R-a})/\sqrt{2a} = g .$$

Nun versucht man es mit dem Ansatz

(16) $$B_n = f \cdot P^n - g \cdot M^n ,$$

quadriert $$B_n^2 = P^{2n+1} + M^{2n+1} - 2$$

und erhält in

(15d) $$S_{2n+1} = A(B_n^2 + 2)$$

die letzte ausständige Rekursion. Sie wäre aber ohne eine Rekursion für die Größen B_n unbefriedigend. Nach bewährtem Muster multiplizieren wir (16) mit $P + M = 2R/a$

$$(2R/a) \cdot B_n = fP^{n+1} - gM^{n+1} + f \cdot P^{n-1} - g \cdot M^{n-1} .$$

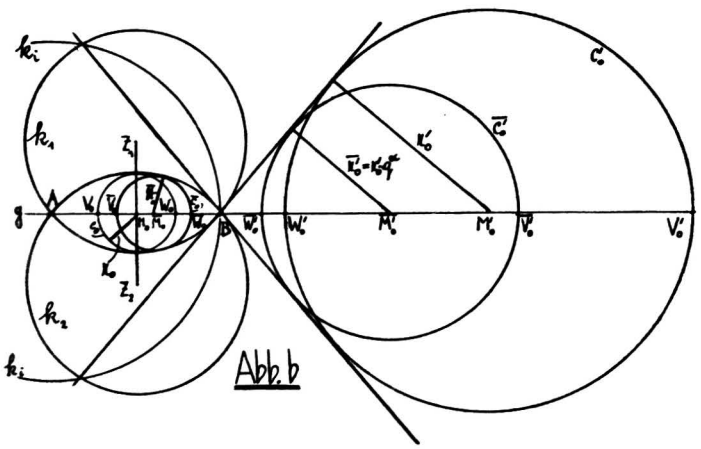
Die rechte Seite ist $B_{n+1} + B_{n-1}$,

also gilt
(17)

$$B_{n+1} = \frac{2R}{a} \cdot B_n - B_{n-1} ,$$

$$B_o = f - g = \sqrt{2(R-a)/a} , B_1 = f^3 - g^3 .$$

Damit ist das problem vollständig gelöst.



Noch eine Verallgemeinerung

Bisher lag der erste Kreis der Kette $c_o(M_o , r_o)$ symmetrisch zur Symmetrieachse der Ausgangskreise k_1 , k_2 . Nun soll diese Sonderlage aufgegeben werden. D. h., der erste Kreis der Kette, wir wollen ihn mit $\bar{c}_o$ bezeichnen, habe den Mittelpunkt $\bar{M}_o \neq M_o$ und den Radius $\bar{r}_o$ mit $r_o > \bar{r}_o > r_1$. Das Inversionsbild von $\bar{c}_o$ schneidet die Gerade g in zwei Punkten, die von A, dem Mittelpunkt des Inversionskreises k_i (A, R_i) den Abstand $\bar{v}_o'$ bzw. $\bar{w}_o'$ haben mögen (s. Abb. b). Wegen der Ähnlichkeit von $\bar{c}_o'$ und c_o' existiert eine reelle Zahl $\alpha , 0 < \alpha < 1$, derart, daß

$$\bar{v}_o' - R_i = (v_o' - R_i) \cdot q^\alpha ,$$
$$\bar{w}_o' - R_i = (w_o' - R_i) \cdot q^\alpha .$$

(Die Symbole ohne Querbalken behalten ihre im vorangehenden Abschnitt eingeführten Bedeutungen.) Die Berechnungen von $\bar{r}_n$, $\bar{K}_n$, $\bar{D}_n$ erfolgt wörtlich wie bei der von c ausgehenden Kreiskette mit dem einzigen Unterschied, daß überall q^n durch $q^{n+\alpha}$ zu ersetzen ist. Das Ergebnis lautet

$$\bar{D}_n = \frac{a}{2(R^2 - a^2)}(P^{n+\alpha} + M^{n+\alpha})^2 , n \epsilon Z .$$

Auch P , M haben ihre alte Bedeutung beibehalten.

Erübrigt sich, α durch $\bar{r}_o , R , a$ auszudrücken. Das ist nicht schwierig, denn setzt man in der zweiten, der Gleichung (7) vorangehenden Gleichung für n den Wert Null ein, so erhält man eine quadratische Gleichung für $q^\alpha = x$, nämlich

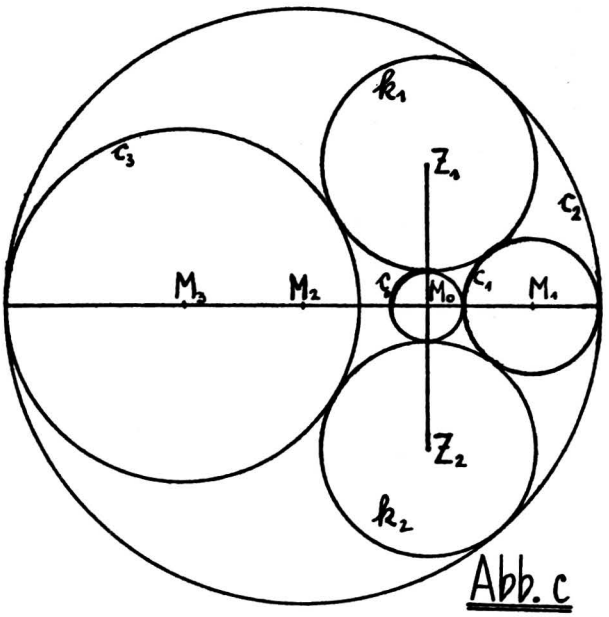
$$\frac{1}{\bar{r}_o} = \frac{a}{2(R^2 - a^2)}\left(x + \frac{2R}{a} + \frac{1}{x}\right)$$

oder

$$x^2 = \frac{2}{a \cdot \bar{r}_o} \cdot (R^2 - a^2 - R\bar{r}_o) + 1 = 0.$$

Die Lösungen dieser Gleichung sind reziprok, somit ihre Logarithmen entgegengesetzt signiert. Es ist daher gleichgültig, welche Lösung man nimmt, der Wert von $\bar{r}_n$ bleibt davon unberührt.

$$\alpha = \pm (\ln x)/(\ln q) .$$



Schlußbemerkungen

1) Hier wurde nur $R \geq 2a$ behandelt. Für $2R > 2a > R$ ist anstelle von $R - a$, $R^2 - a^2$ bzw. $a - R$, $a^2 - R^2$ zu nehmen. Aus Platzgründen unterbleibt die Diskussion, die auch keine neuen Gesichtspunkte eröffnen würde.

2) Man könnte auch an Kreisketten denken, die zwei einander nicht schneidende Kreise k_1 , k_2 berühren, wobei k_1 ganz außerhalb k_2 verläuft. Zu ihnen existiert kein Geradenpaar als Inversionsbild, wohl aber ein Paar kongruente Kreise. Die Art der

Berührung von k_1, k_2 durch die Kreise der Kette (beide innen, beide von außen) wechselt, wie an der Abb. c zu sehen ist.

3) Der allgemeinste Fall liegt vor, wenn k_1, k_2 einander schneiden, aber verschiedene Radien besitzen. Das würde in unseren Rahmen zu weit führen, soll nur eine Anregung sein.

4) Der zweite Teil eignet sich kaum für den Normalunterricht, bietet jedoch für Vorbereitungskurse zu den Mathematischen Olympiaden einiges Material, an dem sich einerseits der Scharfsinn und Spürsinn der Teilnehmer bewähren kann, das andererseits auf verschiedene Wege und Einfälle aufmerksam macht, mit denen auftretende Hürden im Beweisverfahren zu nehmen sind.

Walter Kranzer

Karl Steiner, HTL St. Pölten

Einige diophantische Gleichungen

(2. Teil)

3. Diophantische Gleichungen dritten Grades

(3.1) $x^2 + y^2 = z^3$

Für die ptL dieser Gleichung ist z in jedem Fall ungerade. Angenommen x und y sind beide ungerade, dann ist z gerade. Die Summe zweier ungerader Quadrate ist aber nur teilbar durch zwei und keine höhere Potenz davon. z^3 müßte aber durch 8 teilbar sein. Daher sind x und y von ungleicher Parität und z ungerade.

Nach (1.1.5) und (1.1.6) ist z^3 ein Produkt von Primfaktoren mit eindeutiger Darstellung der Form $a^2 + b^2$. Man kann die Primfaktoren zu Dreiergruppen gleicher Faktoren zusammenfassen. Nimmt man nun von je einer Dreiergruppe eine Primzahl und multipliziert diese miteinander, erhält man nach (1.1.1) eine Zahl $z = a^2 + b^2$.

Da z ungerade ist, sind a und b von ungleicher Parität. Weiters findet man: $z^3 = [(a^2 - b^2)^2 + (2ab)^2](a^2 + b^2)$

Infolge (1.1.1) gibt es zwei Möglichkeiten*):

a) $\left(a(a^2 - b^2) - 2ab^2\right)^2 + \left((a^2 - b^2)b + 2a^2b\right)^2$

Daraus erhält man die Lösungen für die vorgelegte Gleichung:

$$x = \pm a(a^2 - 3b^2)\ ,\ y = \pm b(3a^2 - b^2)\ ,\ z = a^2 + b^2\ ,$$

mit a , b ungleiche Parität und rel. prim.

Durch diese drei Formeln werden alle paarweise teilerfremden Zahlen dargestellt, die die Gleichung erfüllen. Wegen dem vollständigen Beweis sei auf [1] verwiesen.

b) Die zweite Möglichkeit nach (1.1.1) ergibt:

$$\left((a^2 - b^2)b - 2a^2b\right)^2 + \left((a^2 - b^2)a + 2ab^2\right)^2$$

und daraus die Lösungen:

$$x = \pm b(a^2 + b^2)\ ,\ y = \pm a(a^2 + b^2)\ ,\ z = a^2 + b^2$$

in denen x , y und z einen gemeinsamen Teiler aufweisen.

Aus den ptL kann man weitere teilerverwandte Lösungen finden, indem man x und y mit K^3 und z mit K^2 multipliziert.

Nun zwei Spezialfälle der Gleichung (3.1).

(3.1.1) $x^3 - y^2 = 1$

Schreibt man diese Gleichung in der Form $1 + y^2 = x^3$, hat man einen Sonderfall von (3.1). Es gilt: $1 = a(a^2 - 3b^2)$

Es ist nur möglich, wenn $a = 1$ und $b = 0$ ist. Das ergibt aber die triviale Lösung: $x = 1$, $y = 0$.

Oder $1 = b(3a^2 - b^2)$. Da diese Gleichung unmöglich ist, hat die vorgelegte Gleichung keine von Null verschiedene Lösungen.

(3.1.2) $x^2 + 4 = y^3$

Mit den ptL von (3.1) findet man: $a(a^2 - 3b^2) = 2$

Das ist nur möglich für $a = 2$ und $b = 1$. Das führt zur Lösung: $x = \pm 11$, $y = 5$. Dies sind auch die einzigen teilerfremden Lösungen. Nach (3.1) hat man $b(3a^2 - b^2) = 2$, woraus sich die teilerverwandten Lösungen ergeben:

Für $a = b = 1$ folgt $x = \pm 2$, $y = 2$.

(3.2) $x^2 + 3y^2 = z^3$

Wenn x , y und z paarweise rel. prim sind, besitzt z^3 nur Primfaktoren von der Form $a^2 + 3b^2$ mit eindeutiger Darstellung und Potenzen von 4, wie aus (1.2.6) und (1.2.7) folgt.

Man kann daher gleiche Primfaktoren und die Faktoren 4 zu Dreiergruppen zusammenfassen. Entnimmt man aus jeder Dreiergruppe je eine Zahl und multipliziert diese miteinander, gewinnt man aus (1.2.1) eine Zahl $z = a^2 + 3b^2$

Durch nochmalige Anwendung von (1.2.1) findet man für z^3 die zwei Fälle*):

a) $z^3 = \left((a^2 - 3b^2)a + 3 \cdot 2ab^2\right)^2 + 3\left((a^2 - 3b^2)b - 2a^2b\right)^2$

und daraus: $x = \pm a(a^2 + 3b^2)$, $y = \pm b(a^2 + 3b^2)$, $z = a^2 + 3b^2$.

Hier haben x , y und z einen gemeinsamen Teiler.

b) Im zweiten Fall erhält man die ptL:

$$z^3 = [a(a^2 - 3b^2) - 6ab^2]^2 + 3[b(a^2 - 3b^2) + 2a^2b]^2\ ,$$

woraus folgt: $x = \pm a(a^2 - 9b^2)$, $y = \pm 3b(a^2 - b^2)$, $z = a^2 + 3b^2$

Diese Formeln umfassen für a , b ungleiche Parität und rel. prim alle ptL der gegebenen Gleichung, was in [1] vollständig bewiesen wird. Erweitert man x und y mit K^3 und z mit K^2 bekommt man teilerverwandte Lösungen.

Noch einen Spezialfall der Gleichung (3.2):

(3.2.1) $x^3 - 3y^2 = 100$

Schreibt man diese Gleichung in der Form $10^2 + 3y^2 = x^3$, erkennt man den Sonderfall.

Aus den ptL von (3.2) ergibt sich: $10 = m(m + 3n)(m - 3n)$

Diese Gleichung ist nur erfüllt für $m = 2$, $n = 1$, wodurch aus (3.2) die einzigen Lösungen folgen: $x = 7$, $y = \pm 9$

*) Daraus geht aber nicht hervor, daß es nur diese beiden Fälle gibt!

(3.3) $x^2 + 2y^2 = z^3$

Ähnlich wie bei (3.1) und (3.2) findet man hier die einzige Darstellung aller ptL:

$$x = \pm a(a^2 - 6b^2)\ ,\ y = \pm b(3a^2 - 2b^2)\ ,\ z = a^2 + 2b^2\ .$$

Wegen des vollständigen Beweises muß wieder auf [1] verwiesen werden. (Mit a ungerade und b beliebig.)

Ein weiterer Sonderfall ist die Gleichung

(3.3.1) $x^3 - y^2 = 8$

Man schreibe sie in der Gestalt $y^2 + 2 \cdot 2^2 = x^3$

Nach den ptL von (3.3) gilt dann: $2 = b(3a^2 - 2b^2)$

Für b kommt nur ± 1 oder ± 2 in Frage. Da beides nicht möglich ist, hat die vorgegebene Gleichung keine Lösung.

(3.4) $x^2 - y^2 = z^3$

Um die ptL dieser Gleichung zu finden, bringe man sie in diese Gestalt:

$$z^3 = (x + y)(x - y)\ .$$

Zwei Fälle sind nun zu unterscheiden:

a) x , y haben ungleiche Parität.

Wegen $(x, y) = 1$ ist in diesem Fall auch $(x + y, x - y) = 1$, daher kann die Gleichung nur bestehen, wenn $x + y = a^3$ und $x - y = b^3$ ist. Daraus ergibt sich die eine Art der ptL:

$$x = \pm(a^3 + b^3)/2\ ,\ y = \pm(a^3 - b^3)/2\ ,\ z = ab\ ,\ (a, b) = 1\ .$$

b) x , y sind beide ungerade.

In diesem Fall sind $x + y$ und $x - y$ gerade.

Es läßt sich nun leicht folgender Satz zeigen: Wenn die Summe nur durch 2 und keine höhere Potenz davon teilbar ist, dann ist die Differenz durch 4 teilbar. Wenn die Differenz nur einfach gerade ist, dann ist die Summe durch 4 teilbar.

Angenommen, die Summe sei durch 4 teilbar, dann gilt:

$$\left((x + y)/4\ ,\ (x - y)/2\right) = 1$$

und die Gleichung kann in dieser Form geschrieben werden:

$$(x+y)/4 \cdot (x-y)/2 = (z/2)^3$$

Das ist aber wegen der Teilerfremdheit der Faktoren nur möglich, wenn gilt:

$$(x+y)/4 = a^3 \,,\; (x-y)/2 = b^3$$

Daraus erhält man eine zweite Art von ptL:

$$x = \pm(2a^3+b^3) \,,\; y = \pm(2a^3-b^3) \,,\; z = 2ab$$

Für $(x+y)/2 = a^3$ und $(x-y)/4 = b^3$ hat man dieselbe Lösung, wobei a und b vertauscht sind. Teilerverwandte Lösungen: $x = aA$, $y = bA$, $z = A$; $A = a^2 - b^2$ wie bei (3.1).

Ein Sonderfall dieser Gleichung ist

(3.4.1) $$x^2 - y^3 = 1$$

Diese Gleichung hat die nichttrivialen Lösungen:

$$x = \pm 3 \,,\; y = 2 \,.$$

Jetzt soll gezeigt werden, daß dies ihre einzigen von Null verschiedenen Lösungen sind.

Man schreibe sie in der Gestalt: $x^2 - 1^2 = y^3$

a) x sei gerade. Dann folgt aus (3.4) a) $(u^3 - v^3)/2 = 1$ also $(u-v)(u^2+uv+v^2) = 2$. Es muß einer der Faktoren 2 und der andere 1 sein. Wie leicht zu zeigen ist, ist das jedoch unmöglich.

b) x sei ungerade. Aus (3.4) b) folgt dann: $2a^3 - b^3 = 1$. Oder $b^3 + 1^3 = 2a^3$. Diese Gleichung hat nur die Lösung $a = b = 1$ nach (3.7). Die Gleichung $b^3 - 2a^3 = 1$ hat nur die Lösung $a = b = -1$, beides führt zur trivialen Lösung: $x = \pm 1$, $y = 0$.

(3.5) $$x^3 + y^3 = z^2$$

Zunächst werden die ptL aufgesucht, wobei zwei Fälle zu unterscheiden sind.

1. x, y ungerade, z gerade.

In diesem Fall ist die Darstellung $x = m+n$, $y = m-n$ möglich, wobei m, n ungleiche Parität besitzen und rel. prim sind.

Durch Einsetzen hat man: $2m(m^2+3n^2) = z^2$

Nun sind wieder zwei Fälle denkbar.

a) m ist nicht teilbar durch 3 also $m \not\equiv 0\,(3)$.

Dann gilt: $(2m, m^2+3n^2) = 1$, daher müssen beide Faktoren Quadrate sein:

$$2m = p^2 \,,\; m^2 + n^2 = q^2$$

Aus der ersten Gleichung folgt, daß m gerade ist. Aus der zweiten Gleichung findet man die ptL nach der ersten Lösung von (2.4):

$$m = \pm(a^2-3b^2) \,,\; n = \pm 2ab \,,\; q = \pm(a^2+3b^2)$$

Hier ist n gerade, was bedeutet, daß x und y gerade sind, im Widerspruch zur Annahme.

Nach der zweiten Lösung von (2.4) hat man mit a, b ungerade:

$$m = \pm(a^2-3b^2)/2 \,,\; n = \pm ab \,,\; q = \pm(a^2+3b^2)/2$$

Da a und b ungerade sind, ist leicht zu zeigen, daß auch m und n ungerade sind. Das bedeutet, x und y sind gerade im Widerspruch zur Annahme.

b) Es gelte $m \equiv o\,(3)$

Man setze $m = 3K$, dann hat die Gleichung die Form

$$2K(n^2+3K^2) = (z/3)^2$$

Da $(2K, n^2+3K^2) = 1$ ist, folgt: $2K = p^2$, $n^2 + 3K = q^2$

Aus der ersten Gleichung ergibt sich, daß K gerade ist, daher hat man aus (2.4) für die zweite Gleichung:

$n = \pm(a^2-3b^2)$, $K = \pm 2ab$, $q = \pm(a^2+3b^2)$ mit $(a, b) = 1$.

Also ist $p^2 = 4ab$ und folglich $a = u^2$, $b = v^2$, $K = 2u^2v^2$

Weiters folgt $m = \pm 6u^2v^2$, $n = \pm(u^4 - 3v^4)$

Schließlich erhält man eine ptL der gegebenen Gleichung mit $(u, v) = 1$ und ungleicher Parität, $u \not\equiv 0\,(3)$:

$$x = 6u^2v^2 + u^4 - 3v^4 \,,\; y = 6u^2v^2 - u^4 + 3v^4 \,,\; z = \pm 6uv(u^4+3v^4)$$

x und y sind vertauschbar. (Wegen $K = 2u^2v^2$ ist $m > 0$!)

$u = 2$, $v = 1$ ergibt das Grundtripel (37, 11, 228)

$u = 1$, $v = 2$ ergibt das Grundtripel (−23, 71, 588)

2. x, y ungerade und z gerade

Man kann daher setzen: $x = (m+n)/2$, $y = (m-n)/2$ mit m, n ungerade und rel. prim.

Einsetzen ergibt: $m(m^2+3n^2) = (2z)^2$.

a) m ist kein Vielfaches von 3.

Wegen $(m, m^2+3n^2) = 1$ hat man:

$$m = p^2 \,,\; m^2 + 3n^2 = q^2 \,,\; 2z = pq$$

Da m und n ungerade sind, kommt für die mittlere Gleichung nur die zweite Art von ptL aus (2.4) in Frage:

$$m = \pm(a^2-3b^2)/2 \,,\; n = \pm ab \,,\; q = \pm(a^2+3b^2)/2 \,.$$

Hier ist a, b, m, n ungerade und q gerade.

Nun gibt es zwei Fälle zu unterscheiden: α) $p^2 = (a^2-3b^2)/2$ oder $2p^2 + 3b^2 = a^2$. β) $p^2 = (3b^2 - a^2)/2$ oder $a^2 + 2p^2 = 3b^2$.

α) ist wegen $(p, b) = 1$ nach (2.6) nicht möglich.

Nach (2.7) erhält man für β):

$$a = \pm(u^2-2v^2-4uv) \,,\; b = \pm(u^2+2v^2) \,,\; p = \pm(u^2-2v^2+2uv) \,,$$
$$(u, v) = 1$$
$$u \text{ ungerade}$$

Dadurch gewinnt man wieder eine ptL für die gegebene Gleichung:

$$x = (|a^2-3b^2| + 2ab)/4 \,,\; y = (|a^2-3b^2| - 2ab)/4 \,,$$
$$z = p(a^2+3b^2)/4 \,.$$

(Da $m = p^2$ ist folgt $m > 0$; deshalb $|a^2-3b^2|$!)

$u = 1$, $v = 1$ liefert z. B. die Lösung: $x = 8$, $y = 7$, $z = 13$.

b) m ist ein Vielfaches von 3: $m = 3K$

Durch Einsetzen findet man die Gleichung:

$$K(n^2+3K^2) = (2z/3)^2$$

Wegen $(m, n) = 1$ ist auch $(k, n) = 1$ und $n \not\equiv 0\,(3)$.

Daher gilt: $K = p^2$, $n^2 + 3K^2 = q^2$.

Da m und n ungerade sind, kommt für die zweite dieser beiden Gleichungen nur die zweite Art der ptL von (2.4) in Frage:

$$n = \pm(a^2-3b^2)/2 \,,\; K = \pm ab \,,\; q = \pm(a^2+3b^2)/2$$

mit a, b ungerade und rel. prim. Aus der mittleren Gleichung folgt: $a = u^2$, $b = v^2$, was neuerliche ptL liefert:

$$x = (6u^2v^2 + u^4 - 3v^4)/4 \,,\; y = (6u^2v^2 - u^4 + 3v^4)/4 \,,$$
$$z = 3uv(u^4+3v^4)/4 \,.$$

Für $u = v = 1$ hat man das Grundtripel: (1, 2, 3)

Aus allen ptL kann man teileverwandte Lösungen erzeugen, indem man x und y mit K^2 und z mit K^3 multipliziert.

Weiters gibt es folgende teileverwandte Lösungen:

$$x = aA \,,\; y = bA \,,\; z = A^2 \text{ mit } A = a^3 + b^3$$

Diese sind gleichzeitig auch Lösungen der Gleichung $x^3 + y^3 = z^4$, die im Gegenteil dazu keine ptL besitzt.

Weitere Lösungen findet man, indem man setzt: $x = y = 2^K$, $z = 2^l$. Dies führt durch Einsetzen auf die diophantische Gleichung $2l - 3K = 1$ mit der Lösung $l = 2 + 3n$, $K = 1 + 2n$.

(3.6) $$x^3 + y^3 = z^3$$

Das ist die Fermatsche Gleichung für $n = 3$.

Wir suchen die ptL und dürfen daher annehmen, daß eine der drei Zahlen gerade ist.

1. Es seien x und y ungerade und z gerade. Es darf daher $x = m+n$, $y = m-n$ gesetzt werden, wobei m und n ungleiche Parität aufweisen und rel. prim sind. Durch Einsetzen erhält man daher die Gleichung:

$$2m(m^2+3n^2) = z^3$$

a) Zunächst sei m kein Vielfaches von 3, dann sind 2m und $m^2 + 3n^2$ rel. prim. Daher gilt: $2m = p^3$, $m^2 + 3n^2 = q^3$.

Aus der ersten Gleichung sieht man, daß m gerade ist. Die zweite Gleichung hat nach (3.2) nur diese ptL:

$$m = \pm a(a^2-9b^2) \,,\; n = \pm 3b(a^2-b^2) \,,\; q = a^2 + 3b^2$$

mit a gerade und b ungerade und rel. prim.

Daher folgt: $2a(a+3b)(a-3b)=p^3$

Da m nach Voraussetzung nicht durch 3 teilbar ist, hat auch a nicht diesen Teiler. Wegen der ungleichen Parität von a und b hat man:

$$a+3b=r^3\,,\ a-3b=s^3\,,\ 2a=t^3\,.$$

Daraus ergibt sich $r^3+s^3=t^3$, eine Gleichung derselben Art wie die gegebene, nur mit absolut kleineren Zahlen. r, s und t sind Teiler von $|p|<|z|$, daher gilt: $|r\,s\,t|<|z|$

b) m sei ein Vielfaches von 3, also $m=3K$.

Dies führt nach Einsetzen zur Gleichung: $18K(n^2+3K^2)=z^3$

Auch hier sind die beiden Faktoren rel. prim, woraus folgt:

$$18K=p^3\,,\ n^2+3K^2=q^3\,.$$

Nach (3.2) hat man wieder:

$$n=\pm a(a^2-9b^2)\,,\ K=\pm 3b(a^2-b^2)\,,\ q=a^2+3b^2$$

Die mittlere Gleichung führt zu: $2b(a+b)(a-b)=(p/3)^3$

Wegen der Teilerfremdheit der drei Faktoren gilt:

$$2b=r^3\,,\ a-b=s^3\,,\ a+b=t^3\,.$$

Daraus erhält man $r^3+s^3=t^3$, eine Gleichung derselben Art wie die gegebene, wobei wieder $|rst|<|z|$ ist.

2. Es bleibt noch der Fall: x, y ungleiche Parität und daher z ungerade. Angenommen y sei gerade, dann schreibe man (3.6) in dieser Form: $x^3-z^3=y^3$. Ersetzt man nun $z\to -z$ und $y\to -y$, gewinnt man eine Gleichung von derselben Gestalt wie (3.6).

In allen Fällen zeigt sich, daß es zu drei von Null verschiedenen Zahlen, welche die gegebene Gleichung erfüllen, stets ein Tripel absolut kleinerer Zahlen gibt, die dieselbe Gleichung befriedigen. Dies ist ein Widerspruch. So hat Euler die Unlösbarkeit dieser Fermatschen Gleichung bewiesen. Allerdings ist sein Beweis unvollständig, da nicht stichhaltig nachgewiesen wurde, daß die Formeln (3.2) b) alle ptL der Gleichung (3.2) enthalten. [1], [2]

(3.7) $$x^3+y^3=2z^3$$

Diese Gleichung hat zunächst die spezielle Lösung: $x=y=z$.

Wenn x, y und z paarweise rel. prim sind, müssen x und y ungerade sein. Man darf daher setzen: $x=m+n$, $y=m-n$ mit m, n ungleiche Parität und rel. prim.

Durch Einsetzen gelangt man zur Gleichung: $m(m^2+3n^2)=z^3$

1. Es wird zunächst angenommen $m\equiv 0\,(3)$.

Die beiden Faktoren sind dann relativ prim und es folgt:

$$m=p^3\,,\ m^2+3n^2=q^3\,.$$

Nach (3.2) hat man wie bei der vorhergehenden Gleichung $m=\pm a(a^2-9b^2)$ und weiter $a(a+3b)(a-3b)=p^3$

a ist wie m nicht durch 3 teilbar. Daher sind die drei Faktoren rel. prim, woraus folgt: $a+3b=r^3$, $a-3b=s^3$, $a=t^3$.

Dies führt zur Beziehung $r^3+s^3=2t^3$, eine Gleichung von der Art der gegebenen mit $|r\,s\,t|<|z|$.

2. Angenommen es gelte $m\equiv 0\,(3)$.

Aus obiger Gleichung wird für $m=3K$

$$9K(n^2+3K^2)=z^3$$

Wegen der Teilerfremdheit der beiden Faktoren gilt:

$$9K=p^3\,,\ n^2+3K^2=q^3$$

Aus (3.2) ergibt sich für die zweite Gleichung

$$K=\pm 3b(a+b)(a-b)$$

und daher $$b(a+b)(a-b)=(p/3)^3$$

Wieder wegen der Teilerfremdheit der beiden Faktoren hat man:

$$a+b=r^3\,,\ a-b=s^3\,,\ b=t^3\,,$$

was wieder auf eine Gleichung $r^3+(-s)^3=2t^3$ führt, mit $|r\,s\,t|<|z|$.

Mit der Methode des unendlichen Abstieges von Euler gelangt man so zu einem Widerspruch.

Die gegebene Gleichung ist daher in $Z\setminus\{0\}$ unlösbar.

Sie ist ein Sonderfall der Gleichung $x^3+y^3=u^3+v^3$, die aber von Null verschiedene Lösungen besitzt. [2]

Auf ähnliche Weise findet man, daß die Gleichung $x^3+y^3=3z^3$ in $Z\setminus\{0\}$ ebenfalls unlösbar ist, was dem Leser überlassen sein soll. [2]

(3.8) $$x^2+xy+y^2=z^3$$

Bei ptL dieser Gleichung ist z immer ungerade.

1. Angenommen x, y seien ungerade.

Man darf daher setzen: $x=m+n$, $y=m-n$; m, n ungleiche Parität und rel. prim. Dadurch erhält man die Gleichung:

$$n^2+3m^2=z^3$$

Nach (3.2) hat man $n=\pm a(a^2-9b^2)$, $m=\pm 3b(a^2-b^2)$, $z=a^2+3b^2$ mit a, b ungleiche Parität, rel. prim und $a\not\equiv 0\,(3)$ mit den Lösungen:

$$x=\pm\left(3b(a^2-b^2)+(a^2-9b^2)\right),$$

$$y=\pm\left(3b(a^2-b^2)-a(a^2-9b^2)\right),\ z=a^2-3b^2$$

Z. B. $a=2$, $b=1$ ergibt: $(-1\,,\,19\,,\,7)$, $(1\,,\,-19\,,\,7)$.

2. x, y ungleiche Parität und rel. prim.

Man kann daher schreiben: $x=(m+n)/2$, $y=(m-n)/2$, was zur Gleichung führt: $n^2+3m^2=4z^3$

Da 4 von der Form a^2+3b^2 ist, hat auch z diese Form.

Es gilt daher $z^3=\left(a(a^2-9b^2)\right)^2+3\left(3b(a^2-b^2)\right)^2$

Nach (1.2.1) hat man

$$4z^3=(1^2+3\cdot 1^2)(u^2+3v^2)=(u\pm 3v)^2+3(u\mp v)^2$$

also ist

$$z^3=\left(a(a^2-9b^2)\pm 9b(a^2-b^2)\right)^2+3\left(a(a^2-9b^2)\mp 3b(a^2-b^2)\right)^2.$$

Daraus gewinnt man die ptL:

$$x=\pm[a(a^2-9b^2)+3b(a^2-b^2)]\,,\ y=\pm 6b(b^2-a^2)\,,$$

$$z=a^2+3b^2\,.$$

a, b ungleiche Parität und rel. prim und $a\not\equiv 0\,(3)$. $a=2$, $b=1$ ergibt: $(1\,,\,18\,,\,7)$.

Eine teilerverwandte Lösung:

$$x=aA\,,\ y=bA\,,\ z=A^3\,,\ A=a^2+ab+b^2\,.$$

(3.9) $$3x^2+3xy+y^2=z^3$$

Für die quadratische Form gilt: $ax^2+2abxy+by^2=$

$$=\left((ax+by)^2+(ac-b^2)y^2\right)/a=\left((cy+by)^2+(ac-b^2)x^2\right)/b$$

$$a\neq 0\,,\ b\neq 0\,.$$

Da im gegebenen Fall $ac-b^2>0$ ist, könnte man darauf (2.4) anwenden. Einfacher setze man $y=u-x$. Dadurch entsteht $u^2+ux+x^2=z^3$, die Gleichung (3.8)

In (3.9) kann y nicht 1 sein.

Angenommen, es gelte $3x^2+3x+1=z^3$

Addiert man links und rechts x^3, hat man $(x+1)^3=x^3+z^3$, nach (3.6) ein Widerspruch.

(3.10) $$(x+y+z)^3=27xyz$$

Diese etwas anders geartete Gleichung hat die spezielle Lösung $x=y=z$. Für die ptL muß gelten: $x=u^3$, $y=v^3$, $z=w^3$

Dadurch erhält die Gleichung die Gestalt:

$$u^3+v^3+w^3-3uvw=0$$

Die linke Seite läßt sich in Faktoren zerlegen:

$$(u+v+w)(u^2+v^2+w^2-uv-uw-vw)=0$$

Setzt man den ersten Faktor gleich Null, hat man die Grundtripel der gegebenen Gleichung:

$$\{(u^3\,,\,v^3\,,\,w^3)\,|\,u+v-w=0\ \wedge\ (u\,,\,v)=1\}$$

Das sind aber auch alle ptL, da der zweite Faktor nicht Null sein kann. Zum Beweis dafür schreibe man ihn in der Form:

$$w^2-w(u+v)+u^2+v^2-uv=0$$

und fasse dies als quadratische Gleichung für w auf.

Da wegen $u\neq v$ die Diskriminante

$$D=(u+v)^2-4(u^2+v^2-uv)=-3(u-v)^2<0$$

ist, folgt die Behauptung.

(Literaturangabe am Ende des 3. Teiles.) (Fortsetzung folgt)

PHYSIK, ASTRONOMIE

Dr. Walter Kranzer

Internationale Sommerschule für Astronomie

In **Marvejols** (200 km südlich von Vichy, nahe Naturpark der Cevennen) veranstaltet die Universität Paris VI vom 23. 8. bis 3. 9. 1982 eine Internationale Astronomieschule für **Lehrer** (Verkehrssprache Französisch).

Gegenstand der Vorlesungen: Begriff der Energie, Herkunft und Erscheinungen der Energie im Universum, Behandlung zahlreicher Nebengebiete.

Experimente mit von den Teilnehmern selbst gebastelten Geräten und mit bereits vorhandenen Amateurinstrumenten. Nächtliche Beobachtungen unter sehr guten atmosphärischen Verhältnissen.

Unterkunft in den Hotels von Marvejols. Zimmerpreis je nach Ausstattung FF 50,– bis FF 80,– pro Tag einschließlich Frühstück (ein Zimmer enthält meist ein Ehebett oder zwei Einzelbetten). Kinder werden für geringen Preis beaufsichtigt.

Tagungsgebühr: FF 150,–.

Nähere Auskünfte (Meldeschein) richten Sie, bitte, an:
L. M. CELNIKIER
Observatoire de Meudon
Place Janssen
F-92190 – Meudon

Fügen Sie, bitte, Umschlag mit Ihrer Adresse und internationalem Coupon bei.

Georg M. Gruber, Rhodes Universität, S-Afrika, 1981 Gastreferent an der Universität Innsbruck

Kreisbahnen – Abschied von der Zentrifugalkraft

Eine Kritik des gängigen Dynamikunterrichtes

Noch immer wird es für notwendig gehalten, zur Erklärung der Kreisbewegung die Zentrifugalkraft zu gebrauchen. Dabei wird die Zentrifugalkraft nur eingeführt, damit man bei Beobachtungen aus einem rotierenden Koordinatensystem das erste Axiom von Newton erfüllen kann. In einem Inertialsystem treten Zentrifugalkräfte NICHT auf! Überhaupt muß betont werden, daß die Newtonsche Mechanik zunächst nur in Inertialsystemen gültig ist.

Die Zentrifugalkraft wird aus diesem Grund auch „Scheinkraft" genannt. In dieser Diskussion gehe ich davon aus, daß man in einem **Inertialsystem** die Bewegung von Körpern durch die drei Newtonschen Axiome beschreiben kann.

Darum will ich die Newtonschen Axiome hier anführen und auch ein paar Randbemerkungen dazu machen.

Die Newtonschen Axiome

I.: Der Trägheitssatz

Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen gradlinigen Bewegung, solange er nicht durch die Einwirkung äußerer Kräfte dazu gezwungen wird, seine Bewegungsgröße zu verändern.

Anders ausgedrückt können wir sagen: Ist die Vektorsumme der anliegenden Kräfte NULL, so ändert sich die Bewegungsgröße eines Körpers nicht. Unter Bewegungsgröße verstehen wir den IMPULS ($\overline{p} = m \cdot \overline{v}$).

II.: Die dynamische Grundgleichung

Die zeitliche Änderung der Bewegungsgröße (des Impulses) eines Körpers ist gleich groß und gleichgerichtet mit der auf den Körper einwirkenden (resultierenden) Kraft.

In symbolischer Form können wir dies schreiben als $\overline{K} = m \cdot \overline{a}$, Kraft = Masse × Beschleunigung. Dies bedeutet aber auch: Existiert eine Kraft, dann findet in ihrer Richtung eine Beschleunigung statt. Durch die falsche Anwendung der Zentrifugalkraft bekommen wir, wie es in vielen Büchern leider gebracht wird, eine resultierende Kraft in einer Richtung, in der gar keine Beschleunigung stattfinden kann!

Wie wird etwa in manchen Schulbüchern das am Ende dieses Artikels im einzelnen beschriebene Problem einer Kugel in einer rotierenden Schale behandelt? Man addiert die Schwerkraft und die Zentrifugalkraft vektoriell und erhält eine senkrecht zur Schalenoberfläche nach außen gerichtete resultierende Kraft.

So eine Arbeitsweise bedeutet aber, daß wir das zweite Axiom negieren. Das muß nicht nur bei Schülern, sondern auch vielleicht bei vielen Lehrern zu einem kompletten Durcheinander führen, denn hier ist der Unterricht inkonsequent und unlogisch. Man sieht es im Lehrbuch, man versteht es nicht, aber man kann es nicht ausbessern.

Die Zentrifugalkraft darf daher in der Diskussion der Kreisbewegung NICHT gebraucht werden. Der Gebrauch in diesem Zusammenhang führt nur zu einem unlogischen Aufbau der Grundlagen des Dynamikunterrichtes.

III. Das Wechselwirkungssystem

In einem abgeschlossenen, materiellen System treten Kräfte stets paarweise als Kraft (Aktion) und Gegenkraft (Reaktion) zweier Körper aufeinander auf.

Ein abgeschlossenes System unterliegt keinen äußeren Einflüssen, also auch keinen äußeren Kräften. Jede im System festgestellte Kraft hat daher auch innerhalb des Systems ihren Ursprung.

Wir können dies auch so ausdrücken: Übt ein Körper A auf den Körper B eine Kraft $\overline{K}$ aus, so übt gleichzeitig der Körper B auf den Körper A die entgegengesetzt gerichtete Kraft $\overline{K}^* = -\overline{K}$ aus.

Diese Gegenkraft wird oft als Trägheitskraft bezeichnet, was aber irreführend ist.

Ich will nun versuchen, dem Leser zu zeigen, wie man ohne Zentrifugalkraft die Kreisbewegung erklären kann und daß dies mit den Newtonschen Axiomen vereinbar ist. Ich will aber auch erklären, wo man die Zentrifugalkraft richtig anwendet. Dies sollte aber nicht in der AHS erfolgen.

Die Kreisbahn

Bewegt sich ein Körper in einer Kreisbahn mit konstanter Geschwindigkeit, so ist seine Bewegung beschleunigt, da sich die **Richtung** der Geschwindigkeit ändert. Da sich die Größe der Geschwindigkeit nicht ändert, muß die Beschleunigung und die erzeugende Kraft im RECHTEN WINKEL zum momentanen Geschwindigkeitsvektor stehen, und zwar in der Gegenrichtung zum Radiusvektor, das heißt, genau gesagt, zum Kreismittelpunkt hin.

Ich glaube, ich brauche in diesem Stadium nicht besonders zu beweisen, daß diese Beschleunigung die Größe

$$\frac{v^2}{r} = r\omega^2 \text{ hat,}$$

wo v = Geschwindigkeit des Körpers,
r = Radius der Kreisbahn,
ω = Winkelgeschwindigkeit des Körpers bedeuten.

Da der Körper in einer Kreisbahn beschleunigt wird, wissen wir, daß auf diesen Körper eine RESULTIERENDE ÄUSSERE KRAFT wirken muß. Die Größe der Kraft können wir ja, da wir die Beschleunigung wissen, nach Newton II gleich anschreiben.

$$F = m\frac{v^2}{r} = mr\omega^2$$

Die Richtung der Kraft ist zum Kreismittelpunkt gerichtet, wie auch nicht anders zu erwarten.

Wir nennen diese externe Kraft, welche auf den Körper einwirkt, um ihn in eine Kreisbahn zu zwingen, die ZENTRIPETALKRAFT.

Es muß hier gleich deutlich gemacht werden, daß diese Zentripetalkraft keine SPEZIELLE Kraft, sondern nur eben jene Kraft ist, welche benötigt wird, um den Körper der Mas-

se m in einer Kreisbahn vom Radius r zu halten. Die Kraft selbst kann zum Beispiel eine der folgenden sein:

a) Gravitationskraft,
b) elektrische Kraft,
c) magnetische Kraft,
d) mechanische Kraft.

Da es meiner Meinung nach immer von Vorteil ist, die auf das System wirkenden Kräfte einzeln aufzuzählen und erst anschließend zu einer Resultierenden zusammenzusetzen, will ich dies an Hand eines Systems erklären.

Das System ist eine Kugel, welche an einem Faden fixiert eine Kreisbahn ausführt. Wir suchen nun die Kraft, welche die Kugel in die Kreisbahn zwingt.

Um eine Kraft korrekt anzugeben, muß ich zuerst sagen, was für eine Kraft es ist, welche Ursache sie hat, und zuletzt, auf welchen Körper diese Kraft einwirkt.

In der untenstehenden Abbildung ist eine Kugel der Masse m gezeigt, welche, durch einen Faden geführt, eine Kreisbahn vom Halbmesser r ausführt.

Wir wollen nun alle Teile des Systems kurz betrachten.

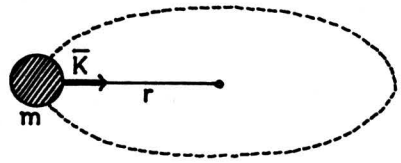


Abb. 1

a) Die Kugel

Sie wird von einem Faden gehalten und in eine Kreisbahn gezwungen. Wir können daher sagen, daß der FADEN auf die Kugel eine mechanische Kraft, die Zugkraft, ausübt.

Wenn wir annehmen dürfen, daß wir diesen Versuch im tiefen Weltall, weit von allen anderen Körpern entfernt, ausführen, so ist diese Zugkraft $\bar{K}$ die auf die Kugel einwirkende RESULTIERENDE Kraft. Diese Kraft ist gerade groß genug, um die Kugel in der Kreisbahn zu halten.

Nach Newton II können wir die Größe der Kraft aus Masse und Beschleunigung errechnen.

Nach Newton III wissen wir, daß die Kugel eine GLEICH GROSSE Kraft $\bar{K}^* = -\bar{K}$ auf den Faden ausübt.

ZU BEACHTEN: Es ist diese gleich große, nach außen wirkende Reaktionskraft $\bar{K}^*$, welche in Schulbüchern meistens als auf die Kugel wirkende Zentrifugalkraft bezeichnet wird! Dies ist FALSCH!

Die Reaktionskraft $\bar{K}^*$ wirkt NICHT auf die Kugel, sondern wird von der Kugel auf den Faden ausgeübt!

b) Der Faden

Auf ihn wirkt eine Kraft nach außen, wie wir eben festgestellt haben. Unter der Annahme, daß der Faden ein leichter Faden ist und wir seine Masse vernachlässigen können, folgt aus Newton II, daß auf ihn keine resultierende Kraft wirkt, obwohl auch er beschleunigt wird. Die Gegenkraft zur Kraft der Kugel auf den Faden muß durch den Fixpunkt erzeugt werden. Wir können die Kräfte, welche auf beiden Seiten des Fadens auftreten, als Kontaktkräfte bezeichnen.

Nach Newton III übt entsprechend der Faden eine nach außen gerichtete Kraft auf den Fixierpunkt (den Mittelpunkt des von der Kugel beschriebenen Kreises) aus.

c) Der Fixierpunkt (die Drehachse)

Auf ihn wirkt eine Kraft nach außen. Er bewegt sich jedoch nicht, das heißt, es wirkt nach Newton I keine resultierende Kraft auf ihn. Die nötige Gegenkraft wird durch das Fixierungslager auf die Achse ausgeübt. Jedoch auch dieses Lager ruht. Wir brechen die Kette der Kräfte und Gegenkräfte ab, indem wir diesem Lager eine sehr große Masse zuschreiben. Nach Newton II wird es auch dann (praktisch) nicht beschleunigt, wenn es einer genügend kleinen Kraft unterliegt.

$$\left(a = \frac{K}{m} \sim 0, \text{ da } m \sim \infty\right).$$

Wir kommen daher zu dem Schluß, daß weder auf den Faden noch auf den Fixierpunkt eine resultierende Kraft wirkt, sondern nur auf unsere Kugel, welche ja von dieser resultierenden Kraft auch beschleunigt wird. Die nach Newton III folgende Kraft auf das Fixierungslager ist für die Bewegungsvorgänge belanglos.

Die Zentrifugalkraft

Wir haben schon eingangs erwähnt, daß die Zentrifugalkraft nur eingeführt wird, um das erste Newtonsche Axiom auch in einem rotierenden System anwenden zu können. Wie dies gemacht wird, will ich nun an Hand des Beispiels der Kugel erklären:

Nehmen wir an, wir hätten einen am Fixierpunkt sitzenden mitrotierenden Beobachter. Für ihn scheint sich die Kugel nicht zu bewegen. Sie ruht ja in seinem Koordinatensystem. Er kann aber durch Messung der Zugkraft im Faden feststellen, daß auf die Kugel eine Kraft wirkt. Er muß nun die Zentrifugalkraft einführen, die der Zugkraft des Fadens entgegenwirkt, um die resultierende Kraft auf die Kugel, entsprechend Newton I, verschwinden zu lassen. Jetzt sieht unsere Kräftebilanz so aus:

a) Die Kugel:

Auf sie wirkt keine resultierende Kraft, sie ruht!

b) Der Faden:

Die resultierende Kraft ist genauso null wie vorher, da wir ja die Masse vernachlässigt haben. Aus demselben Grund treten auch keine Zentrifugalkräfte auf.

c) Das Lager:

Die Kraft der Achse auf das Lager ist natürlich nicht verschwunden. Sie kann zum Beispiel durch eine Federwaage gemessen werden. Diese Kraft wurde bei der Betrachtung im Intertialsystem durch die auf die Kugel wirkende Kraft kompensiert. Jetzt ist die Kugel aber (scheinbar) kräftefrei. Sollte also die auf das Lager wirkende Kraft die einzige übriggebliebene resultierende Kraft sein? Oder welche andere Möglichkeit gibt es noch?

Die Erklärung ist einfach (wenn man sie weiß!):

Da wir dem Lager eine sehr große Masse zugewiesen haben, kann auch dann, wenn sich das Lager praktisch nicht bewegt, eine Zentrifugalkraft (die ja masseproportional ist) auftreten, welche die Kraft der Achse auf das Lager kompensieren kann.

Dies ist die richtige Erklärung, wie wir an einem anderen Beispiel erläuten wollen.

Nehmen wir an, die Kugel R sei über den Faden nicht mit einem (fast, aber nicht ganz) starren Lager verbunden, sondern mit einem zweiten, schweren Körper S. Das System rotiere um den gemeinsamen Schwerpunkt. Für die Abstände der Kugel und des Körpers vom Schwerpunkt gilt:

$$m_R r_R = m_S r_S.$$

Im Inertialsystem finden wir nun:

Die Zentripetalkräfte sind

$$P_R = m_R \omega^2 r_R \text{ und } P_S = m_S \omega^2 r_S.$$

Die Zentripetalkräfte sind, wie oben diskutiert, bis auf ein Vorzeichen gleich.

Im rotierenden System sagen wir statt dessen:

Die Zentrifugalkraft $Z_R = m\omega^2 r_R$ macht die Kugel kräftefrei. Dann macht aber auch die bis auf ein Vorzeichen gleiche Zentrifugalkraft auf den schweren Körper $Z_S = m_S \omega^2 r_S$ diesen Körper kräftefrei.

Wir sehen also, daß man ein gleichförmig rotierendes System von Körpern sowohl in einem Inertialsystem, in dem Newtons Gesetze gelten, als auch in einem rotierenden Koordinatensystem, in dem durch Einführung einer SCHEINKRAFT Newton I formal erfüllt ist, konsequent beschreiben kann. Daß die Verhältnisse bei ungleichförmiger Rotation oder bei Bewegung gegenüber dem gleichförmig rotierenden Koordinatensystem erheblich komplizierter werden, sei nur am Rande vermerkt.

Wir sehen nun, liebert Leser, daß die Gefahr darin besteht, daß man die zu VERSCHIEDENEN Betrachtungssystemen gehörigen Begriffe vermischt und durcheinander bringt. Die Zentrifugalkraft, mit der man Kräftefreiheit in Richtung des Radiusvektors einer Kreisbahn erzwingt, hat in einer INER-

TIALEN Betrachtung, bei der die Kreisbewegung eine beschleunigte Bewegung, das heißt eine nichtkräftefreie Bewegung ist, NICHTS zu suchen! Umgekehrt haben Beschleunigungen, also auch resultierende Kräfte, in dem mitrotierenden System nichts zu suchen. Hier ruhen die betrachteten Körper.

Im folgenden Abschnitt bringe ich einige Beispiele von horizontaler Kreisbewegung unter Berücksichtigung der vertikal wirkenden Schwerkraft. Solche Beispiele findet man in Schulbüchern (oder in von Lehrern diktierten Schulheften!) häufig FALSCH dargestellt. Im Inertialsystem muß die Berücksichtigung aller wirkenden Kräfte auf eine resultierende Kraft führen, die gleich der horizontalen Zentripetalkraft ist, die für die Kreisbewegung benötigt wird. Im mitrotierenden System wird die Betrachtung nicht einfacher, denn der einzige Unterschied ist der, daß man die Zentripetalkraft durch eine gleich große entgegengesetzte Zentrifugalkraft ergänzt, die dann also zu einer (formalen) Kräftefreiheit führt. Dieser zusätzliche Schritt ist, richtig ausgeführt, nicht falsch, er bringt aber die Gefahr einer unnötigen Verwirrung mit den entsprechenden Möglichkeiten, nun doch alles durcheinanderzubringen. Um die Diskussion der einzelnen Kräfte, die den Körper auf seine Kreisbahn zwingen, kommt man keinesfalls herum. Deshalb ist die Betrachtung im Inertialsystem (also OHNE Zentrifugalkraft) die einfachste und sicherste.

Beispiele

a) Das Kettenkarussell

Die nachstehende Zeichnung zeigt eine Person, welche sich durch die Drehung des Karussells in einer Kreisbewegung befindet.

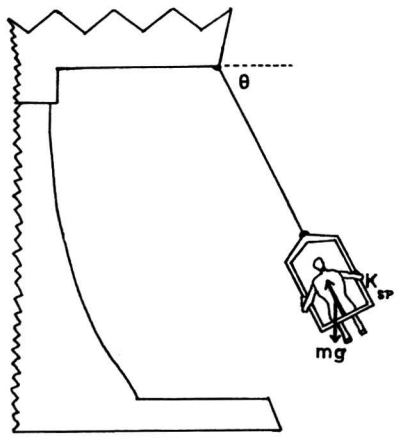


Abb. 2

Da die Kreisbahn in einer horizontalen Ebene liegt, folgern wir, daß es keine vertikale Komponente der auf die Person wirkenden resultierenden Kraft gibt. Wir schließen, daß die vertikalen Komponenten aller auf die Person wirkenden Kräfte im Gleichgewicht sind.

Wir wollen nun die Kräfte, welche auf die Person wirken, aufzählen:

i) Die Gravitationskraft, welche die Erde auf die Person ausübt, ist mg. Die Richtung der Kraft ist vertikal zum Erdmittelpunkt zu gerichtet. (Wir vernachlässigen hier Drehungseffekte der Erde!)

ii) Die Kontaktkraft K_{SP}, welche die Sitzfläche der Karussellgondel auf das Gesäß der fahrenden Person ausübt. Die Richtung der Kraft ist entlang der Haltekette gerichtet.

Wenn wir die anderen Kräfte, wie zum Beispiel den Luftwiderstand usw., vernachlässigen, haben wir die zwei einzigen bedeutsamen Kräfte aufgezählt.

Wir wissen auch, daß die resultierende Kraft sich in der Horizontalebene befinden muß, da ja nur in dieser Ebene eine Beschleunigung stattfindet.

Wir können also schreiben:

Vertikale Komponenten gleich NULL . . . . . $-mg + K_{SP} \sin \Theta = 0$ (1)

Horizontale Komponenten gleich der notwendigen Zentripetalkraft . . . . . $K_{SP} \cos \Theta = mr\omega^2$ oder $= m \frac{v^2}{r}$ (2)

Da wir die Rotationsgeschwindigkeit ω und den Winkel Θ sowie die Masse der Person m messen können, kann man die Gleichung (1) und (2) nach K_{SP} hin lösen. Man könnte natürlich auch die Kraft K_{SP} direkt messen, indem man eine Zugwaage in die Kette einbaut (hier käme auch die Masse der Gondel herein!), oder besser, man könnte die Person direkt auf eine Waage setzen und diese dann während der Fahrt ablesen. Auf solche Weise können wir unsere oben entwickelte Theorie experimentell bestätigen.

b) Der Radfahrer in einer Kurve

Der Leser könnte nun das obige Wissen anwenden, indem er versucht, die auf einen Radfahrer, der in einer Kurve fährt, ausgeübten externen Kräfte aufzuzählen. Es wäre ein großer Vorteil, diese auf einem separaten Blatt Papier als Vektordiagramm zu zeichnen! (Luftwiderstand bitte vernachlässigen!)

Ich will nun die zwei signifikanten Punkte aufzählen:

i) Die Gravitationskraft, welche die Erde auf das System (Fahrrad und Fahrer) ausübt. Richtung vertikal, wie in a).

ii) Die Kontaktkraft K_{SR}, welche die Straße auf die Reifen des Fahrrades ausübt. Diese Kontaktkraft kann in zwei Komponenten zerlegt werden. Die horizontale Komponente ist die uns bekannte Reibungskraft, die vertikale Komponente ist die Normalkraft. (Das Verhältnis von Normalkraft zu Reibungskraft gibt uns den bekannten Reibungskoeffizienten.)

Es ist hier wichtig, zwei Punkte zu beachten:

i) Nach Newton III übt der Radfahrer auf die Straße eine ebenso große Kraft K_{RS} aus, wie die Straße auf ihn ausübt ($\bar{K}_{RS} = -\bar{K}_{SR}$).

ii) Die von der Straße ausgeübte Kontaktkraft muß durch den Massenschwerpunkt gerichtet sein. Ist dies der Fall, dann bekommen wir nach Gleichung (1) und (2) die notwendige Zentripetalkraft $K_z = K_{SR} \cos \Theta$.

Ist dies nicht der Fall, wirkt auf den Radfahrer ein DREHMOMENT, das dazu führt, daß er umfällt oder „aus der Kurve" getragen wird.

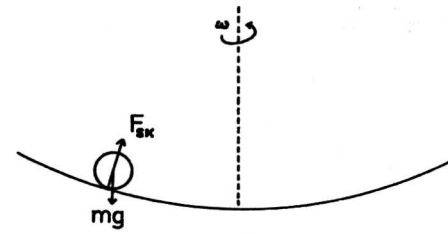


Abb. 3

c) Kugel in einer rotierenden Schale

Eine Kugel wird in eine Schale gelegt, die danach in Drehung gesetzt wird. Nach einiger Zeit dreht sich die Kugel mit der Schale mit und ist relativ zur Schale in Ruhe.

Wie in den zwei oben angeführten Beispielen wirkt auch auf die Kugel die Schwerkraft. Als zweite bedeutsame externe Kraft müssen wir die von der Schale auf die Kugel einwirkende Kontaktkraft $\bar{K}_{SK}$ aufzählen. Auch diese Kraft ist so gerichtet, daß sie durch den Schwerpunkt der Kugel geht. Wäre dem nicht so, so wäre ein Drehmoment vorhanden, welches die Kugel in Drehung versetzen würde und daher die vertikale Lage der Kugel verändern könnte.

Auch in diesem Fall bekommen wir die Gleichungen (1) und (2) und eine auf die Kugel einwirkende externe Kraft, welche die Kugel in die Kreisbahn zwingt, die aber keine Komponente in der Vertikalen hat, denn sonst würde die Kugel in der vertikalen Richtung beschleunigt werden.

d) Passagier in einem kurvenfahrenden Auto

Auch hier haben wir es mit einer Kreisbewegung zu tun. Wie Experimente zeigen, fliegt der Körper, auf den die Zentripetalkraft nicht mehr einwirkt, in der Tangentialrichtung weiter.

Auch der Passagier im Auto hat die Tendenz, sich tangential zu bewegen. Um in der Kreisbahn zu fahren, muß auf ihn eine externe Kraft wirken. Diese Kraft ist die Kontaktkraft, welche die Sitzfläche auf den Passagier ausübt. Um nun nicht aus der Kurve zu fliegen, muß der Passagier sich in die Kurve legen, so daß die Kontaktkraft, deren Richtung und Größe sich nun geändert hat (!), durch den Schwerpunkt geht.

Die Horizontalkomponente der Kontaktkraft gibt nun die notwendige Größe der Zentripetalkraft an. Ist diese Komponente (die Reibungskraft) nicht groß genug, dann rutscht der Passagier entlang des Sitzes, bis er auf die Seitenwand stößt und diese dann die notwendige Kraft auf den Passagier ausübt. (Wir nehmen an, daß die Türe geschlossen bleibt!)

Wir haben nun die Bewegung in der Kreisbahn im Detail betrachtet und gezeigt, daß man die Zentrifugalkraft NICHT benötigt. Wir haben die wirklichen externen Kräfte, welche auf das System einwirken, aufgezählt und dann eine Resultierende gebildet, die nach Newton II zu einer Beschleunigung führt, welche auch wirklich existiert, da ja bei einer Kreisbewegung eine Beschleunigung zur Mitte der Kreisbahn auftritt.

Wir haben auch gezeigt, wie man Newton III anwendet, da in einem Kontaktpunkt sowohl Körper A auf Körper B eine Kraft ausübt, als auch gleichzeitig eine Reaktionskraft ausgeübt wird. (Körper B übt eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft auf Körper A aus.)

Zum Abschluß will ich noch einmal darauf hinweisen, daß wir hier ein LOGISCHES System anwenden. Wir bestimmen die auf ein System wirkenden Kräfte und bekommen dann auch, falls diese Kräfte nicht im Gleichgewicht sind, eine resultierende externe Kraft, die nach Newton II eine Beschleunigung in Richtung der Kraft mit sich bringt.

Die falsche Anwendung der Zentrifugalkraft führt dazu, daß wir resultierende Kräfte bekommen, in deren Richtung keine Beschleunigung stattfindet. Damit widersprechen wir uns selbst, da wir ja die Bewegung des Körpers unter dem Einfluß von Kräften mit den Newtonschen Gesetzen erklären wollen, was bei Gebrauch der Zentrifugalkraft in Inertialsystemen unmöglich ist.

Ich möchte mich bei meinen Kollegen Prof. J. Pfleiderer und Dr. I. Raab herzlich für Diskussion, Kritik und Verbesserungsvorschläge bedanken.

B. Deutsch

Demonstration einer komplexen Beugungserscheinung

Um bei physikalischen Schülerübungen die Kontrollierbarkeit der Meßergebnisse zu verbessern, wurde bei Versuchen zum Thema „Beugung am Gitter" an Stelle der sonst gerne verwendeten Objekte (z. B. Folien mit Gitterkonstanten um 1,5 μm, die nur schwer direkt überprüfbar sind) ein Strichgitter mit genau bekannter Konstante verwendet: ein Objekt-Maßstab, wie er beim Mikroskopieren gelegentlich verwendet wird. Das Ergebnis des Versuches war so überraschend, daß es naheliegend war, es auch fotografisch festzuhalten und damit die quantitative Auswertung zu ermöglichen. Es konnten elf verschiedene Beugungseffekte erkannt werden, die teils nebeneinander bestehen, teils einander überlagern. Aus Gründen, die später dargelegt werden sollen, mögen von den elf Beugungserscheinungen zunächst nur neun vorgestellt und diskutiert werden. Die Ergänzung soll dann an geeigneter Stelle erfolgen.

Bei dieser Dokumentation war J. Schreiner in liebenswürdiger Weise behilflich, wofür ihm an dieser Stelle nochmals gedankt sei.

Der erwähnte Strichmaßstab besteht aus einer hochglanzpolierten Stahlplatte, in deren Oberfläche mit Hilfe eines Diamantsplitters 101 Striche mit Abständen von je 0,01 mm geritzt sind. Wie bei Maßstäben allgemein üblich, sind alle fünften und zehnten Striche durch Verlängerungen hervorgehoben. Dadurch entsteht ein Komplex von verschiedenartigen Beugungsobjekten, der zunächst vorgestellt werden soll.

Abbildung 1 zeigt eine mittels Metallmikroskop hergestellte 60fache Vergrößerung des für das Experiment verwendeten Strichmaßstabes. Auf der Abbildung sind folgende Objekte zu erkennen:

(1) Strichgitter mit der Konstanten a = 0,01 mm
Strichzahl 101

(2) Strichgitter mit der Konstanten b = 0,05 mm
Strichzahl 21

(3) Strichgitter mit der Konstanten c = 0,1 mm
Strichzahl 11

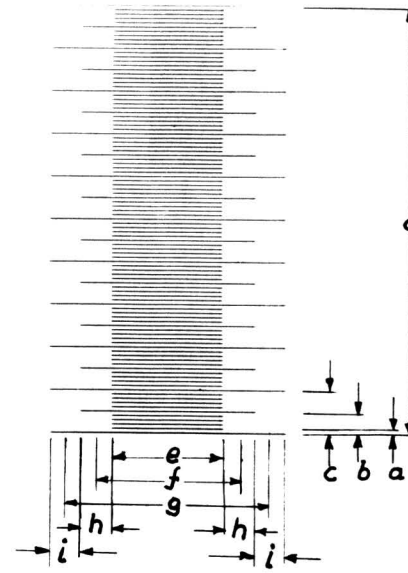


Abbildung 1

(4) Spalt mit der Breite d = 1 mm

(5) Spalt mit der Breite e = 0,26 mm
[Das als Lichtquelle verwendete LASER-Bündel hatte einen Durchmesser von etwa 3 mm, so daß bei zentrierter Justierung der Maßstab allseitig überstrahlt wurde. Das zentrale Gitter erfüllt ein beugendes Rechteck, dessen Komponenten die Spalte (4) und (5) sind.]

(6) Doppelspalt, gebildet aus der Menge der beidseitigen Überlängen der 0,05-mm-Striche; Abstand Mitte–Mitte: f = 0,34 mm

(7) Doppelspalt, gebildet aus der Menge der Überlängen, mit denen die 0,1-mm-Striche über die 0,05-mm-Striche hinausragen; Abstand Mitte–Mitte: g = 0,48 mm

(8) Spalte mit der Breite h = 0,075 mm
[Die beiden Komponenten des Doppelspaltes (6)]

(9) Spalte mit der Breite i = 0,07 mm
[Die beiden Komponenten des Doppelspaltes (7)]

Die von den Objekten (1) bis (7) stammenden Beugungseffekte bestehen nebeneinander, während sich die von (6) und (8) bzw. (7) und (9) überlagern.

Bei der Lichtquelle handelt es sich um einen kontinuierlich arbeitenden Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von 632,8 nm. Zur Erleichterung der Belichtungstechnik war der Film in einer Fotokamera eingespannt, deren Objektiv entfernt worden war, so daß sich die Beugungsinterferenzen direkt auf dem Film manifestieren konnten. Die durch die Kamera aufgezwungenen Gebietseinschränkungen mußten in Kauf genommen werden.

Bei Beugungsexperimenten mit einem Einfallswinkel gleich Null kann nur gearbeitet werden, wenn die Kollision mit dem Primärstrahl (z. B. mittels Lochung des Filmes) verhindert wird. Beim vorliegenden Experiment verlief der einfallende Laserstrahl in einer Ebene normal zu den Gitterstrichen und schloß mit dem Lot auf die Gitterebene einen Winkel von 40,5 Grad ein. Die Beugungsobjekte (1) bis (4) erschienen daher um den Kosinus dieses Winkels (= 0,760) verkürzt, während sich die Objekte (5) bis (9) mit ihren wahren Abmessungen auswirkten.

Abbildung 2 zeigt in wahrer Größe einen kleinen Ausschnitt der Erscheinung bei geringem Schirmabstand (13 cm) und so kurzer Belichtung, daß neben dem Hauptmaximum (= reguläre Reflexion des Primärstrahles) nur die vom Objekt (1) stammenden Nebenmaxima erkennbar sind. Die Beschränkung auf die ersten drei dieser Nebenmaxima ist lediglich eine Folge der bereits erwähnten Einengung durch die Kamera; bei der subjektiven Beobachtung waren rund dreißig Nebenmaxima abzählbar.

Abbildung 3 enthält nur das Gebiet zwischen den ersten beiden Nebenmaxima, die in Abbildung 2 erkennbar sind. Für diese Aufnahme wurde der Abstand Gitter–Film auf l = 34 cm vergrößert und die Belichtungszeit so erhöht, daß nun auch die von den Objekten (2) bis (9) erzielten Effekte sichtbar wurden.

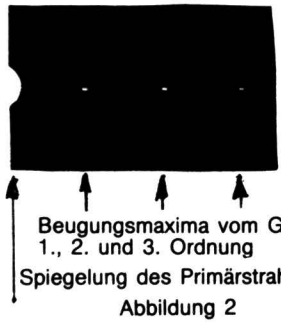


Abbildung 2

Sie waren bei mäßiger Adaptation der Augen auch direkt beobachtbar, wobei die periodische Wiederholung über mehrere (1)-Nebenmaxima hinweg den Eindruck wesentlich verstärkte.

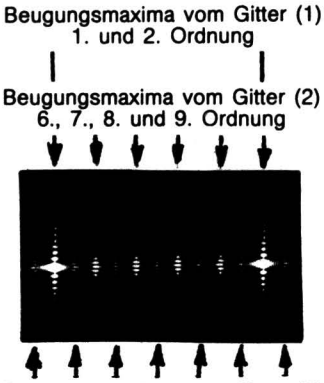


Abbildung 3

Diskussion der Beugungsinterferenzen

1. Beugung an Objekt (1)
   Effektive Gitterkonstante $a_{eff} = a \cdot \cos 40{,}5^0 = 0{,}00760$ mm
   Für das n-te Nebenmaximum gilt: $\sin\alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{a_{eff}} =$
   $= n \cdot 0{,}0833$ $(\lambda = 633 \cdot 10^{-6}$ mm)
   Daraus ergibt sich für den Abstand zwischen den beiden ersten Interferenzen auf dem Schirm bei $l = 34$ cm:
   $s_{1,2} = l \cdot (\tan\alpha_2 - \tan\alpha_1) = 340 \cdot (0{,}1690 - 0{,}0835)$ mm $=$
   $= 29$ mm
   Dieser errechnete Wert stimmt mit dem an der Aufnahme überprüfbaren überein.
2. **Beugung an Objekt (2) und**
3. **Beugung an Objekt (3)**
   Eine gesonderte Berechnung erübrigt sich, da die Unterteilung von $s_{1,2}$ in fünf gleiche Teile [herrührend von (2)] und in zehn Teile [herrührend von (3)] offenkundig ist.
   Die Intensitätsunterschiede zwischen den Interferenzen ad **(1), (2) und (3), die deutlich erkennbar sind, haben ihre Ursache in den unterschiedlichen Anzahlen der Beugungszentren begründet: 101 Striche bei (1) gegenüber 21 bei (2) und 11 bei (3). Mit den Intensitätsunterschieden ist auch zu erklären, wieso nur die ungradzahligen Nebenmaxima zu (3) erkennbar sind: Die geradzahligen fallen mit denen von (2) zusammen und werden durch deren größere Intensität verdeckt. Dieser Umstand wirkt sich allerdings nur für die zusätzliche Beugung in die Querrichtung aus, von der erst anschließend die Rede sein wird.**
   Da die Feinheiten der weiteren Beugungsmuster in der Abb. 3 – insbesondere durch die vom Druckraster stammende Vergröberung – kaum zu erkennen sind, wurde eine 2,2fache Vergrößerung der Originalaufnahme hergestellt und in Abb. 4 wiedergegeben.
4. **Beugung an Objekt (4)**
   Eine gesonderte Berechnung für die Abstände benachbarter Interferenzen ist auch hier entbehrlich: Insbesondere in der Mitte der Abbildung ist deutlich zu erkennen, daß der Abstand zweier benachbarter Nebenmaxima der Art (3) abermals zehnfach unterteilt ist. Dies entspricht der zehnfachen Abmessung des beugenden Objektes. Der

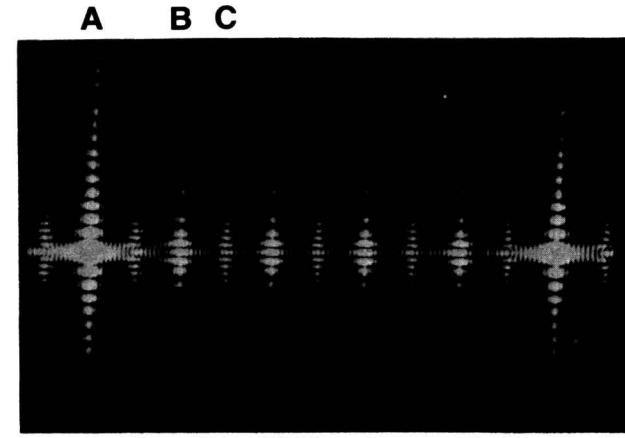


Abbildung 4

Unterschied zwischen Spalt- und Gitterbeugung ist in diesem Zusammenhang belanglos.
Die Zusammenfassung der bisher besprochenen Beugungserscheinungen repräsentiert eine reziproke Abbildung des Mikroskop-Maßstabes: In dieser Abbildung markieren benachbarte Nebenmaxima aus (1) die Enden einer Strecke, die im Sonderfall der Abb. 3 29 mm lang ist. Diese Strecke ist hundertfach unterteilt, wobei die Teilstriche von der Begrenzung des Originales stammen, die Endmarken aber eben von der Hundertstel-Teilung des Originals. Analog erfolgt eine Inversion der 0,05-mm-Striche zu einer Fünftelung der Gesamtstrecke und einer Inversion der 0,1-mm-Striche zu einer Zehntelung.

Alle Gitter-Nebenmaxima unterliegen ihrerseits Beugungen in der Querrichtung, die nun untersucht werden sollen:

5. **Beugung an Objekt (5)**
   Das in Abb. 4 mit A bezeichnete Muster kommt zustande, indem das erste Nebenmaximum aus (1) durch die Wirkung des Spaltes (5) eine Beugung in der Querrichtung erfährt.
   Die typischen Merkmale der Beugung am Einzelspalt sind unmittelbar zu erkennen: doppelte Breite des Bereiches um das Hauptmaximum, verglichen mit den Bereichen um die Nebenmaxima, die ihrerseits untereinander gleich breit erscheinen; deutlich erkennbare Abnahme der Intensität vom Hauptmaximum zu den Nebenmaxima. Die theoretischen **Werte der Intensitätsverhältnisse von (angenähert)**
   $I_0 : I_1 : I_2 : I_3 : I_4 \ldots = 1000 : 45 : 16 : 8 : 5 \ldots$
   sind an der Aufnahme zwar nicht kontrollierbar, erscheinen aber glaubwürdig.
   Die kräftigeren dieser Spaltnebenmaxima ad (5) lassen ihrerseits die Beugung an (4) erkennen, wobei die eben erwähnten typischen Merkmale wieder feststellbar sind. Für die quantitative Kontrolle der Beugung an (5) betrachten wir zunächst den Bereich um das Hauptmaximum, also die Entfernung $s_{1,1}$ zwischen den beidseitigen ersten Minima.
   Für das erste Minimum gilt (bei einer Spaltbreite e) bekanntlich $\sin\alpha = \frac{\lambda}{e}$; **bei der Kleinheit des auftretenden Winkels kann das mit $\frac{s_{1,1}}{2l}$ gleichgesetzt werden; also ist**
   $$s_{1,1} = \frac{2 \cdot l \cdot \lambda}{e} = \frac{2 \cdot 340 \cdot 633 \cdot 10^{-6}}{26 \cdot 10^{-2}} \text{ mm} = 1{,}66 \text{ mm}$$
   Die 2,2fache Vergrößerung (3,7 mm) läßt sich in Abb. 4 gut überprüfen.
   Ebenso gelingt die Kontrolle am Abstand zweier Nebenmaxima: Für die Richtung zum n-ten Nebenmaximum gilt
   $$\sin\alpha_n = \frac{(2n + 1) \cdot \lambda}{2e}$$
   Der Abstand der beidseitigen siebenten Nebenmaxima $t_{7,7}$ ergibt sich daraus mit
   $$t_{7,7} = \frac{15\, l \cdot \lambda}{e} = \frac{15 \cdot 340 \cdot 633 \cdot 10^{-6}}{26 \cdot 10^{-2}} \text{ mm} = 12{,}4 \text{ mm}$$
   Dieser Wert kann auch in Abb. 3 mit seiner wahren Größe festgestellt werden.
6. **Beugung an Objekt (6)**
   Das Gitter (2) bildet den Doppelspalt (6), so daß die Gitter-Nebenmaxima ihrerseits am Doppelspalt gebeugt wer-

den. Das entstehende Muster ist in Abb. 4 mit B gekennzeichnet.
Wir stellen zunächst die typischen Merkmale der Doppelspalt-Beugung fest: Die Bereiche um das Hauptmaximum und um die Nebenmaxima sind gleich breit, und die beiden ersten Nebenmaxima sind ebenso intensiv wie das Hauptmaximum.

(Der Intensitätsabfall ab dem zweiten Nebenmaximum ist eine Folge der relativ breiten Komponenten des Doppelspaltes, also des Beugungsobjektes (8), dessen Wirkung sich der Doppelspalt-Beugung überlagert. Alle Maxima würden gleich kräftig ausfallen, wenn die Eigenbreiten der den Doppelspalt bildenden Komponenten vernachlässigbar wäre, d. h. wenn sie klein im Vergleich zur Wellenlänge wären. Die hier nur angedeutete Überlagerung wird unter 8. besprochen.)

Die zusätzliche Beugung an (4) ist auch hier wieder zu beobachten.

Quantitative Kontrolle:

Für das n-te Minimum gilt bei einem Doppelspalt-Abstand f

$\sin\alpha_n = \frac{(2n-1)\cdot\lambda}{2f}$; daraus folgt für den Abstand $s_{2,2}$ der beiden zweiten Minima voneinander

$$s_{2,2} = \frac{3\,l\cdot\lambda}{f} = \frac{3\cdot 340\cdot 633\cdot 10^{-6}}{34\cdot 10^{-2}}\,\text{mm} = 1{,}9\,\text{mm}$$

7. Beugung an Objekt (7)

Alles unter 6. Gesagte kann sinngemäß übernommen werden. Infolge des größeren Abstandes beim Doppelspalt (g = 0,48 mm gegenüber f = 0,34 mm) fallen die Abstände im Beugungsmuster C der Abb. 4 um den Faktor von rund 0,7 (entsprechend $\frac{34}{48}$) verkleinert aus.

8. Beugung an Objekt (8)

An dieser Stelle muß nachgetragen werden, was einleitend zwar schon angedeutet wurde, aber zunächst nicht ausdrücklich vorgestellt worden ist. Der nicht leicht überschaubare Sachverhalt sollte so anfangs etwas vereinfacht werden.

Das Gitter (2) ist uneinheitlich aufgebaut: Zu seiner Entstehung tragen sowohl die 0,05-mm-Verlängerungen bei als auch die (größeren) 0,1-mm-Verlängerungen. Die Gitterbeugung (2) wird also nicht von einem, sondern von zwei Doppelspalten bewerkstelligt, bei denen sich außerdem die Spaltbreite als verschieden groß erweisen. Innerhalb der Gitterbeugung ad (2) überlagern sich also nicht zwei, sondern vier zusätzliche Effekte.

Hinsichtlich der Doppelspaltbeugung dominiert zwar die unter 6. besprochene Erscheinung, doch ist es nicht möglich, an der vorliegenden Aufnahme die zu erwartende Intensitätsverteilung bei dieser Vierfachüberlagerung korrekt zu überprüfen. Dies gelingt aber um so besser beim einfacheren Fall der

9. Beugung an Objekt (9)

Der Beugung durch den Doppelspalt (7) überlagert sich die Beugung an den im Vergleich zur Lichtwellenlänge breiten Spalten (9). Bei der Spaltbreite i = 0,07 mm ergibt sich der Abstand der beiden ersten Minima (unter Anwendung der bei 5. zitierten Formel) mit 6,15 mm. Die Intensitätsverteilung der reinen Spaltbeugung läßt sich durch eine Kurve darstellen, und diese Kurve bildet die Einhüllende für das Diagramm der Intensitätsverteilung bei der Doppelspalt-Beugung.

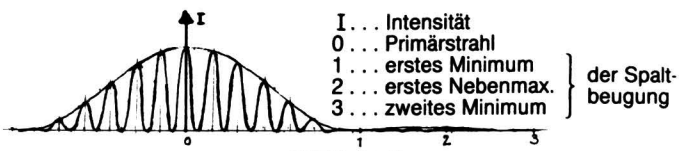


Abbildung 5

Der Abstand zweier benachbarter Minima ad (7) beträgt 0,45 mm, also sind in einem 6,15 mm breiten Bereich 13 Intensitätsmaxima unterzubringen. In der Aufnahme sind von diesen 13 Maxima neun deutlich und weitere zwei schwach zu erkennen. Aus der Abb. 5 wird deutlich, daß dies genau so zu erwarten ist. Auch wird daraus klar, warum sich jene Doppelspaltmaxima, die in die Bereiche der Einzelspalt-Nebenmaxima fallen, der Beobachtung in der vorliegenden Aufnahme entziehen.

Leserbriefe

1) Zum Artikel **„Ein einfaches Modell zur adiabatischen Kompression"** in Nr. 55, S. 29, der Wissenschaftlichen Nachrichten:

Mit Interesse habe ich Ihre Ausführungen über ein Modell der adiabatischen Kompression in den „Wissenschaftlichen Nachrichten" vom Jänner 1981 (Nr. 55) gelesen und mir überlegt, wie man Ihre Ergebnisse zu einer Herleitung der Adiabatengleichung verwenden könnte.

Sie erhalten für die Zeit t_n, die vom Start des Teilchens bis zum n-ten Zusammenstoß mit dem Kolben vergeht, den Ausdruck

$$t_n = \frac{(2n-1)\cdot a}{v_1 + (2n-1)\cdot w}.$$

Dabei bedeuten v_1 die Geschwindigkeit des Teilchens vor dem ersten Stoß auf den Kolben, w die Kolbengeschwindigkeit und a den Abstand des Kolbens vom Boden des Zylinders.

Man kann nun die Zeit $t_n = \tau$ als gegeben ansehen (τ bedeutet dann die Kompressionsdauer) und daraus die Anzahl n der Stöße des Teilchens gegen den Kolben berechnen. Man erhält

$$n = \frac{a + \tau(v_1 - w)}{2\cdot(a - \tau\cdot w)}$$

Nach diesen n Stößen gegen den Kolben hat das Teilchen die Geschwindigkeit

$$v_2 = v_1 + 2\cdot n\cdot w$$

$$v_2 = w + v_1\cdot\frac{a}{a - \tau\cdot w}$$

erlangt.

Ist A die Querschnittsfläche des Zylinders, so bedeutet $a\cdot A = V_1$ das Volumen am Ende des Kompressionsvorganges. Daher ist

$$\frac{a}{a-\tau\cdot w} = \frac{a\cdot A}{(a-\tau\cdot w)\cdot A} = \frac{V_1}{V_2}$$

und

$$v_2 = w + v_1\cdot\frac{V_1}{V_2}$$

Da die Temperaturveränderung bei ideal adiabatischer Kompression nur vom Volumsverhältnis aber weder von der Kompressionsdauer noch von der Kolbengeschwindigkeit abhängt, kann man w als sehr klein gegen v_1 annehmen und vernachlässigen, so daß die Teilchengeschwindigkeit am Ende des Kompressionsvorganges gegeben ist durch

$$v_2 = v_1\cdot\frac{V_1}{V_2}$$

Nun wird vereinfachend angenommen, daß sich N Moleküle im Zylinder befinden, von denen sich

$\frac{N}{3}$ in Richtung der Zylinderachse bewegen, also senkrecht auf die Kolbenfläche treffen und die anderen

$\frac{2\cdot N}{3}$ sich senkrecht zur Zylinderachse bewegen, so daß sie während der Kompression keine Zusammenstöße mit dem vorrückenden Kolben haben, wenn man vom „Aberrationseffekt" absieht.

Nach dieser Annahme wird durch die Kompression nur die kinetische Energie der drei Translationsfreiheitsgrade von N/3 Molekülen um den Faktor

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$$

erhöht.

Es sei nun f die Anzahl der Freiheitsgrade der im Volumen befindlichen Moleküle (f = 3 für einatomige, f = 5 für zweiatomige und f = 6 für dreiatomige Gase).

Nach dem Gleichverteilungssatz wird der Energiezuwachs der $\frac{N}{3}$ Moleküle auf alle f Freiheitsgrade aller n Moleküle im Zylinder gleichmäßig aufgeteilt.

Bezeichnet man mit W_1 die mittlere kinetische Energie pro Molekül und Freiheitsgrad vor der Kompression und mit W_2 diese Größe nach Beendigung des Kompressionsvorganges, so gilt die Beziehung

$$W_2 = \frac{\frac{2 \cdot N \cdot f \cdot W_1}{3} + \frac{N}{3}\left[(f-3)\cdot W_1 + 3 \cdot W_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2\right]}{N \cdot f} =$$

$$= W_1 \cdot \left\{1 + \frac{1}{f}\left[\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1\right]\right\} .$$

Der zweite Faktor kann als Beginn der Reihenentwicklung von

$$\left[1 + \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1\right]^{\frac{1}{f}}$$

aufgefaßt werden, so daß für Volumsverhältnisse, die sich nicht zu sehr von 1 unterscheiden, gilt:

$$\frac{W_2}{W_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{2}{f}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{f+2}{f} - 1}$$

Nun ist

$$\frac{f+2}{f} = \frac{c_p}{c_v}$$

und die kinetischen Energien pro Freiheitsgrad und Molekül verhalten sich wie die absoluten Temperaturen, so daß gilt

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{c_p}{c_v} - 1}$$

und dies ist die Gleichung für die adiabatische Zustandsänderung eines Gases.

Dr. Herbert Hametner
Bundesgymnasium für
Berufstätige
Linz, Spittelwiese 14

2) Zum Artikel **„Anwendungen der Integralrechnung"** in Heft Nr. 57 – Sept. 1981:

In Beispiel 3 dieser Arbeit wird eine sehr schöne Anwendung der Integralrechnung auf ein physikalisches Problem, nämlich die Bestimmung der Druckkraft von Flüssigkeiten auf vertikale Begrenzungswände besprochen. Ergänzend sei dazu bemerkt, daß die Berechnung der Druckkraft auf die Bestimmung einer Koordinate des Flächenschwerpunktes der Wand hinausläuft. Ein Vergleich der Terme für die Druckkraft

$$F = \int_0^h \varrho\, gxy\, dx$$

und für die Schwerpunktsabszisse

$$x_s = (1/A) \cdot \int_0^h xy\, dx$$

ergibt die sehr anschauliche Beziehung

$$F = \varrho\, g x_s \cdot A ,$$

also Druckkraft = Druck am Ort des Schwerpunkts X Wandfläche.

x_s bedeutet den Abstand des Flächenschwerpunkts von der Oberfläche der Flüssigkeit.

Mit dieser Einsicht läßt sich das Beispiel 3a ohne (bzw. mit nur einer) Integration lösen. In Figur 3 sei A_1 die Fläche der betrachteten Wand und A_2 die Fläche der beiden Viertelkreise. Die Schwerpunktskoordinate der Gesamtfläche ist das gewogene Mittel aus jenen für die Teilflächen.

$$\frac{r}{2} = \frac{1}{A_1 + A_2}\left(x_s \cdot A_1 + \left(r - \frac{4r}{3\pi}\right) A_2\right) = \frac{1}{2ar}\left(x_s \cdot A_1 + \frac{r^3\pi}{2} - \frac{2r^3}{3}\right),$$

$$x_s A_1 = ar^2 + \frac{r^3\pi}{2} - \frac{2r^3}{3} .$$

Der Term für die Druckkraft

$$F = \varrho\, g\, x_s \cdot A_1 = \varrho\, g\, r^2 \left(a + r\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2}{3}\right)\right)$$

stimmt mit F_1 überein.

Besonders einfach wird das Zylinderspiel:

voller Zylinder $\quad Fv = \varrho\, g\, r \cdot r^2\pi = \varrho\, g\, r^3\pi$,

halbvoller Zylinder $\quad F_H = \varrho\, g \frac{4r}{3\pi} \cdot \frac{r^2\pi}{2} = \frac{2}{3}\varrho\, g\, r^3$,

Verhältnis der Druckkräfte $H_H / Fv = 2/3\pi \approx 0{,}21 < 0{,}5$.

Für beide Aufgaben ist nur die Berechnung des Schwerpunktes des Viertelkreises durch Integration nötig. In vielen Fällen wird dies wohl schon vor Betrachtung dieser Beispiele durchgeführt worden sein.

Kurt Wagner
1. BG. Klagenfurt

Karl Hagenbuchner,
Bundesrealgymnasium Traun

Ein selbstgebautes, digital anzeigendes Polarimeter

Praktisch allen für schulische Zwecke gedachten Polarimetern haften drei wesentliche Nachteile an: die Drehwinkelablesung kann gleichzeitig kaum mehreren Personen zugänglich gemacht werden, die Messungen erfordern, da kleine und kleinste Winkel schlecht reproduzierbar einstellbar sind, relativ große Substanzmengen optisch aktiver Stoffe, was, sieht man von den Ausnahmen Glucose und Fructose ab, bei optisch reinen Stoffen (zum Beispiel Aminosäuren, Weinsäure, Apfelsäure . . .) hohen finanziellen Aufwand bedeutet, und nicht zuletzt haftet jeder Messung ein subjektiver Fehler aus der Entscheidung „es herrscht gleiche Helligkeit" an.

Alle geschilderten Schwachstellen können gleichzeitig beseitigt werden, wenn ein elektronisches Konzept herangezogen wird, das nachfolgend beschrieben wird.

Meßtechnische Grundlagen

Für die Umwandlung der optischen Drehung in eine elektrische Größe wird der Faraday-Effekt herangezogen. Im optischen Teil des Gerätes wird vollständig das von R. Schwankner entwickelte und im Buch „Laseranwendungen in der Experimentalchemie" beschriebene Faraday-Polarimeter herangezogen, neu dabei ist eine Steuer- und Auswertschaltung, die die im Gerät nach Schwankner noch notwendige manuelle Regulierung des Erregerstromes für den Faraday-Modulator bis zur Drehwinkelkompensation übernimmt und nach einmaliger Eichung die Drehwinkel in Winkelgraden ohne Eichkurve zur Anzeige bringt. Automatische Abschaltung nach erfolgter Messung, automatische Drehsinnumkehr und Overflow-Anzeige sind zusätzliche Funktionen, die durch die Verwendung einiger spezieller ICs und einer Handvoll üblicher COSMOS- und bipolarer Bauteile erzielt werden.

Schaltungsbeschreibung

Das lichtempfindliche Element, LDR oder Fototransistor (Typ relativ gleichgültig, es funktionieren auch die für die optische Bank ohnehin erhältlichen Typen der Lehrmittelfirmen), wird entsprechend dem Aufbau nach Schwankner oder der Gerätekarte (zum Beispiel Nr. 560 48 vom LEYBOLD-Programm) im Strahlengang justiert. Der Fotostrom steuert einen V/f-Konverter AD 537, dessen maximale Frequenz durch das RC-Glied R_1, C_1 festgelegt wird. Eine Frequenz von rund 1 kHz ist ausreichend hoch, um die Messung innerhalb von 0,25 Sekunden zu beenden und hinreichend niedrig für die anzusteuernden Leistungstransistoren. Der AD 537 triggert ein Monoflop CD 4047, dessen Zeitglied R_2, C_2 so zu dimensionieren ist, daß es bei Dunkelheit am Fotosensor (entspricht erfolgter Rückkompensation der Drehung) sicher eine negative Schaltflanke erzeugt (siehe auch Inbetriebnahme und Eichung). Diese Schaltflanke tritt dann auf, wenn der AD 537 erfolgte Kompensation mittels seiner Minimal- (= Dunkel-)frequenz signalisiert, sie erzeugt durch das JP-Flipflop 4027 ein L-Signal am NAND-Gatter 4023 und sperrt den weiteren Impulsfluß vom AD 537 zum Zähler CD 4020. Über den K-Eingang bleibt die Sperre bis zur Betätigung der Reset-Taste erhalten, gleichzeitig entsteht der Schaltimpuls über ein zweites NAND zur Abschaltung des Magnetstroms. Das bedeutet, daß der Magnet nur für wenige Millisekunden eingeschaltet ist, seine Eigenerwärmung (Grenzstrom 5 A!) trotz hohen Stromdurchganges vernachlässigbar bleibt und somit auch seine magnetischen Daten stabil bleiben. Es bedeutet ferner, daß die Leistungstransistoren im Strompfad zwar keinen hohen Kühlungsaufwand benötigen, aber dafür gut gegen die auftretenden Induktionsspitzen geschützt werden müssen. Der Binärzähler CD 4020 wird nur in 8 Bit ausgenützt, der jeweilig während der Messung erreichte Zählerstand wird vom Digital-Analog-Wandler AD 7523 im Verein mit der Referenzspannungsquelle AD 581 und einem OP 741 in eine treppenförmige Spannung umgesetzt. Wesentlich in diesem sonst unkritischen Schaltungsteil ist die Schottky-Diode über den Eingängen des 741 (zum Beispiel HP 5082-2811), die zum Schutz des AD 7523 unerläßlich ist, da bei bestimmten, kritischen Zählerübergängen aus den Eingängen des 741 Strom in den AD 7523 zurückfließen könnte.

Der Zustand von Q_8 des Zählers wird einem weiteren 4027 zugeführt, diese Stufe entscheidet über einen eventuellen negativen Drehsinn oder einen mit der verfügbaren Stromstärke nicht kompensierbaren Drehwinkel (Overflow).

Der Zählerausgang Q_8 wechselt nach dem 255. Impuls nach L, dieser Zustand wird aber nur dann erreicht, wenn entweder die Stromflußrichtung durch den Magneten nicht stimmt oder der Winkel zu groß ist, da im Kompensationsfall der früher besprochene 4027 die Anlage bereits stillgelegt hätte.

So liefert die erste Stufe des zweiten 4027 das Schaltsignal für die Polwendeschaltung am Magneten, es wird ein zweiter Durchgang für entgegengesetzten Drehsinn initialisiert. Erfolgt auch hier keine Kompensation, triggert die erneut auftretende Schaltflanke von Q_8 die erneute Polumkehr, schaltet aber durch das zweite Flipflop über das NAND-Gatter den Magneten aus und meldet über einen von Punkt E anzusteuernden, eine entsprechende LED treibenden Transistor „Overflow". Das Minus-Segment der digitalen Anzeige kann von Punkt D her angesteuert werden.

Die vom 7523/741 stammende Treppenschaltung wird zweifach weiterverarbeitet. Sie steuert über eine Darlingtonkombination T_1, T_2 den Spulenstrom (Schaltpunkt A), wird aber auch über einen als Spannungsfolger eingesetzten 741 dem Eingang eines beliebigen Digitalvoltmeters zugeführt, das die Winkelanzeige zu übernehmen hat. Über Schaltpunkt C kann die Treppenspannung von der Ansteuerung über einen Analogschalter CD 4016 abgetrennt und die Ansteuerung blockiert werden, dies ist die schon mehrmals angesprochene automatische Spulenabschaltung durch eines der NANDs. T_4 bis T_9 stellen einen elektronischen Polwender dar, wobei der Magnet in einer Transistorbrücke liegt, in der jeweils nur diagonal liegende Transistoren durchgeschaltet sind. T_4, T_6, T_8 sowie T_5, T_7 und T_9 sind jeweils zusammengehörig und bilden eine Darlingtonkonfiguration. Die auffällige Häufung von Dioden hat ihren Sinn im Abbau der Induktionsspitzen beim Abschalten des Magneten. Im Maximalfall werden einige Dutzend Watt von im Magneten gespeicherter Energie über diese Dioden ohne Schaden für die Schalttransistoren abgebaut. Der Typ 1 N 4007 besitzt sowohl die nötige Spannungsfestigkeit sowie Stromstoßbelastbarkeit.

Inbetriebnahme und Eichung

Nach gründlicher Schaltungskontrolle wird ohne Magneterregerspannung bei unbelichtetem Fotosensor die minimale Frequenz des AD 537 ermittelt und mit R_2 die Zeitkonstante des Monoflops so eingestellt, daß dieses sicher bei Absinken der Arbeitsfrequenz auf die Dunkelfrequenz abfällt. Die diesbezüglichen Funktionen sind für den AD 537 f (Hz) = Foto strom (mA)/10 · C_1(Farad), wobei R_1 den Fotostrom bestimmt, und t (sec) = 2,48 · R_2 (Ohm) · C_2 (Farad) als Zeitkonstante des 4047. Die genaue Justierung ist unkritisch, wesentlich ist nur, daß der 4047 seine Schaltflanke bei einem definierten Belichtungsgrad liefert. Je besser man dies aber der Minimalfrequenz des AD 537 annähert, desto kleinere Drehwinkel können noch erfaßt werden. Bei rund 5°-Kompensationsvermögen wären zwar Winkel um eine Bogenminute theoretisch möglich, praktisch konnten 4' nicht unterschritten werden.

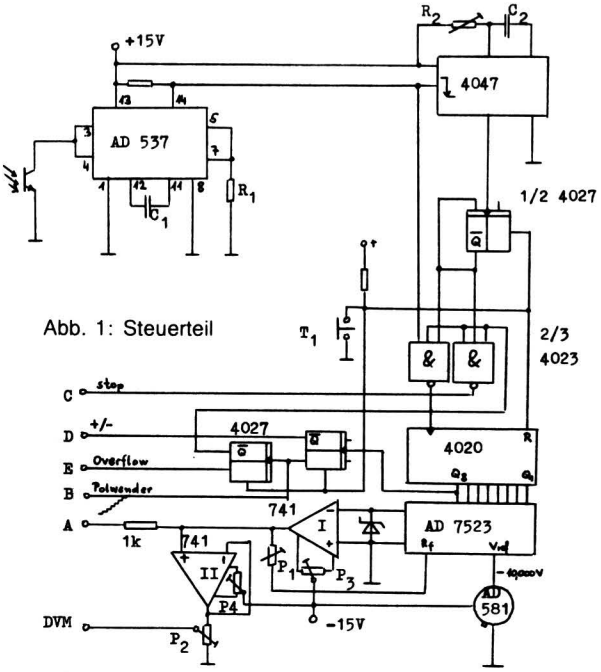


Abb. 1: Steuerteil

Bei festgehaltener Reset-Taste – damit alle Ausgänge des 4020 auf L-Niveau bleiben, wird das Offsetpotentiometer des 741 (I) P_3 auf die Ausgangsspannung 0 Volt eingeregelt, der gleiche Vorgang erfolgt mit P_4 am 741 (II).

Wenn sichergestellt ist, daß der Hochstromteil ordnungsgemäß verdrahtet ist (Isolation kontrollieren, falls alle Schalttransistoren auf gleichem Kühlblech!), wird eine Probe bekannten Drehwinkels am oberen Ende des zu erwartenden Meßbereiches – er hängt von der Belastbarkeit des zur Verfügung stehenden, gut geregelten Netzteils ab, üblicherweise um die 5 A durch die für diese Zwecke optimalen Spannungsregler-ICs 78H15 oder 78HG, eingesetzt und mit der Reset-Taste ein Meßzyklus gestartet. Mit P_1 sollte eine Stellung gefunden werden, bei der sich die Anlage ohne Overflowanzeige abschaltet. Dann steht am DVM-Ausgang eine winkelproportionale Spannung an, die mit P_2 so eingestellt wird, daß man am DVM den Winkel mit zwei Dezimalstellen ablesen kann. Gerät man immer in den Overflowbereich, muß für den vorhandenen Magneten der obere Meßbereich niedriger angesetzt werden, die Eichprobe also verdünnt werden.

Eine Umrechnung des Drehwinkels für Laserlicht auf Na_D-Drehung entfällt, da der konstante Umrechnungsfaktor in die Einstellung von P_2 einbezogen wird, wenn die Anzeige auf Na_D-Winkel trotz Laserverwendung justiert wird.

Damit für die Eichung keine Probleme für negative Drehwinkel entstehen, müssen die Transistorpaare in der Polwendebrücke ausgesucht werden, damit bei gleichem Ansteuerstrom auch wirklich in beide Richtungen gleicher Magnetstrom erreichbar ist.

Der Schaltung fehlt in voller Absicht die Bauteildimensionierung, da diese weitgehend dem Inhalt der Bastelkiste angepaßt werden kann. Verwendet man im Hochstromteil den Universaltyp 2 N 3055 als T_1, T_4 und T_6 und 2 N 2955 als T_5

und T_7, die für eine Dauerbelastung von 15 A verwendbar sind, ist ausreichend Reserve vorhanden, bei einer Spannungsfestigkeit von 60 V dürfte die Erregerspannung maximal auf ± 90 V ansteigen, da diese über drei serielle Transistoren und die Spule abfällt. Nach Möglichkeit ist aber einer Spule geringeren Widerstandes der Vorzug zu geben, um den Maximalstrom schon mit ± 30 V zu erreichen, da die großen Siebkapazitäten sonst unerschwinglich werden. Unbedingt notwendig ist es, daß Logikteil und Hochstromteil nur einen gemeinsamen Massepunkt in der Stromversorgung besitzen, Masseschleifen destabilisieren das gesamte System, jedes Abschalten des Magneten triggert dann einen neuen Meßzyklus. Für die Hochstromversorgung eignen sich die Kupfergeflechtbänder aus der Autoelektrik hervorragend, trotzdem ist aber auf kurze Leitungsführung zu achten.

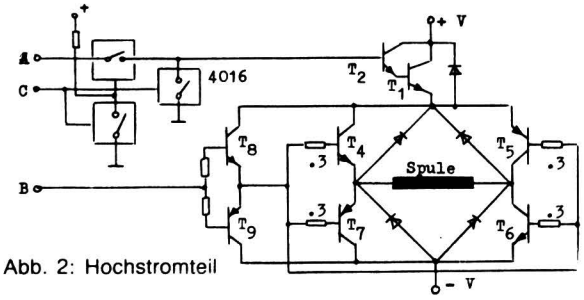


Abb. 2: Hochstromteil

Diskussion des Meßverfahrens

Auf welche Weise beseitigt das beschriebene Gerät die anfangs geschilderten Nachteile? Durch eine entsprechend große digitale Anzeige (zum Beispiel CQY 80) kann eine große Beobachtergruppe gleichzeitig den Meßwert verfolgen. Da die Elektronik immer bei gleicher Kompensation abschaltet, gibt es keinen subjektiven Ablesefehler. Die Schwäche des Faradaymodulators, große Drehwinkel nicht mehr ausgleichen zu können, wird für das Schulbudget zur Stärke, als kleine und kleinste Substanzmengen eingesetzt werden können. Obwohl der Aufwand hoch ist, glauben wir, den Nachbau empfehlen zu können.

Literaturverzeichnis:

AD 537, Application Note, Analog Device 1977.
Data Acquisition Products Catalog, Analog Device 1978.
CMOS Data Book, Fairchild 1977.
LEYBOLD-Gerätekarte Nr. 56048, Köln 1973.
R. Schwankner, Laseranwendungen, München 1978.
H. Sheingold, Transducer Interfacing Handbook, Nrowood 1980.
Voltage Regulator Handbook, Fairchild 1978.

Bezugsquellen:

Schottky-Diode HP 5082-2811 bei Transistor G. m. b. H., Auhofstraße 41 a, 1130 Wien.
AD 537, AD 7523, AD 581 bei Fa. Walter Rekirsch, Liechtensteinstraße 97/6, 1090 Wien.
Sonstige Bauteile im Hobbyfachhandel.

Transuran Z=107 nachgewiesen

Um neuentdeckte Transurane ist es seit einer Reihe von Jahren merklich still geworden. Zwar konnten neue Isotope schon bekannter Transurane erzeugt werden, aber die Fortschritte in Richtung zu größeren Kernladungszahlen als Z=106 blieben aus. Der letzte diesbezügliche Bericht in den Wiss. Nachr. erschien in der Nr. 39 vom September 1975, S. 38, er betraf das Element Z=106.

Zwar meldete eine sowjetische Forschergruppe im Jahre 1976, das Nuklid Z=107 produziert zu haben, aber solange nicht auch andere Gruppen in gleicher Weise erfolgreich waren, blieb die Frage nach der Richtigkeit des gemeldeten Resultates offen. Zudem gab es Einwände gegen die Zuverlässigkeit des Identifizierungsverfahrens, bei dem die im Versuch auftretende spontane Spaltung dem Kern Z=107 zugeschrieben wurde.

Nun ist aber das fragliche Element Z=107 vor kurzem im Schwerionenbeschleuniger der GSI (Ges. f. Schwerionenforschung) in Darmstadt mit Sicherheit erzeugt und nachgewiesen worden. Eine GSI-Gruppe unter der Leitung von P. Armbruster und G. Münzenberg beschoß ein 0,8 mg/cm^2-^{209}Bi-Target mit $1{,}6 \cdot 10^{17}$-^{54}Cr-Ionen von 262 MeV Energie, in der Erwartung, daß die Reaktion auch Kerne des Elementes ^{262}107 hervorbringen könnte. Wegen der größeren Masse sind die allfällig fusionierten 107-Kerne langsamer als die einfallenden Cr-Ionen. Mit Hilfe des Geschwindigkeitsfilters SHIP (Separator for Heavy Ion-Reactions) war es möglich, die erwarteten Compoundkerne mit dem Trennfaktor 10^{11} (!) von den Projektilkernen zu separieren und mittels einer geeigneten Anordnung von Oberflächen-Sperrschicht-Detektoren aus Si zu implantieren. Obwohl die Strahlintensität 10^{12} Cr-Ionen pro Sekunde betrug, erfolgte die Abtrennung der 107-Kerne binnen einer Mikrosekunde mit 30 % Wirkungsgrad.

Die implantierten Kerne erkannte man an ihrer α-Zerfallskette. Die vom Element Nr. 107 emittierten α-Kerne hatten die Energie 10,38 ± 0,03 MeV. An ihnen wurde klar, daß die Reaktionen

$$^{54}\mathrm{Cr} + {}^{209}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{262}107,$$

$$^{262}107 \rightarrow {}^{258}105 + \alpha$$

stattgefunden haben. Aber es wurden auch die weiteren Daten in der Zerfallszone geprüft und die dabei auftretenden 17 (!) Parameter als mit den erwarteten Werten in lückenloser Übereinstimmung befindlich gefunden. Es zerfallen weiter:

$^{285}_{105}$ im Mittel nach 3,6 s in $^{254}_{103}$Lr + α von 9,176 keV,
$^{254}_{103}$Lr im Mittel nach 2,1 s in $^{250}_{101}$Md + α von 8,439 keV,
$^{103}_{101}$Md durch e^--Einfang in $^{250}_{100}$Fm,
$^{250}_{100}$Fm im Mittel nach 33 min 50 s in $^{246}_{98}$Cf + α von 7,457 keV.

Die Ausbeute belief sich lediglich auf zwei Kerne pro Tag. Die Halbwertzeit des erzeugten Isotops Z=107 ist mit $4{,}2^{+2{,}0}_{-1{,}4}$ Millisekunden außerordentlich kurz. Daß der Nachweis trotzdem glückte, stellt den Experimentatoren ein hervorragendes Zeugnis aus!

LITERATUR:

Phys. Bl., April 1981, S. 94, Existenz des Elements 107 nachgewiesen.
CERN Courier, Mai 1981, S. 154, Element 107.

Bei Cern fand man das erste Baryon mit „nacktem" Beauty

Das 1974 entdeckte Psi-Meson ist ein Charmonium-Zustand $c\bar{c}$, in dem sich kein c-Quark von einem anderen Quark-Flavor in den Folgereaktionen beim Zerfall unterscheiden kann. Man benötigte denn auch geraume Zeit, ehe man ein Meson mit nur einem c-Quark erzeugen und nachweisen konnte. (Für solche Teilchen bürgerte sich die Bezeichnung als Teilchen mit „nacktem" Charm ein.) Es erwies sich vielmehr als leichter, vorerst angeregte Charmonium-Zustände zu produzieren.

Eine analoge Situation ergab sich bei dem wenige Jahre später entdeckten Upsilon-Teilchen, das den Grundzustand von Beautonium ($b\bar{b}$) darstellt. Wieder erschienen im Zuge der fortgeführten Experimente angeregte $b\bar{b}$-Teilchen, während keine Partikeln mit nackten Beauty auftauchen wollten.

Nun ist auch hier der Bann gebrochen, denn eine Gruppe von Bologna-, CERN- und Frascati-Physikern unter der Leitung von Antonio Zichichi ist bei den Arbeiten mit dem Split-Field-Magneten des CERN-Speicherringes (ISR) fündig geworden. Ein Signal war deutlich wahrzunehmen, das nur vom Zerfall des leichtesten Baryons mit „nacktem" Beauty rühren konnte. Dieses Baryon ist elektrisch neutral, es zerfällt in ein neutrales Meson mit Charm plus Proton plus negatives Pion.

Außerdem gab es noch Andeutungen für einen anderen Zerfallsmodus des betreffenden Baryons, der es in ein Lambda-Baryon mit Charm plus drei Pionen überführt.

Greift man aus jeder der drei Leptonenfamilien die beiden Quarks in der Anordnung

$$\binom{u}{d} \cdot \binom{c}{s} \cdot \binom{t}{b}$$

heraus, so zeichnen sich die Quarks aus der ersten Zeile des Schemas durch ähnliche Verhaltensweisen aus, ebenso die

Quarks aus der zweiten Zeile. Die Experimentatoren ließen sich denn auch von dieser Überlegung leiten. Sie erwarteten nämlich (wie sich herausstellte zu Recht), daß das leichteste b-Baryon ebenso wie das leichteste s-Baryon elektrisch neutral sei, während das leichteste c-Baryon elektrische Ladung trägt. Das gesuchte b-Baryon sollte daher in das neutrale c-Meson D^0 zerfallen, das seinerseits in K^- und π^+ übergeht.

Ferner achtete das Team auf jene Endzustände der Zerfallsreaktionen, die durch Charm-Regeln in doppelter Weise verboten sind. Sie müßten in erster Linie von b-Teilchen stammen. Zwecks Reduktion des störenden Hintergrundes seitens anderer Vorgänge beachtete man nur jene Ereignisse, bei denen 1. Positronen von mindestens 0,8 GeV auftraten (sie stammen vom schwachen $\bar{b}$-Zerfall) und bei denen 2. die aus dem Zerfall hervorgehenden Protonen den Großteil der umgesetzten Energie mitführen. Außerdem analysierte man nur Ereignisse mit 4 zusätzlich geladenen Teilchen.

Im Massenspektrum der auf die geschilderte Weise ausgewählten „untersuchungswürdigen" Reaktionen tauchte bei 5,425 GeV/c^2 ein deutlicher „Peak" auf, der dem leichtesten Baryon mit nacktem Beauty zugeschrieben wird.

Andere Massenspektren enthalten Anzeichen von geladenen b-Baryonen mit um zirka 0,3 GeV/c^2 größerer Masse. In Stanford fand man in ähnlichen Experimenten Mesonen mit nacktem Beauty. Sie dürften die Spitze eines Eisberges sein, den zu heben die Aufgabe der künftigen, mit Nachdruck fortgeführten Untersuchungen sein wird. Jedenfalls, ein guter Anfang ist gemacht!

LITERATUR:
1. CERN Courier, Juni 1981, S. 207, „Beautiful" Evidence.
2. Scient. Am., April 1981, S. 71, Bare Bottom.

G 109.1-1.0, ein Analogon zu SS 433?

SS 433, der schon zweimal Gegenstand von Betrachtungen in den „Wiss. Nachr." war (Nr. 52, Jänner 1980, S. 34, SS 433 spielt verrückt; Nr. 56, April 1981, S. 44, Die Rätsel um SS 433 beginnen sich zu lichten), wird wegen einer Eigenart seit 1979 eingehend beobachtet. Heute hat man die Überzeugung gewonnen, daß er tatsächlich zwei materielle Jets von je c/4-Geschwindigkeit in diametralen Richtungen ausstößt, deren jeder infolge der Eigendrehung des Objekts einen Kegelmantel von 20° Öffnungswinkel mit 164tägiger Periode beschreibt. Die mittels Radiointerferometer gewonnenen Radiobilder des Sterns sind länglich und verschieben sich mit der gleichen Periode, mit der sich die beiden Liniensysteme im Sternspektrum gegeneinander hin- und herverschieben. Gewisse Jet-Phänomene erstrecken sich bis zur Radiohülle von SS 433, die mit W 50 bezeichnet wird.

Der kanadische Astronom Phil Gregory glaubt nun im **Objekt G 109.1-1.0** einen zweiten Himmelskörper dieser merkwürdigen Art entdeckt zu haben, als er die Röntgen-Aufnahmen, die der Einstein-Satellit zur Erde gefunkt hatte, analysierte. Ein Röntenbild zeigt einen Halbkreisbogen mit einem zentralen Röntgenstern, der zwei Jets bis zum Rand der Röntgenhülle aussendet. Beim Vergleich mit den Radiobildern desselben Sternfeldes fällt die Koinzidenz von Röntgen- und Radiohülle (letztere umgibt die Radioquelle CTB 109, die mit dem zentralen Röntgenstern identisch sein könnte) auf. Der Radiostern CTR ist ebenfalls länglich, und die Position von CTB 109 fällt mit der eines optisch sichtbaren Sternchens der scheinbaren Helligkeit 21^m zusammen. Die scheinbare Helligkeit ist jedoch zu gering, als daß ein Spektrum aufgenommen und auf das Vorhandensein zweier sich periodisch gegeneinander verschiebender Liniensysteme hin untersucht werden könnte.

Die spektakulären Eigenschaften von SS 433 lassen es als in hohem Maße wünschenswert erscheinen, noch andere Objekte gleicher Art aufzufinden. Denn obwohl die geometrisch-kinematische Struktur von SS 433 sichergestellt zu sein scheint, weiß man über die physikalischen Ursachen des Massenauswurfes und der damit verbundenen extremen Geschwindigkeiten vorläufig so gut wie nichts. Man wird wohl abwarten müssen, bis das Raum-Teleskop von einer Satellitenbahn aus den Himmel abtasten und dabei speziell das kritische Sternfeld der beiden Objekte erkunden kann.

LITERATUR:
Sterne u. Weltr., April 1981, S. 142, M. R., Kurzbericht: Gibt es einen zweiten SS 433?

Raumsonde mißt gravitative Linienverschiebung

Wenn ein Photon der Energie $E = h \cdot \nu$ mit dem Masseäquivalent $h\nu/c^2$ im Schwerefeld vom Punkt P_1 zum Punkt P_2 läuft, dann verrichtet es die Arbeit

$$W = (h\nu/c^2) \cdot \Delta U.$$

$\Delta U = U(P_2) - U(P_1)$ = Potentialdifferenz für P_1, P_2. Die Photonenenergie wird daher auf dem Wege von P_1 nach P_2 um W verändert, was in einer Rot- oder Blauverschiebung $\Delta\nu$ zum Ausdruck kommt, je nachdem U_2 größer oder kleiner als U_1, also $\Delta U > 0$ oder $\Delta U < 0$ ist:

$$E' = h \cdot \nu' = E - W,$$
$$h \cdot \nu' = h \cdot \nu - (h\nu/c^2) \cdot \Delta U,$$
$$\nu' = \nu\left(1 - \frac{\Delta U}{c^2}\right).$$

Repka und **Pound** haben den Effekt mit Hilfe des Mössbaueffektes (s. „Wiss. Nachr.", Nr. 1, April 1963, S. 4, Anwendungen des Mössbaueffektes) in einem berühmten Experiment an Hand der Rotverschiebung zwischen zwei Punkten bestätigt gefunden, deren Höhenunterschied lediglich 22,5 m betrug (!). Die Übereinstimmung mit der relativistischen Prognose war zwar einwandfrei vorhanden, doch war sie noch recht grob. Das ist keineswegs verwunderlich, denn der geringfügige Höhenunterschied im an sich schwachen Erdfeld bedingte das winzige Verhältnis $\Delta\nu/\nu = g \cdot h/c^2 = 2{,}5 \cdot 10^{-15}$.

Mit Hilfe von Wasserstoff-Masern am Erdboden und an Bord einer längs fast vertikaler Bahn auf 10 000 km von einer Scout-Rakete hochgebrachten Raumsonde wurde nun neuerlich der Frequenzvergleich vorgenommen. Das Ergebnis:

Theorie und Beobachtungen stimmen bis auf $7 \cdot 10^{-5}$ Teile überein!

NASA und das Smithonian Astrophysical Observatory führten das Experiment gemeinsam aus.

Der Testkörper hatte 100 kg Masse, die Maser-Frequenz der drei simultan emittierten Mikrowellensignale betrug f_0 = 1,420 405 751 GHz. Wegen der Bewegung der Sonde mußte die Dopplerverschiebung 1. Ordnung ausgesondert werden. Infolge der Verzögerung bzw. Beschleunigung bei Auf- bzw. Abstieg war auch der damit verbundene relativistische Einfluß zu berücksichtigen. Die anzuwendende Formel lautete daher

$$\Delta f/f_0 = \frac{\Delta U}{c^2} - \frac{|\vec{v_B} - \vec{v_S}|^2}{2c^2} - \frac{\vec{r_{SB}} \cdot \vec{g}}{c^2}.$$

Darin bedeuten:

$\vec{v_B}, \vec{v_S}$ = Geschwindigkeit der Bodenstelle bzw. der Sonde,
$\vec{r_{SB}}$ = Ortsvektor Bodenstelle – Sonde,
$\vec{g}$ = Erdbeschleunigung.

Δf ergab sich aus den Schwebungsfrequenzen der in der Bodenstelle zur Interferenz gebrachten Eigen- und Sondensignale. Die Maserfrequenz f_0 blieb über eine Zeitspanne von 100 s im Verhältnis $1 : 10^{14}$ konstant. Die Messungen begannen nach dem Abtrennen der letzten Raketenstufe um 11^{46} (Greenwich Mean Time). Die Sonde „erlebte" danach einen lotrechten Wurf nach oben. Die Verzögerung im Aufstieg verringerte den Dopplereffekt 2. Ordnung und die Schwebungsfrequenz. Um 11^{49} kompensierten Rotverschiebung und Dopplereffekt 2. Ordnung miteinander, die Schwebung verschwand. Im höchsten Bahnpunkt (Apogäum), um 12^{40} Uhr, betrug die Rotverschiebung 0,9 Hz. Beim Abstieg hörten die Schwebungen um 13^{31} Uhr wieder auf und wurden mit abnehmender Sondenhöhe bis zum Aufschlag im Atlantik (13^{36} Uhr) wieder scheller. Eine ebenso glänzende Bestätigung der Theorie wie auch ein Zeugnis für den hochentwickelten Stand unserer Meßtechnik!

LITERATUR:
Phys. rev. Lett., 29.12. 1980, S. 2081, R. F. C. Vesot et al., Test of Relativistic Gravitation with a Space-Borne Hydrogene Maser.

3-D-Filme mittels Holographie?

Seit langem versucht man mit verschiedenen Methoden, dem Kinobesucher einen räumlichen Eindruck der Vorgänge auf der Leinwand zu vermitteln. Keinem der hierfür entwickelten Wege gelang jedoch der Durchbruch zum industriell hergestellten dreidimensionalen Film, gleich, ob man mit Hilfe der Polarisation oder mit verschiedenfarbigen Brillengläsern für den Zuseher arbeitet, durch die jedes Auge ein gegenüber dem vom anderen Auge wahrgenommenen Bild leicht verschobenes Bild sieht.

Dank der Lasertechnik und der Kohärenz wie auch Monochromasie des Laserlichtes ist es seit einigen Jahren auch möglich, Hologramme zu erzeugen, die bei geeigneter Beleuchtung mit Laserlicht dem Beobachter echte räumliche Eindrücke darzubieten gestatten. Das geht so weit, daß der Zuseher nur ein wenig seinen Kopf zu verlagern braucht, um auch die Bildteile zu sehen, die vor der Kopfbewegung für ihn von mehr vordergründigen Bildteilen verdeckt waren.

Das Forschungsinstitut für Kino und Fotografie in Moskau hat bereits im Jahre 1976 einen 3-D-Film – allerdings nur von ¾ Minuten Dauer – vorgeführt, der unter Einsatz der Holographie entstanden war und einen vollständigen räumlichen Eindruck hervorrief. Er war zwar noch mit gewissen Mängeln behaftet, u. a. präsentierte er sich nur in einer einzigen Farbe, nämlich in Gelb, aber das sind Kinderkrankheiten, wie sie bei fast allen Neuentwicklungen auftreten und als durchaus behebbar anzusehen sind. Ehe wir auf die einzige ernste Schwierigkeit eingehen, noch eine kurze Andeutung des holographischen Verfahrens.

Der kohärente, monochromatische Laserstrahl wird in zwei Teilstrahlen gespalten. Einer (der sogenannte Referenzstrahl) beleuchtet direkt die Fotoplatte, der andere ist auf das abzubildende Objekt gerichtet, worauf erst das vom Objekt reflektierte Licht die gleiche Fotoplatte trifft. Die Überlagerung beider Bilder auf der Fotoplatte resultiert in einem Interferenzmuster, dem jegliche Ähnlichkeit mit dem Objekt abgeht, das dafür die bei anderen Abbildungsverfahren verlorengegangene Phaseninformation enthält. Das ist das **Hologramm.** Wird es von Laserlicht der gleichen Frequenz durchleuchtet, dann entsteht für den Beschauer wegen der inversen Beugungseffekte des als Gitter wirkenden Hologramms wieder das räumliche Bild des Objekts in der oben geschilderten Vollkommenheit.

Die große Schwierigkeit, die noch der befriedigenden Lö einzigen Zuseher, sondern Hunderten Kinobesuchern simultan zu ermöglichen. Die Projektion der Lichtstrahlen, die aus an zu ermöglichen. Die Projektion der Lichtstrahlen, die aus dem Hologramm kommen, auf einen Schirm würde die Phasenbeziehung wieder zerstören, man sähe lediglich einen gewöhnlichen 2-D-Film. Die Lichtstrahlen aus dem Hologramm müssen vielmehr direkt auf den Zuseher fokussiert werden, soll er einen räumlichen Eindruck gewinnen! Um jeden einzelnen im Auditorium so zu versorgen, wie man es wünscht, bedürfte es der Installation ebensovieler ellipsoidischer Spiegel wie Zuschauer im Auditorium sitzen. Alle diese Spiegel hätten je einen ihrer beiden Brennpunkte gemeinsam, in ihm befände sich das Hologramm. Jeder Spiegel wäre ferner derart zu orientieren, daß sein zweiter Brennpunkt in die Augenhöhe des ihm zugeordneten Sitzplatzes im Kino zu liegen käme. Das ist natürlich schlicht undurchführbar.

Ein gangbarer Ausweg wurde von den Moskauer Forschern beschritten, der sich bei Versuchen mit einem vierköpfigen Auditorium bewährte. Die Forschergruppe konstruierte ein spezielles zusätzliches Hologramm, das die Rolle der Projektionsfläche zu übernehmen hat und das imstande ist, die notwendige räumliche Vielfach-Fokussierung herbeizuführen, also dasselbe zu leisten wie die utopische Spiegelanordnung.

Das Hologramm wird auf einer Fotoplatte von der Größe der Projektionsfläche erzeugt, die von jedem Sitzplatz aus ein eigener divergierender Lichtstrahl beleuchtet. Wenn nun umgekehrt die das Filmbild holographisch übertragenden Lichtstrahlen auf dieses Spezialhologramm fallen, dann werden sie, dem optischen Reziprozitätsverhalten entsprechend, zu jedem Sitzplatz fokussiert, und das gesamte Auditorium ist mit 3-D-Bildern versorgt. Das Team hofft, in absehbarer Zeit 3-D-Filme für 200 bis 400 Zuseher vorführen zu können.

Abgesehen von den eben geschilderten Problem bietet die holographische Technik bemerkenswerte Vorteile:

1. Die Empfangsqualität des Bildes wird weder durch kleine, senkrecht zum Sehstrahl erfolgende Verschiebungen des Films (etwa durch unregelmäßige Filmführung), noch durch geringfügige Beschädigungen des Hologramms (Kratzspuren, Staub) beeinträchtigt. Bekanntlich darf man ein Hologramm ungestraft in die Hälfte reißen oder gar nur durch ein kleineres Stück davon ersetzen, weil jeder seiner Teile die ganze Bildinformation enthält!

2. Die Größe des Hologramms könnte aus dem gleichen Grunde drastisch verkleinert werden, was bedeutende Ersparnisse an den Kosten für den Projektor und die Kamera nach sich zöge.

Noch ist es zwar nicht so weit, aber Optimismus ist durchaus gerechtfertigt.

LITERATUR:
Scient. Am., März 1981, S. 67, Going to the Roundies.

Meteoritenkrater in Algerien

Das heftige Bombardement durch Meteoriten, dem die Planeten und ihre Monde in der Frühzeit des Sonnensystems ausgesetzt waren, hat überall dort seine unverkennbaren Spuren in Gestalt kraterbedeckter Oberflächen hinterlassen, wo diese weder den verwitterten Einflüssen einer Gashülle zum Opfer fielen noch von viskosem oder flüssigem Bodenmaterial ausgefüllt wurden. Als typische Beispiele für Oberflächen mit ausgelöschten Kratern darf neben dem Jupitermond Io vor allem die Erde angeführt werden, da auch auf ihr noch ein paar Krater überlebt haben.

Der bekannteste liegt in **Arizona,** er ist in den meisten Astronomiebüchern abgebildet. Zwar wußte man lange nicht, ob er tatsächlich dem Einsturz eines massiven Körpers das Entstehen verdankt, doch steht dies heute untrüglich fest. Zunächst versuchte man, nach Resten des vermuteten Meteoriten zu graben, aber der Erfolg blieb aus. Die Entscheidung fiel erst auf Grund der Forschungsarbeiten in den Höchstdrucklaboratorien. Dort lernte man Mineralformen kennen, die nur unter Druckeinwirkungen von jener Stärke entstehen, die beim Aufprall mit Dutzenden km/s einstürzender Körper auftreten. Da derartige Mineralien im Arizonakrater vorkommen, steht sein meteoritischer Ursprung fest. Er ist 190 m tief, sein Durchmesser beträgt 1300 m.

Auch in Mitteleuropa befindet sich ein Krater, dessen Natur wegen seiner beträchtlichen Größe lange Zeit unerkannt blieb. Es ist das **Nördlinger Ries** in Deutschland.

Nun ist man – zunächst durch Beobachtungen von Flugzeugpassagieren und -besatzungen sowie durch Satelliten- und Flugzeugaufnahmen – auf kreisförmige Gebilde im algerischen Wüstengebiet der Sahara gestoßen, die den Verdacht weckten, es könnte sich bei ihnen ebenfalls um Meteoritenkrater handeln.

Der Verdacht war stark genug, um den Aufbruch einer Expedition von vier algerischen und drei US-Wissenschaftlern in die betreffenden Gebiete zu veranlassen. Nach zum Teil mühevollen Fußmärschen stellten die Forscher in der Tat bei zweien der acht untersuchten Gebilde fest, daß sie mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit als Impaktkrater zu werten sind.

Der eine von ihnen (er wurde zum ersten Mal von R. Karpoff im Jahre 1954 vom Flugzeug aus bemerkt) ist der **Amguid-Krater** an einem so abgelegenen Ort, daß er nur zu Fuß erreichbar ist. Mit 450 m Durchmesser und 30 m Tiefe hat er recht stattliche Ausmaße. Die Impaktnatur geht daraus hervor, daß er von einem steil abfallenden Ringwall umgeben und seine Umgebung mit verstreuten, beim Aufprall fortgeschleuderten Gesteinstrümmern bedeckt ist. Ferner verraten Breccien (d. s. zusammengebackene Blöcke alter Gesteinstrümmer) und Quarzfunde das Einwirken extremer Stoßwellen. Das Ereignis dürfte vor 10 000 bis 100 000 Jahren stattgefunden haben. Seither füllte sich der Trichter teilweise mit angewehtem Sand. Die nächstgelegene Dauersiedlung ist das ehemalige Fort Amguid, 90 km ostnordöstlich vom Krater.

Der andere Krater namens **Talemzane** ist größer und älter als der Amguid-Krater. Mit 1750 m Durchmesser und 70 m Tiefe übertrifft er sogar ein wenig den Arizona-Krater. Er be-

findet sich 120 km in südlicher Richtung von Laghuat und ist mit geländegängigen Fahrzeugen zu erreichen. Die Impaktindizien sind dieselben wie beim Amguid-Krater, wenn auch die Verwitterung des Talemzane-Ringwalls weiter fortgeschritten ist. Die relativ geringe Tiefe rührt von der Sandfüllung auf wäßrigem Grund, die in gleichem Ausmaß weder in Arizona noch bei Amguid vorliegt. Das Alter des Talemzane wird von den Gelehrten auf 0,5 bis 300 Mio. Jahre geschätzt.

LITERATUR:
1. Sky and Tel., Februar 1981, S. 106, Two Algerian Meteorite Craters.
2. Meteoritics, Bd. 15, S. 157, 1980, M. Houfani, Ph. Lambert, R. S. Dietz, J. F. McHone jr.

Die Milchstraße ist viel größer als man dachte!

Der Artikel „Die innerste Region der Milchstraße" (Nr. 55, April 1981, S. 37 der „Wiss. Nachr.") beschäftigte sich mit dem Kerngebiet unserer Galaxis, das eine um den Systemmittelpunkt geschlagene Kugel von 3,2 Lj. umschließt. Der gegenständliche Bericht soll im Gegensatz dazu die aus den Beobachtungen der letzten Jahre gezogenen Schlüsse über den Bau der äußersten galaktischen Regionen zum Inhalt haben. Überraschenderweise hat sich nämlich herausgestellt, daß die Milchstraße noch weit über den Halo hinausreicht, in den ihre sternreiche Scheibe eingebettet ist, obwohl man bisher über ihre Ausdehnung gut Bescheid zu wissen glaubte. Das bedeutet keineswegs, daß die notwendig gewordene Korrektur unserer Ansichten durch mangelhafte Beobachtung oder fehlerhaft daraus gezogene Schlüsse und irrige Deutungen erzwungen wurde. Es waren vielmehr die Ergebnisse beim Einsatz neuer Geräte und der Nutzung extraterrestrischer Beobachtungsmöglichkeiten hinsichtlich der heute zugänglichen Radio- und IR-Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, die das Tor zur sogenannten Corona der Milchstraße den Forschern öffneten.

Bis zum Jahre 1974 waren sich die Astronomen hinsichtlich des Aufbaus und der Gestalt der Milchstraße einig: Die erdrückende Mehrzahl der Sterne drängt sich in einer **flachen und dünnen Scheibe** von zirka 50 000 Lj. Radius mit einer zentralen, etwa sphärischen **Ausbuchtung** von 13 000 bis 17 000 Lj. Halbmesser. Zwischen den Sternen bewegen sich riesige Gas- und Staubwolken. Die Gesamtmasse von Scheibe und Ausbuchtung beziffert man auf 200 Mrd. Sonnenmassen. Die Scheibe ist noch von einem **Halo** umgeben, der in Form einer schwach abgeplatteten Kugel die Scheibe umgibt. Die zentrale Scheibenebene ist sozusagen die Äquatorebene des Halo, dessen Radius in der Scheibenebene die Größenordnung 60 000 Lj. hat. Der Halo dürfte weitere 100 Mrd. Sonnenmassen enthalten, in ihm findet man vor allem alte Sterne und an die 100 Kugelhaufen, die gleichfalls zu den ältesten Gebilden in der Milchstraße gehören. (Ebensoviele Kugelhaufen sind in der galaktischen Scheibe verteilt.)

Die ersten Bedenken bezüglich der Vollständigkeit des damals allgemein anerkannten Milchstraßenbildes regten sich 1974, als theoretische Analysen der dynamischen Stabilitätsbedingungen des herrschenden Milchstraßenmodells, angestellt an den Universitäten Cambridge (D. Lynden-Bell) und Princeton (J. P. Ostriker, P. J. E. Peebles, A. Yahil), ergaben, daß die unbezweifelbare gravitative Stabilität des Systems nur dann gewährleistet sein kann, wenn es in eine bedeutend größere Massenansammlung über den Halo hinaus eingebettet ist.

Die geltenden Ansichten erfuhren zur selben Zeit auch durch Geschwindigkeitsmessungen von J. Einasto (Tartu Obs. in Estland) eine nachhaltige Erschütterung. Danach bewegt sich die Sonne relativ zu den Halo-Kugelhaufen im Mittel nur mit 180 km/s. Diese Sternhaufen nehmen an der allgemeinen Systemrotation um das galaktische Zentrum mit höchstens 50 km/s teil. Daraus folgt für die Sonne eine maximale Rotationsgeschwindigkeit von 230 bis 250 km/s um das Zentrum.

Anderseits ergaben die Messungen der Sonnenbewegung relativ zu den Nachbargalaxien sowie anderen Gruppen einhellig 300 km/s. Also mußte sich das galaktische Zentrum mit nicht weniger als 50 bis 80 km/s in bezug auf diese Galaxien verschieben. Das ist ungewöhnlich rasch und veranlaßte Einasto zu weiteren Messungen und dem Überdenken der Konsequenzen. Gegenstand seiner neuen Messungen war die Relativgeschwindigkeit der Sonne bezüglich der Untergruppe von Galaxien innerhalb der Lokalen Gruppe, welch ersterer die Sonne selbst angehört. Er fand wieder 300 km/s im Mittelpunkt und folgerte daraus: Die Milchstraße muß derart massiv sein, daß sie die Untergruppe gravitativ beherrscht.

Im Jahre 1976 schlug Einasto zunächst folgendes Milchstraßenmodell vor: Der Halo, der Scheibe und Ausbuchtung umgibt, ist größer als gedacht, Scheiben- und Halomasse belaufen sich zusammen auf 900 Mrd. Sonnenmassen. Doch auch das stellte sich als unzureichend heraus, um v_{rel} = 300 km/s zu erklären, die Korrektur mußte tiefgreifender sein.

Das endgültige Modell Einastos, das zu keinen Diskrepanzen mehr führte, postulierte die Existenz einer Art **Korona** der Milchstraße, die ihrerseits Halo und Scheibe umschließt. Der Radius der Korona beträgt mindestens 300 000 Lj., ihre Masse beläuft sich auf rund 1,2 Billionen Sonnenmassen. Somit ist die Gesamtmasse der Milchstraße mit $2{,}1 \cdot 10^{12}$ Sonnenmassen zu veranschlagen, d. i. 7mal mehr als die bisherige Einschätzung! Unsere Galaxis ist eines der mächtigsten Gebilde, das wir kennen.

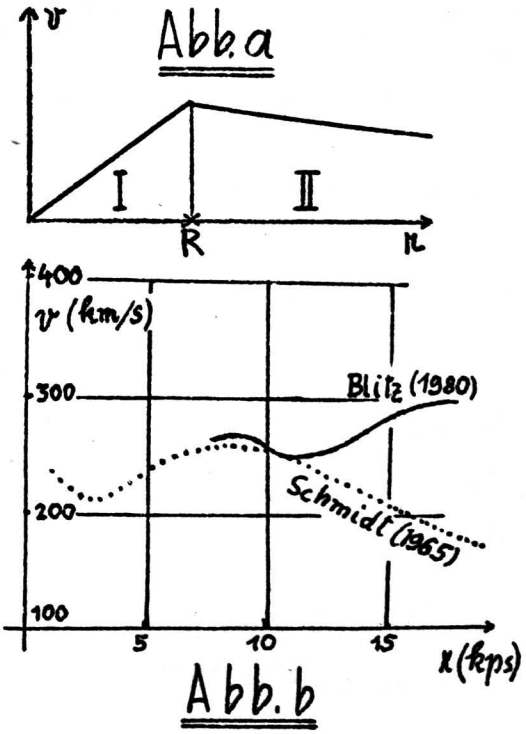
Die Argumentation zugunsten des neuen Modells ist aber noch nicht erschöpft. Das dritte Indiz gründet sich auf die Art der Abhängigkeit der Kreisgeschwindigkeit v eines Körpers k, der den anziehenden Körper K (Masse M) im Abstand r umkreist. Es sind zwei Fälle zu unterscheiden.

a) Befindet sich die Bahn von k außerhalb K, den wir als sphärisch und homogen bezüglich seiner Massendichte annehmen wollen, dann ergibt sich die Kreisgeschwindigkeit von k nach der Formel

$$v = \sqrt{G \cdot M/r}.$$

b) Befindet sich jedoch k innerhalb K (die Bewegung von k kann natürlich nur dann einigermaßen unbehindert erfolgen, wenn K in Form einer Kugel von hochverdünntem Gas vorliegt), dann ist in der Formel für den Fall a) die Masse M von K als ganzem durch die Masse M (r) zu ersetzen, welche innerhalb der Kugel um das Zentrum von K liegt, deren Massenteilchen also vom Zentrum keinen größeren Abstand haben als k:

$$v = \sqrt{G \cdot M\,(r)/r}.$$



Die Schwerkräfte der Massen außerhalb der Kugel vom Radius r kompensieren nämlich einander unter den angeführten Voraussetzungen vollständig. Da M (r) mit r wie r^3 zunimmt, wächst v im Inneren von K proportional zu $\sqrt{r^3/r} = r$. Das v-r-Diagramm hat somit die in Abb. a wiedergegebene Gestalt, wenn man die beiden Bereiche I: $0 \leq r \leq R$ und II: $R \leq r$, wobei R den Radius von K bedeutet, berücksichtigt.

Wäre also außerhalb des Milchstraßenhalos keine zu ihr gehörende Materie vorhanden, dann müßten allenfalls dort befindliche Körper mit dem in Bereich II dargestellten Geschwindigkeiten um die Milchstraße – von der sie auf jeden Fall angezogen werden – umkreisen. Ihre Kreisgeschwindigkeit müßte für $r > 64\,000$ Lj. wie $1/\sqrt{r}$ abnehmen. Messungen von Maarten Schmidt im Jahre 1965 schienen für Abstände ab 30 000 Lj. bis zu zirka 60 000 Lj. diesen Verlauf zu bestätigen. Genauere Analysen der v-Messungen durch L. Blitz et al. im Jahre 1980 ergaben jedoch eine Zunahme von v ab etwa 40 000 Lj., ein Faktum, das nur durch zunehmende Massendichte eines sich weiter nach außen erstreckenden Milchstraßensystems plausibel zu erklären ist. Natürlich wurden auch die Rotationsgeschwindigkeiten der Teile verschiedener anderer Galaxien (es waren die 17 nächsten) bestimmt und eine im wesentlichen zur r-Achse parallele Diagrammkurve gefunden. Das heißt, v nimmt dort nicht nach außen ab, sondern verhält sich ziemlich unabhängig von r, dem Abstand des jeweils untersuchten Teils vom Mittelpunkt der gerade beobachteten Galaxis.

Die v-r-Kurve für die Milchstraße ist in Abb. b dargestellt. Die punktierte Kurve entspricht den Ergebnissen von M. Schmidt, die durchgezogene Kurve dem Ergebnis der genaueren Analysen von L. Blitz.

Zur Überprüfung der Richtigkeit der neuen Modellvorstellungen hat man die v-Werte der wenigen in der Milchstraßenkorona sichtbaren Objekte gemessen und so erfahren, daß v außerhalb $r = 64\,000$ Lj. zunimmt und dem Grenzwert $v = 300$ km/s zustrebt. Die überprüften Objekte sind Kugelhaufen, H- und CO-Wolken. Das heißt, die Existenz der Milchstraßenkorona darf mit hoher Sicherheit als bestätigt angesehen werden.

Man wird sich wundern, weshalb diese so ungeheuer massive Korona nicht schon längst mit den so leistungsfähigen Fernrohren und ihren modernen Zusatzgeräten direkt bemerkt wurde. Der Grund liegt in dem Mangel an visuell wahrnehmbaren Objekten. Offenbar ist die Korona von dunkler Masse und weit abgekühlten Sternen erfüllt, die – auch wegen des größeren Abstandes im Vergleich zu den Halo- und Scheibensternen unserer Galaxis – nicht sichtbar sind. Im einzelnen fanden die Geschwindigkeitsmessungen an folgenden der wenigen in der Korona sichtbaren Gebilden statt und bestätigen die Vermutungen bezüglich der Korona (in Klammer das jeweilige Distanzintervall).

4 Kugelhaufen (64 000 bis 128 000 Lj.),
Große Magellansche Wolke und 2 Kugelhaufen (128 000 bis 192 000 Lj.),
2 Zwerggalaxien und die Kleine Magellansche Wolke (192 000 bis 260 000 Lj.),
1 Zwerggalaxis und 2 Kugelhaufen (260 000 bis 320 000 Lichtjahre),
4 Zwerggalaxien und 2 Kugelhaufen (320 000 und 700 000 Lichtjahre).

Ob die 6 letztgenannten Himmelskörper zur Korona gehören ist noch zweifelhaft. Die aufgezählten Zwerggalaxien sind kugelförmig.

Zwerggalaxien und Kugelhaufen enthalten vor allem alte Sterne, deren Leuchtkraft deshalb gering ist. Ferner konnten in der Korona keine Spektrallinien aus Wolken von Wasserstoff- oder CO-Gas identifiziert werden. Also setzt sich die Korona entweder überwiegend aus alten Sternen zusammen oder es sind Objekte, die in den der Beobachtung besser zugänglichen Regionen kein Analogon besitzen. Die weiteren Forschungen könnten somit neuerdings größere Überraschungen bescheren!

LITERATUR:
Scient. Am., März 1981, S. 70, B. J. Bok, The Milky Way Galaxy.

Die Suche nach anderen Planetensystemen

Die Frage nach außerirdischem Leben und damit nach der Existenz extrasolarer Planetensysteme bewegt seit langem die Menschheit. Aber außer Wahrscheinlichkeitsüberlegungen und ganz wenigen hierfür in Betracht kommenden Sternen als Anwärtern für die Stellung als Zentralsterne in solchen Systemen ist vorläufig nichts Endgültiges herausgekommen. Die beigefügte Tabelle gibt eine Übersicht über die möglichen Aspiranten. Die 2. Spalte gibt die Sternmasse in Sonnenmassen an. In der 3. Spalte bedeutet $v_{r,\,max}$ die größte Änderung der Radialgeschwindigkeit des Sterns in m/s, die ein **jupiterähnlicher** Planet hervorrufen müßte, der im Abstand von 5,2 AE = 780 Mio. km den Stern umkreist. Denn in Wahrheit bewegen sich Planet und Stern um den gemeinsamen Schwerpunkt, so daß auch der Stern während jeder Periode einmal eine größere, einmal eine kleinere Radialgeschwindigkeit relativ zur Erde hat, als wenn der Planet gar nicht vorhanden wäre. Die 4. Spalte nennt die maximale seitliche Winkelverschiebung $\Delta\delta_{max}$ in 0,001″ (Millibogensekunden) des Sterns gegenüber der festen Position bei fehlendem Planeten. Die beiden letzten Spalten enthalten die zu den Spalten 3 und 4 analogen Angaben für den Fall eines **erdähnlichen** Planeten, dessen Distanz zum Zentralstern so angenommen ist, daß Leben, wie wir es verstehen, möglich wäre.

Stern	Masse	jupiterähnlich		erdähnlich	
		$\Delta v_{r,\,max}$	$\Delta\delta_{max}$	$v_{r,\,max}$	$\Delta\delta_{max}$
Proxima Centauri	0,12	36	32	0,8	0,002
Alpha Centauri A	1,00	13	4	0,1	<0,003
Alpha Centauri B	0,81	14	5	0,1	<0,003
Barnard's Stern	0,16	31	17	0,7	0,001
Wolf 359	0,10	40	23	0,9	0,001
Lalande 21185	0,30	23	7	0,5	0,0003
Sirius A	1,58	10	1	0,1	<0,003
Sirius B	0,26	25	7	0,6	0,0003
Luyten 726-8 A	0,11	38	17	0,9	0,001
Luyten 726-8 B	0,12	36	16	0,8	0,001
Ross 154	0,16	31	11	0,7	0,0006

Wie man der Tabelle entnimmt, sind die wellenartigen Deformationen der normalerweise geradlinig verlaufenden Bahnen eines Sterns untrügliche Anzeichen eines unsichtbaren Begleiters. Sirius war das erste Objekt, dessen Doppelnatur sich auf diese Weise verriet. Allerdings sind die Positionsschwankungen $\Delta\delta$ bei Doppel-Sternen um Größenordnungen ausgiebiger als bei Begleitung durch einen Planeten, mag er auch mit Jupiter vergleichbar sein, ganz zu schweigen vom Einfluß erdähnlicher Planeten.

Die Suche nach fernen Planetensystemen kann daher nur dann aussichtsreich betrieben werden, wenn die Präzision der eingesetzten Geräte entsprechend erhöht wird.

Das NASA-Ames Res. Center veranstaltete im Jahre 1976 zwei Arbeitstagungen (workshops), die sich mit den apparativen Aspekten der Forschung nach Planetensystemen beschäftigten. Diese und spätere ähnliche Veranstaltungen führten zu einigen Publikationen, über deren Inhalt nun berichtet werden möge.

Die astrometrischen Methoden zur Vermessung der Schwankungen in der Eigenbewegung erscheinen aussichtsreich, wenn das räumliche Auflösungsvermögen durch den Einsatz **photoelektrischer Detektoren** genügend verbessert wird. Dasselbe gilt für die Messung von periodischen Linienverschiebungen in den Sternspektren mit hochgezüchteten Spektrometern. Allerdings ist dann darauf zu achten, daß die Linienverschiebungen auch von großräumigen vertikalen Gasströmungen in den Sternphotosphären rühren können und dann die Gefahr der Mißdeutung als Planeteneinfluß besteht.

Eine Gruppe entwickelte das sogenannte Orion-Projekt, ein sternabbildendes Photo-Interferometer, von dem erwartet wird, die Positionswinkel zwischen benachbarten Sternen auf 10^{-4} Bogensekunden genau bestimmen zu können, das aber auch sehr hohe Kosten verursachen würde.

Schließlich ist an den Einsatz der **Speckle-Interferometrie** gedacht, die mittels verfeinerter Verfahren auf dem gegenständlichen Gebiet fündig werden könnte. Die Verfeinerung soll die Fehlergrenzen auf 10^{-5} Bogensekunden drücken!

Es besteht die Hoffnung, daß den verschiedenen vorgeschlagenen Verfahren die erforderlichen Präzisionsleistungen von $\Delta v_r \approx 1$ m/s und $\Delta\delta \approx 0{,}001''$ noch in dieser Dekade abgerungen werden. (Ein großer Vorteil der Δv_r-Messungen besteht in der Distanzunabhängigkeit ihrer Qualität.)

Pierre Connes ist im Begriffe ein Gerät zu entwickeln, dessen Auflösungsvermögen die Traumgrenze von $\Delta v_r = 1$ m/s erreichen und damit die bestehenden Geräte um den Faktor 100 übertreffen soll. Unter anderem verwendet Connes Lichtleiter.

George Gatewood vom Allegheny Observatory hält ein Vielkanal-Photometer für zielführend, das **gleichzeitig** die Positionen des Sterns und einiger seiner Nachbarn verfolgt.

Astrometrische Geräte gestatten sogar, die Neigung der Bahnebene des potentiellen Planeten zu ermitteln und damit Auskunft über die Planetenmasse zu erhalten. Übrigens: die Effekte (Dopplereffekt und Linienverschiebung) fallen um so größer aus, je kleiner die Sternmasse ist.

Die Beeinträchtigung der Beobachtungen durch die irdische Lufthülle fällt weg, wenn die Teleskope in Satelliten, also außerhalb der Atmosphäre, arbeiten. So müßte ein Gatewood-Photometer, das sich im Primärfokus eines 2,5-m-Reflektors auf Satellitenbahn befindet und das vom – bereits erfolgreich – verwendeten Raumtransporter hochgebracht wurde, Auflösungen in der „Größen"-Ordnung von **Mikro-Bogensekunden** (bei halbstündiger Beobachtungsdauer) verwirklichen. Diese Version dürfte allerdings etwa 55 Mio. Dollar kosten.

Ein anderer Vorschlag betrifft ein Interferometer mit 10 m Basislänge im Weltraum, das dieselbe Genauigkeit wie das Gatewood-Photometer haben soll. Damit bestünde sogar die Chance, nicht nur Planeten von Jupitermasse, sondern auch erdähnliche zu identifizieren.

Optimistische Astronomen halten die ersten Entdeckungen extrasolarer Planetensysteme bis zum Jahre 1990 für möglich. Nun, man wird ja sehen!

LITERATUR:
Sky and Tel., August 1980, S. 111, Brian O'Leary. Searching for Other Planetary Systems.

Die Windströmungen in der Venusatmosphäre

Die weichen Landungen der sowjetischen Sonden Venera 11 und 12 auf der Tagseite der Venus südlich ihres Äquators am 21. und 25. Dezember 1978 erbrachten neuerlich interessante Informationen über das Windsystem auf unserem Nachbarplaneten, die mit den früheren Feststellungen durch Venera 7, 8, 9, 10 sowie durch die US-Sonden Pioneer-Venus (sie waren auf der Tag- sowie auf der Nachtseite tätig) durchaus verträglich sind, wenn auch in Einzelheiten – wie nicht anders zu erwarten – starke Verschiedenheiten auftreten.

Die Hälfte der Atmosphärenmasse der Venus befindet sich im Bereich zwischen dem festen Boden und 10 km Höhe. In dieser Schicht treten keine stärkeren Winde als solche mit 1,5 m/s auf. Das ändert sich im Gebiet zwischen 10 und 20 km Höhe, wo die Windstärke stark zunimmt, und zwar auf zirka 20 bis 40 m/s. Von 20 bis 40 km Höhe ändert sich die Gasgeschwindigkeit nicht wesentlich, steigt dann aber zwischen 40 und 45 km Höhe wieder beträchlich an. Venera 8 hatte oberhalb 50 km Höhe sogar 100 m/s registriert. Das ändert sich kaum bis 60 km Höhe.

Betrachtet man die von den verschiedenen Sonden gemessenen Windstärken zu verschiedenen Zeiten, aber in gleichen Höhenbereichen, so sind Geschwindigkeitsunterschiede von einigen 10 km/s keine Seltenheit. Jedoch wehen alle Winde von Ost nach West, d. h. in der Rotationsrichtung des Planeten, der ja bekanntlich eine retrograde Eigendrehung ausführt, sie betrugen bei keiner der bisherigen Sonden mehr als 1 bis 2 m/s trotz der großen Windgeschwindigkeiten und ihres ansehnlichen Gradienten in den Höhenschichten zwischen 10 bis 20 km bzw. 40 bis 60 km Höhe.

Schon von der Erde aus hatte man die Linienverschiebungen im UV-Teil des Spektrums der Venuswolken konstatiert und nun festgestellt, daß sie teilweise von den Bewegungen der Wolken herrühren. Auch die für irdische Beobachter unverkennbaren Verschiebungen kleinerer Wolkenpartien stehen mit den Gasströmungen in Zusammenhang.

Venera 9 bis 12 landeten nahe dem subsolaren Punkt der Venus (d. h. dort, wo Mittag ist) und stellten oberhalb 40 km sogar in einigen Fällen geringfügige Geschwindigkeitsabnahmen fest. Der Grund dafür ist wohl in weiträumigen atmosphärischen Turbulenzen zu suchen, die von den lotrecht oder fast lotrecht einfallenden Sonnenstrahlen herrühren. Sie können auch auf den von der Erde aus aufgenommenen UV-Fotos der betreffenden Wolkenregion der Venus erkannt werden.

LITERATUR:
Sky and Tel., Juni 1981, S. 488, News Notes – Winds of Venus: Venera 11 and 12 Results.

Das Forschungsanliegen TeV-Höhenstrahlung

Nach dem jetzigen Stand der Forschung stammt die kosmische Höhenstrahlung (kH) vorwiegend aus Quellen innerhalb der Milchstraße. Nur die Teilchen besonders hoher Energie – das Energiespektrum der kH reicht von 10^6 bis 10^{21} eV (!) – könnten aus extragalaktischen Quellen stammen.

Das Magnetfeld im Raum unserer Galaxis hat die Größenordnung 10^{-6} Gauß und wirkt so als magnetische Flasche für die geladenen Teilchen mit $E < 10^{17}$ eV. Erst bei größeren Energien vermögen Partikeln aus dem Milchstraßensystem in den intergalaktischen Raum zu diffundieren.

Die mittlere Energiedichte der kH beträgt etwa 1 eV/cm³. Sie ist damit etwa mit der Dichte der magnetischen Feldenergie, der kinetischen Energie der interstellaren Gasteilchen und der Energie der elektromagnetischen Strahlung vergleichbar.

In der kH sind die Kerne aller chemischen Elemente vertreten, sie stammen aus Kernprozessen im Inneren der Sterne, die bei Supernova-Explosionen in den Weltraum geschleudert werden. (Wasserstoff und Helium sind größtenteils schon primär vorhanden.) Es ist noch unklar, ob die Beschleunigung in der Explosionsphase selbst, in den extrem starken Magnetfeldern von Neutronensternen als den Supernova-Resten oder in der Stoßwellenfront erfolgt, welch letztere nach dem katastrophalen Ereignis im Medium des interstellaren Raumes fortschreitet.

Das galaktische Magnetfeld speichert die Nuklide der kH etwa 10^7 Jahre lang, soferne die Energie 1 GeV/Nukleon nicht überschreitet. Die Kollisionen und Streuungen der Höhenstrahlteilchen an den Partikeln des interstellaren Gases erzeugen Fragmente der Primärteilchen und außerdem Photonen als **sekundäre** Komponente der kH.

Das solare und terrestrische Magnetfeld beeinflussen die kH. Erst Teilchen mit kinetischen Energien über zirka 10 GeV/Nukleon ändern ihr Verhalten dadurch kaum. Die Lufthülle der Erde absorbiert teilweise die kH, so daß nur die Beobachtung außerhalb der Erdatmosphäre oder zumindest in großen Höhen (von Ballons aus) ein unverfälschtes Bild vermittelt.

Die Häufigkeit der einzelnen chemischen Elemente in der kH ist für die Nuklide von H bis Fe im Energiebereich bis zu 1 GeV/Nukleon gut, bis zu 100 GeV/Nukleon mangelhaft und bei noch höheren Energien überhaupt nicht bekannt. Die beobachtbare Verteilung deckt sich mit der Elementarverteilung im Sonnensystem, nur Li, Be und B sind in der kH stärker vertreten. Diese drei Nuklide sind keine Endprodukte von Kernfusions-Ketten, sondern entstehen als Fragmente beim Zerbrechen (Spallation) von Kernen infolge des Zusammenstoßens mit den Partikeln des interstellaren Gases. Aus der Häufigkeit der Bruchstücke wird geschlossen, daß die 1-GeV-Teilchen der kH im Mittel eine Säule von 1 cm² Basisinhalt, die 7 g an interstellarer Materie enthält, durchfliegen müssen, um die nächste Kollision zu erleben. Man gibt daher die mittlere freie Weglänge λ nicht in Längeneinheiten, sondern in g/cm² an.

Ein weiterer Unterschied gegenüber der solaren Elementverteilung betrifft die Nuklide jenseits Fe, die in der kH erheblich seltener vertreten sind, wie aus den Messungen der Satelliten Ariel und HEAO 3 hervorgeht. Die Herkunft aus dem raschen Neutroneneinfang (r-Prozeß = rapid process) während Supernova-Explosionen ist nicht sehr wahrscheinlich. Erst die ultramassiven Kerne sind wieder ähnlich wie im Sonnensystem verteilt.

Da die Messungen im Einfallsgebiet und nicht im Quellgebiet der kH erfolgen, erhebt sich die wichtige Frage nach der Zusammensetzung im Quellbereich. Außerdem bestehen erst lückenhafte Kenntnisse der (energieabhängigen) Wirkungsquerschnitte der Partikeln.

Aus der Weglänge λ und der (ebenfalls mittleren) Dichte ϱ des interstellaren Gases ergibt sich die mittlere Lebensdauer τ der Höhenstrahlteilchen in unserer Galaxis mit zirka 10^6 Jahren. Aus dem Fehlen des Isotops ^{10}Be, dessen Halbwertzeit nur 1,5 Mio. Jahre beträgt, erhält man jedoch $\tau \approx 10^7$ Jahre. Das läßt die Erklärung zu, daß die Teilchen sehr unterschiedlich die von Gas erfüllten Teile der Milchstraße durchqueren, über die wir nicht Bescheid wissen. Vielleicht aber

auch ist der Halo, der die galaktische Scheibe umhüllt, dichter als angenommen wird.

Die Isotopenhäufigkeit ist eine wichtige Informationsquelle, die aber nur für kH-Teilchen niedriger Energie bekannt ist. Einige neutronenreiche Kerne sind häufiger als im Sonnensystem.

Der Teilchenfluß nimmt nach einem $E^{-2,7}$-Gesetz mit wachsender Energie ab, das bis jetzt nicht begründet werden kann. Auch ist das von uns aufgenommene Energiespektrum der kH sicher von im Quellgebiet geltenden verschieden. Aus dem relativ häufigen Auftreten der sekundären Nuklide Li, Be, B müßte die mittlere freie Weglänge $\lambda \approx 7$ g/cm² für Primärteilchen von 1 GeV/Nukleon auf 1 g/cm² für Partikeln von 100 GeV/Nukleon absinken. Das heißt, im Quellgebiet dürfte ein $E^{-2,2}$-Gesetz gelten. Vielleicht erfolgt die Spallation vorwiegend schon am Entstehungsort? Vielleicht stammen die hochenergetischen Teilchen aus der „Nähe" des Sonnensystems? Vielleicht sind Magnetfelder und Materie in einer Weise korreliert, die noch unbekannt ist?

Erst Messungen im TeV/Nukleon-Bereich könnten Antworten auf diese Fragen geben.

Elektronen kommen in der kH nur zu etwa 1 % vor. Aus ihren Energien folgt gleichfalls der Wert $\tau \approx 10^7$ Jahre, wie ihn die ^{10}Be-Messungen nahelegen. Die Lebensdauer der Elektronen ist durch ihren Energieverlust infolge der bei Streuungen auftretenden Bremsstrahlung beschränkt. Sie ist im TeV-Bereich mit 10^5 Jahren anzusetzen.

Entstehen die Elektronen zugleich mit den massiven Objekten der kH, wie werden sie beschleunigt? Die Positronen – sie machen für Energien bis zu 10 GeV etwa 10 % des Elektronenanteils aus – dürften sekundär aus p-p-Reaktionen hervorgehen. Könnte man diese Positronen bis zu TeV-Energien verfolgen, gäbe dies wertvolle Aufschlüsse.

Die kH zwischen 10^{14} und 10^{21} eV ist nur indirekt über die von ihr in der Atmosphäre ausgelösten Luftschauer erfaßbar. Vorläufig weiß man, daß diese Teilchen aus der Milchstraße entweichen können, daß mit steigender Energie die massiven Kerne „aussterben" und wohl nur Protonen übrigbleiben. Auch sind die Einfallsrichtungen anisotrop verteilt, Teilchen von $\approx 10^{19}$ eV scheinen vom galaktischen Nordpol zu kommen. Jegliche haltbare Interpretation steht noch aus. Deshalb strengt man sich an, messend in den TeV-Bereich vorzudringen.

Ziele der TeV-Forschung

Ihr oberstes Ziel ist die Ausdehnung zuverlässiger Messungen auf Energien von mehreren TeV/Nukleon, welche besonders die Häufigkeiten der einzelnen Nuklidarten und den Beschleunigungsvorgang aufklären sollen. Weiter erhofft man sich Auskunft über die Elementverteilung im Beschleunigungsraum. Das würde die Vergleichsmöglichkeiten mit den Verhältnissen im Sonnensystem entscheidend ausdehnen.

Es dürfte sich wohl auch herausstellen, ob u. a. relativ sonnennahe Quellen existieren und in welcher Weise deren Teilchen in der Milchstraße gespeichert werden. Ferner ist man darauf aus, die kosmische Primärstrahlung, welche in der Atmosphäre die Luftschauer erzeugt, quantitativ und geometrisch zu erkunden.

Schließlich werden neue Überraschungen erwartet, wie sie noch immer bei Vorstößen in bislang unerforschte Regionen aufgetreten sind.

Im Vordergrund der Anstrengungen, dies alles zu verwirklichen, stehen natürlich Beobachtungen in der Hochatmosphäre (Ballonaufstiege in 40 km Höhe, über der sich nur mehr 3 bis 5 g/cm² Luft befinden) und/oder solche außerhalb der Lufthülle (Satelliten auf Erdumlaufbahnen). Die letzteren sind zwar erheblich teurer, erlauben anderseits den Einsatz tonnenschwerer Meßgeräte und Langzeitbeobachtungen. (Ein Ballon vermag höchstens 1500 kg an Instrumenten zu tragen.)

Ebenso wichtig ist die Verbesserung der Meßgeräte. Die unter dem umständlichen Namen **„Übergangsstrahlungs-Detektor" (ÜD)** in der letzten Zeit entwickelten Geräte versprechen den Anforderungen zu genügen, die für die Erforschung des TeV-Bereichs gestellt werden. Übergangsstrahlung tritt erst dann für den Beobachter merklich in Erscheinung, wenn die Partikelenergie etwa das 1000fache Äquivalent der Ruhmasse der Teilchen beträgt, ihre Intensität wächst mit der Energie. Die ÜD haben trotz großer Flächenausdehnung relativ geringe Masse, ein großer Vorteil bei der Verwendung in Ballons und Satelliten.

Das Enrico-Fermi-Institut der Univ. Chicago baut derzeit ein Gerät, das die Häufigkeit der Elemente von Li (Z = 3) bis Fe (Z = 26) bis zu Energien von einigen TeV bestimmen soll. Es wird sich an Bord der Raumfähre befinden und ist folgendermaßen aufgebaut.

Zwei kongruente, plattenförmige, im Abstand von 1 m parallel angebrachte Plastik-Szintillatoren T_1, T_2 von je 2×2 m² Flächeninhalt messen a) die Kernladung des durchfliegenden Teilchens der kH sowie b) die Einfallsrichtung. Letztere ergibt sich aus dem Zeitunterschied der Signale und der Lage der getroffenen Flächenstelle in T_1 und T_2, die von Photovervielfachern registriert wird. Die obere Plastikplatte ist die Basis eines kuppelförmigen Hohlraums, der mit Ne und CO_2 gefüllt ist und als Gas-Cerenkov-Zähler C_1 arbeitet. Die gleiche, annähernd halbkugelförmige und mit demselben Gasgemisch gefüllte Kuppel unterhalb der unteren Plastikplatte ist der zweite Cerenkov-Zähler C_2 des Gerätes. 48 Photovervielfacher ermöglichen die Energiebestimmung im Bereich von 50 bis 200 GeV/Nukleon.

Der ÜD liegt zwischen T_1 und T_2. Er enthält 6 sogenannte Radiatoren aus Plastikfasern und 6 Proportionalkammern. Der ÜD mißt die Partikelenergien zwischen 0,5 und 3 TeV/Nukleon. Das ganze Gerät ist 3,7 m hoch und 2,7 m weit, wovon 2 m Weite auf den ÜD entfallen.

Übergangsstrahlung entsteht beim Übergang eines Teilchens von einem Dielektrikum in ein anderes, und zwar beim Durchfliegen der Grenzfläche. Die Stärke der Übergangsstrahlung ist in einem größeren Energieabschnitt zum Lorentzfaktor $\gamma = E/mc^2$ proportional (E, m = Energie bzw. Ruhmasse des Teilchens). Die Wahrscheinlichkeit für die Emission von Übergangsstrahlung beim Durchgang einer geladenen Partikel ist mit $\alpha = 1/137 = 0{,}0073$ gering. Der Einbau Hunderter dünner, paralleler Plastikfolien als **Radiatoren** vermehrt die Größe der wirksamen Grenzflächen und erhöht so die Signalrate ganz bedeutend.

Die in Betracht kommende Übergangsstrahlung besteht aus Röntgenquanten, die fast in der Flugrichtung der Höhenstrahlteilchen weiterfliegen. Der Winkel zur Bahnrichtung der kosmischen Teilchen beträgt etwa $1/\gamma$ rad.

Die Röntgenquanten in der Übergangsstrahlung registrieren eine Xe-Proportionalkammer, die in hohem Maße das Röntgenlicht absorbiert, trotzdem aber nur geringfügig ionisiert wird.

Die 6 Radiator-Detektoren zwischen T_1 und T_2 sind sandwichartig gelagert. Der Bau der Radiatoren aus sehr vielen dünnen Folien war technisch sehr schwierig auszuführen, das Problem wurde dennoch gut gemeistert.

Mit dem ersten Einsatz des ÜD im Raumtransporter ist frühestens Ende 1983 zu rechnen. Dank der langen Flugdauer des Raumtransporters, sie wird mit 1 bis 2 Wochen angesetzt, wird das Energiespektrum und die Elementverteilung in der kH bis zu 3 TeV/Nukleon gemessen werden können. Befindet sich hingegen einmal der ÜD an Bord eines Satelliten und verbleibt dort ein Jahr lang, dann wird sich der Bereich zuverlässiger Messungen bis zu 20 TeV/Nukleon erstrecken, d. s. insgesamt 10^{15} TeV bei Fe-Kernen.

Andere Geräte, sie sich erst im Vorbereitungsstadium befinden, sollen auch Protonen und Elektronen sehr hoher Energie zu untersuchen gestatten.

LITERATUR:
Phys. Bl., August 1981, S. 267, D. Müller, Die kosmische Strahlung im TeV-Bereich – ein unerforschtes Gebiet.

Kurznachrichten

Speicherring PETRA von DESY verbessert. Von Zeit zu Zeit werden Beschleunigungsanlagen und Speicherringe außer Betrieb gesetzt, um Reparaturen und Verbesserungen vorzunehmen. Der Speicherring PETRA von DESY, Hamburg, war im Winter 1980/81 stillgelegt, u. a. deshalb, weil man Maßnahmen zur Steigerung der **Luminosität** (d. i. ein Maß für die Anzahl der Elektron-Positron-Kollisionen im gemeinsamen Fokussierungsbereich der beiden gegeneinander laufenden Teilchenstrahlen) traf. Die Luminosität konnte im Dauerbetrieb auf das Dreifache, bei den Spitzenwerten gar um den Faktor 5 gegenüber den Werten vor dem Umbau gesteigert werden.

Je enger die Strahl-„taille" im Wechselwirkungspunkt ist, desto größer wird die Kollisionswahrscheinlichkeit. Um das zu erreichen, trachtet man, die dem Wechselwirkungspunkt nächste magnetische Fokussierungslinse möglichst nahe an

den Fokus heranzuschieben. Nun müssen aber auch die Detektoren im Raum zwischen Linse und dem Fokus Platz finden, was der ersten Forderung widerspricht. Dazu tritt die strahlaufweitende Wirkung der von den Detektoren erzeugten Magnetfelder. Also mußten zusätzliche Kompensationsspulen von konträrer Polarität gegenüber den Detektorfeldern untergebracht werden. Überlegungen und Vorversuche überzeugten, daß durch geeignete Polung der Detektorfelder diese selbst einander gegenseitig kompensieren können. Das gelang tatsächlich, und der Abstand Linse—Fokus verringerte sich von 7,5 auf 4,5 m. Ab Februar 1981 wird mit der verbesserten PETRA-Anlage und 17 GeV Arbeitsenergie wieder experimentiert. Alles läuft prächtig, nur die Strahlung des Störhintergrundes seitens der Felder der Fokussierungsmagnete wird noch nicht befriedigend beherrscht, vorläufig muß der Strahl öfter nachjustiert werden.

Nächstes Ziel: Die derzeitige Spitzenenergie von 18,3 GeV pro Strahl soll auf 20,5 GeV durch Inbetriebnahme weiterer Hochfrequenzsender im Beschleunigungssystem angehoben werden. Vielleicht taucht dann das top-Quark auf? (Lit.: AGF-Mitt., Juli 1981, Nr. 21, S. 6, Speicherring Petra erheblich verbessert.)

IPP-Bolometer spricht in Mikrosekunden auf Temperaturschwankungen von zirka 0,001° an. In den Plasmen der Kernfusionsforschung treten nur ein paar µs währende Strahlungen auf, erzeugt von den Streuvorgängen in den Plasmen. Diese Strahlung ist an sich sehr schwach, könnte aber bei Kenntnis ihrer Schwankungen wichtige Aufschlüsse über die Energieverhältnisse im Plasma geben.

Das IPP (Inst. f. Plasmaphysik) des MPI in Garching hat in mehrjähriger Forschungsarbeit ein Bolometer entwickelt, das imstande ist, Temperaturunterschiede vor nur 1 Milligrad binnen 5 µs zu registrieren. Durch Anbringen eines schlitzförmigen Lamellenkollimators wird nur jene Strahlung aufgenommen, die aus einem Kegelbereich von 5° Öffnungswinkel einlangt. Der Kollimator kann mittels Schwenkarms Strahlung aus jeder gewünschten Richtung anzeigen. Derzeit arbeitet ein Superbolometer in Garching, das sich aus 10 Einzelbolometern zusammensetzt und das einen Überblick über das simultane Geschehen in mehreren Richtungen erlaubt. Superbolometer mit 40 Einzelbolometern unterliegen bereits Testversuchen.

Der Aufbau des Bolometers: Die bestrahlte Fläche – eine Gold- oder Edelstahlfolie von 4 µm Stärke – hat 1 cm^2 Inhalt. Auf der Folie befindet sich eine noch dünnere isolierende Zwischenschicht, auf die Ge mit 1 µm Dicke aufgedampft ist. Darüber liegt eine weitere kammerartige Goldschicht, welche als Elektroden wirkt. Das Aufbringen erfolgt mittels Maske.

Die Strahlung erwärmt die Folie, was den elektrischen Widerstand der Ge-Schicht ändert. Die Änderung wird über die Elektroden gemessen, woraus die einfallende Strahlungsdosis hervorgeht.

Das Bolometer wird am europäischen Fusionsprojekt JET (**J**oint **E**uropean **T**orus) in Culham, Großbritannien, Verwendung finden. Einzelbereiche, in denen das Plasma instabil wird, sind nunmehr erfaßbar.

Auch in der Medizin verspricht das Bolometer für diagnostische Zwecke nützlich zu werden. (Lit.: AGF-Mitteilungen, Juli 1981, Nr. 21, S. 25, Kleine Energiemengen in kurzer Zeit meßbar.)

Großspulenexperiment LCT im Oak Ridge Nat. Lab. LCT = **L**arge **C**oil **T**ask, ein international durchgeführtes Experiment, mit dem die Verwendbarkeit großer supraleitender Spulen im Rahmen der Kernfusionsforschung geprüft wird. Sechs supraleitende Magnetspulen sind so angeordnet, daß das Plasma in ein torusförmiges Volumen eingeschlossen ist.

Jede Spule hat die Gestalt eines 6 m hohen, 4 m breiten und 1 m dicken Großbuchstabens D. Die Betriebstemperatur liegt nahe 0 K, die magnetische Feldstärke beträgt 8 Tesla = 80 000 Gauß und im Magnetfeld sind 100 MJ Energie gespeichert.

Am Bau der Spulen beteiligen sich die EG, Japan, die Schweiz und die USA. Die EG-Spule entwickelt das Kernforschungsinstitut Karlsruhe. (Lit.: AGF-Mitteilungen, Nr. 21, Juli 1981, S. 30, 7. Intern. Konf. f. Magnettechnologie vom 30. 3. bis 3. 4. 1981 in Karlsruhe.)

Bessere Solarzellen mittels Elektronenstrahlen. Die Wirkungsgrade der heute verwendeten Solarzellen übersteigen nie 20 %, betragen aber in der Praxis nur etwa 10 %. Maßgeblich dafür ist die Häufigkeit von Störstellen im Kristallgitter der Si-Einkristalle, welche die lichtempfindliche Oberflächenschicht der Zelle bilden.

Der Wirkungsgrad wird verbessert, wenn es gelingt, die Fehlstellen außerhalb der in der genauen Dosierung eingebauten Fremdatome auszuheilen. Dies geschieht durch geeignete Wärmebehandlung (Temperung) der Oberfläche, welche die Verteilung der Fremdatome nicht ändert. Aus diesem Grunde muß die Temperung in sehr kurzer Zeit erfolgen.

Man verspricht sich viel von gepulster Bestrahlung der Oberfläche mit Elektronen, deren Energie nur so groß sein darf, daß die Elekronen etwa 1 µm und nicht tiefer in den Halbleiter eindringen. Der Strahl muß ferner die gesamte Oberfäche treffen.

Das Inst. f. Angew. Kernphysik (IAK) des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK) baute einen Elektronenstrahl-Generator, den die Elektronen je nach Bedarf mit Energien von 10 bis 25 keV verlassen. Die Pulsdauer ist zirka 0,3 µs, die Stromdichte des Strahls 3 kA/cm^2. Der Halbleiter nimmt 0,3 bis 2,5 J/cm^2 auf. Der Strahldurchmesser liegt bei 5 cm.

Das IAK hat zwei Jahre lang an der Entwicklung des Generators gearbeitet und 80 000 DM investiert. Da die Erprobung des Verfahrens bei den Solarzellen positiv im Labor abgeschlossen ist, hat die Probefertigung der Solarzellen bereits begonnen. (Lit.: AGF-Mitteilungen, Nr. 21, Juli 1981, S. 34, Elektronenstrahlen verbessern die Wirtschaftlichkeit von Solarzellen.)

Resonanzen im Sonnensystem. Es ist kein Zufall, daß der **Mond** der **Erde** stets dieselbe Seite zuwendet, daß also seine Eigendrehdauer mit der Umlaufzeit um die Erde übereinstimmt. Die gegenseitige Gezeitenwirkung hat das im Laufe von Jahrmilliarden zuwege gebracht und es wird dereinst auch die Zeit kommen, da ein Erdentag ebenso lange sein wird wie ein Jahr.

Sieht man sich im Sonnensystem genauer um, dann trifft man noch auf andere Resonanzen, die in etwas komplizierteren Verhältnissen als dem 1 : 1-Verhältnis des Systems Erde—Mond ihren Ausdruck finden. Konkret:

a) Die Umlaufsdauern der Planeten **Neptun** und **Pluto** um die Sonne verhalten sich wie 2 : 3.
b) Für die Saturnmonde **Titan** und **Hyperion** beträgt das Verhältnis der Bahnperioden bezüglich Saturn 3 : 4.
c) Die Umlaufsdauern der drei innersten Galileischen Jupitermonde **Io, Europa** und **Ganymed** stehen im Verhältnis 1 : 2 : 4.

Man darf nicht glauben, diese Verhältnisse wären nur mehr oder weniger grobe Annäherungen an ganze Zahlen. Die beiden erstgenannten Verhältnisse stimmen auf drei, die letztgenannten gar auf sieben Stellen mit den angegebenen ganzzahligen Werten überein!

Die Resonanz der drei Jupitermonde war bereits Laplace bekannt, er wurde durch die Beobachtung darauf geführt, daß die Mittelpunkte von Io, Europa und Ganymed in periodischen Zeitabständen auf einer Geraden liegen, und zwar so, daß sich die zwei Monde auf der einen, der dritte auf der anderen Seite des Jupiters befinden. Das ist die sogenannte **Große Konjunktion der Jupitertrabanten.**

Es gibt derzeit verschiedene Hypothesen über das Zustandekommen der Resonanzen aus einem anfänglich willkürlichen Zustand mit willkürlichen Bahnperioden. Sie alle machen die Gezeitenreibung, hervorgerufen durch die gegenseitigen Gravitationseinflüsse, dafür verantwortlich. Die Hypothesen gründen sich auf langwierige Rechnungen über die dynamische Evolution solcher Mehrfachsysteme.

Insbesondere schlossen St. J. Peal (Univ. of Calif., St. Barbara), P. M. Cassen, R. T. Reynolds (beide Ames Res. Center der NASA) aus der errechneten Wärmeproduktion durch die Gezeitenströme im schmelzflüssigen Inneren von Io, daß dort, wo infolge der Gezeiten feste Materie der Kruste aufgeschmolzen wird und diese an solchen Stellen an Dicke einbüßt, Vulkanausbrüche durchaus denkbar sind. (Die Reibungswärme im Inneren von Io ist etwa dreimal größer als die gegenwärtige radioaktive Strahlung des Erdmondes!)

Drei Tage nach der Publikation des Peal-Teams in der Zeitschrift Science am 2. Mai 1979 über die Möglichkeit des Io-Vulkanismus sandte die Jupitersonde Voyager 1 die ersten Bilder mit 8 wahrnehmbaren, tätigen Io-Vulkanen zur Erde! (Lit.: Scient. Am., Juli 1981, S. 54, Resonant Explanations.)

$\gamma\gamma$-Streuung erzeugt Proton-Antiprotonpaare ($p\bar{p}$). Die Wechselwirkungen von Elektronen und Positronen bei der Kollision in Speicherringen spielt sich u. a. als inelastische Streuung ab, bei der ein Teil der kinetischen Energie in ein Photonpaar übergeht. Nun gelang einem Team deutscher, englischer, israelischer und US-Forscher am Speicherring PETRA von DESY, Hamburg, ein Experiment, das den Nachweis für die $p\bar{p}$-Produktion aus der Streuung dieser sekundären Photonen aneinander erbrachte. die zweistufige Reaktion lautet

$$e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \gamma\gamma \rightarrow e^+e^- + p\bar{p}.$$

Ohne auf die umfangreichen Maßnahmen zur Elimination aller denkbaren Störeinflüsse und falschen Ereignisvorspiegelungen einzugehen, sei nur erwähnt, daß der Versuch mit Hilfe des TASSO-Detektors ausgeführt und jedes Paar ($p\bar{p}$) durch Flugzeitmessungen als solches anerkannt wurde. Unter den 9017 nach dem Ausschalten bzw. Ausscheiden nicht interessierender Reaktionen verbleibenden Ereignissen befanden sich **8 echte $p\bar{p}$-Fälle.** Der mittlere Wirkungsquerschnitt für $\gamma\gamma \rightarrow p\bar{p}$ betrug im Energiebereich $2{,}0 \leqslant E \leqslant 2{,}6$ GeV

$\sigma = 4{,}5 \pm$ (1,6 statist. Fehler) $\pm$ (0,8 syst. F.) Nanobarn. (Lit.: DESY-Bericht 81-058. Sept. 1981, Tasso Collaboration, Exklusive Proton-Antiproton Production in Two Photon Collisions.)

Proton-Radioaktivität. Der spontane Zerfall instabiler Atomkerne ist fast ausschließlich mit der Emission von α-, β-, γ-Strahlen verbunden. Erst in der jüngsten Zeit wurden auch Protonen als Zerfallsprodukte festgestellt. Allerdings befand sich dabei der Mutterkern in einem energetisch angeregten Zustand, wie im Jahre 1970 ein Co-Isomer. Die Untersuchungen von sehr neutronenarmen Kernen mit dem Schwerionenbeschleuniger **UNILAC** der **GSI** (**G**es. f. **S**chwerionenforschung) in Darmstadt im Bereich von Gd bis Bi ergaben jüngst, daß das Isotop ^{151}Lu aus dem **Grundzustand** unter Emission von 1217 $\pm$ 5 keV-Protonen mit der Halbwertzeit von 85 $\pm$ 10 ms zerfällt. Derselbe Sachverhalt ergab sich bei ^{147}Tm, Halbwertzeit 0,420 $\pm$ 0,100 s, Energie 1040 $\pm$ 7 keV. (Lit.: CERN Courier, Okt. 1981, S. 357, Ground-state proton radioactivity.)

Proton-Zerfall gesichtet? In Zusammenarbeit japanischer und indischer Physiker läuft derzeit in den Kolar-Goldminen, Süd-Indien, 2300 m unter Tag, ein Experiment, das den allfälligen Zerfall des Protons nachzuweisen geeignet ist. Der Detektor hat 140 Tonnen Masse, enthält 1650 Proportionalzähler und ist gegen Myonen gut abgeschirmt (trotzdem registrierte er in 131 Tagen über 200 Myonen). Das Team glaubt nun, in **drei Fällen** Ereignisse beobachtet zu haben, die auf den Zerfall von je einem Proton hinweisen, obwohl die Forscher andere Ursachen nicht ausschließen. Man wird ja sehen! (Lit.: CERN Courier, Juli/August 1981, S. 253, Hunting the unstable proton.)

Einsamer Roter Riese. Im Gegensatz zu den bekannten Sternen, die stets einer Sterngruppe angehören, entdeckten die britischen Astronomen G. Gilmore, I. N. Reid den Roten Überriesen RG 0044-2958, der sich in zirka 8 Mio. Lj. Entfernung befinden dürfte (3facher Abstand des Andromedanebels!) und der von der ihm nächsten Galaxie an die 600 000 Lj. entfernt zu sein scheint. Es ist höchst unwahrscheinlich, daß ein solches Ungetüm einsam und verlassen im Weltall seine Wege zieht. Falls sich der Stern aus einer Galaxie „verlaufen" hätte, müßte dies mit 6000 km/s geschehen sein, das ist doch ein bißchen viel! Vermutlich ist er der hellste Stern einer Zwerggalaxie, die von der Erde aus nicht wahrnehmbar ist und die zur Zeit des Abgangs des von uns gesehenen Sternlichtes vorwiegend nur Rote Zwerge enthielt und so zu lichtschwach ist, um bemerkt zu werden. (Lit.: Sterne u. W., Okt. 1981, S. 374, Der einsame Rote Riese.)

27 % Sternflecken auf II Pegasi. Der veränderliche Doppelstern hat die Periode 6,7 Tage. Die rote Balmer-α-Linie des Wasserstoffs (in Emission) verändert ihre Stärke von Tag zu Tag in gewisser Korrelation mit der Umlaufperiode des Binärsystems. Der Stern ist sowohl Radio- wie Röntgenquelle. Die Analyse der Lichtkurve und der Spektrallinien zwingen zur Annahme, daß etwa 27 % der Oberfläche von Sternflekken, analog den Sonnenflecken, bedeckt sind. Ein abrupter Wechsel im Verlauf der Lichtkurve zwischen 1977 und 1979 deutet auf das Erscheinen einer zweiten Fleckengruppe hin. Die Flecken hatten bis 1977 3500 K, die übrige Oberfläche jedoch 4700 K. Zwischen 1974 und 1977 gab es offenbar nur eine große Fleckengruppe. Der eine Partner hat den Radius $\approx$ 1,5 Mio. km, der andere wurde noch nicht entdeckt. (Lit.: Sky and Tel., Sept. 1981, S. 204, II Pegasi: 27 Percent Starspots.)

Dritter Mond des Neptun. Neben den beiden Neptunmonden Triton und Nereide scheint nun noch ein dritter (und vielleicht sogar ein vierter?) zu existieren. Am 24. Mai 1981 beobachteten vier Astronomen mit den 1,5-m- bzw. 1-m-Teleskopen von Catalina und dem Mt. Lemmon in Arizona den extrem knappen Vorbeigang Neptuns an einem Stern im Ophiuchus. Obwohl der Stern nicht von Neptun bedeckt wurde, konstatierten beide Teams während 8,2 $\pm$ 0,3 s ein Absinken der scheinbaren Helligkeit des Sterns. Da sich die Helligkeitsminderung nicht wiederholte, ist ein Ring um Neptun als Ursache auszuschließen. Trotz genauer Überlegung kennt man keine anderen Ursachen. Also dürfte die Erscheinung auf die kurzfristige Anwesenheit eines dritten Neptunmondes in der Sehlinie zurückgehen. Er hätte gut 180 km Durchmesser und zirka 50 000 km Abstand von Neptun.

Am 21. August 1980 sah man analog am Mt. Stromlo-Obs., Australien, eine 1,5 s dauernde Helligkeitsabnahme. Die könnte von einem Objekt in 37 000 km Neptunabstand stammen. Aber das alles ist noch ziemlich vage. (Lit.: Sky and Tel., Okt. 1981, S. 317, Neptune's Third Satellite.)

Mehr über die Uranusringe. Am 15. 8. 1980 beobachteten Elliot et al. vom chilenischen Cerro-Tololo-Observatorium eine neuerliche Sternbedeckung durch Uranus. Dabei traten genauere Strukturdetails zutage, weil die untersuchte Wellenlänge mit 2,2 µm dem IR-Bereich angehörte. Die Verdunklung durch den α-Ring wurde kurz unterbrochen, was auf einen Doppelring oder eine noch kompliziertere Struktur schließen läßt, wie sie der ε-Ring zu haben scheint. Auch der η-Ring ist ein Doppelring, und zwar ein 60 km breites Band mit einer weniger durchsichtigen inneren Randzone. Infolge der Bahnbewegung des Uranus ändert sich der Anblick der Ringe von der Erde aus täglich um 4°. Das ermöglicht die Berechnung genauerer Daten: η, γ, δ sind fast kreisförmig, die 6 anderen stärker elliptisch, aber nicht mehr als die Erdbahn. Die Bahnneigungen der Ringe gegen den Äquator von Uranus sind kleiner als 2°30'. (Lit.: Sky and Tel., Nov. 1981, S. 418, More on the Rings of Uranus.)

Krupp baute einen 800-t-„Waggon". Die Beförderung von großen Transformatoren, Generatoren usw. auf der Schiene stellt die Bahnverwaltungen vor schwierige Probleme. Der Straßentransport ist in solchen Fällen unmöglich. Die USA ließen von der Fa. Krupp einen Tragschnabelwagen für solche Zwecke bauen. Mit 90 m Länge, 807 t Tragfähigkeit und 36 Achsen ist er zudem breiter und höher als gewöhnliche Schienenfahrzeuge. Der Wagen ist waagrecht und lotrecht verschiebbar, um Hindernisse bewältigen zu können. Beim Beladen (auch zwischen den Gleisen) kann die Last bis zu 45° schräggestellt werden, ohne zu kippen. (Lit.: 1. Krupp-Inf., 11. 3. 1981; 2. Umschau i. W. u. T., 15. 4. 1981, S. 252, Größtes Schienenfahrzeug trägt über 800 t.)

Aerogel mit Brechungsindex 1,017. Je näher die Teilchengeschwindigkeiten c kommen, desto schwerer ist die v-Messung in Cerenkov-Zählern, weil das Medium einen Brechungsindex nahe 1 haben muß, soll der Effekt überhaupt auftreten. DESY hat nun ein Gemisch von Orthokieselsäure und Luft entwickelt, das mit n = 1,017 die gewünschte Eigenschaft besitzt. Ohne Aerogel müßten hochkomprimierte Gase als Medium dienen, das die Cerenkov-Zähler plump und schwer macht. Aerogel anderer Art wurde schon vor Jahren bei Desy erfunden und verwendet. (Lit.: DESY-Berichte 81-055, Sept. 1981, Preparation of Silica Aerogel for Cerenkov Counters.)

0,1-ps-Lichtpulse. In den Bell Tel. Labs. haben R. Fork, B. Greene und Ch. Shank mit einem organischen Farbstoff-Laser Lichtpulse von nur 10^{-13} s Dauer, also Wellenzüge von 0,03 mm Länge, erzeugt. Der Laserstrahl wurde in zwei Teilstrahlen zerlegt, die das Gerät in entgegengesetzten Richtungen verließen und auf einem durch Spiegel und Linsen erzwungenen Rundpfad zur frontalen Begegnung gebracht wurden Jeder Teilstrahl setzte sich aus 10^8 Einzelpulsen je Sekunde zusammen. Am Kollisionsort der gegenläufigen Teilstrahlen befand sich eine mit Farbstoff gefüllte Absorptionszelle, deren Dicke mit 0,05 mm kleiner als die Weite der Pulswellenzüge war. Da die Zelle das Interferenzgebiet einschloß, in dem sehr hohe Lichtintensität herrscht, wurde

der Farbstoff infolge der Energieabsorption gebleicht, ohne daß dazu die gesamte Energie verbraucht wurde. Das heißt, das Bleichen erfolgte nur in den Randzonen der Zelle, so daß die verbliebene Pulslänge auf die Zentralregion der Zelle beschränkt war. Als Ergebnis verließen die kürzesten, je gemessenen Lichtimpulse die Zelle nach der Begegnung.

Die Bedeutung des Experimentes liegt weniger in der erzielten Rekorddauer, sondern vor allem darin, daß man mit solchen Kurzpulsen Moleküle in extrem kurzlebige Anregungszustände übergehen lassen kann, wobei die Anregungspulse selbst zur Messung der Relaxationszeiten der betreffenden Zustände verwendet werden können, welch letztere für andere Meßmethoden unzugänglich sind. (Lit.: Appl. Phys. Lett., 1. 5. 1981; News Release, Am. Inst. of Phys.)

Optischer Schalter durch Selbstfokussierung eines Laserstrahls. Wenn das elektrische Feld, das in dem vom Laserlicht erfüllten Raumgebiet genügend hoch ist, dann verändert es die Anordnung der Atome, die der Strahl beim Durchgang durch das Medium trifft, und damit auch den lokalen Brechindex des Materials. In gewissen Fällen bewirkt dies die Fokussierung des Laserlichtes, ein Vorgang, den man als **Selbstfokussierung** bezeichnet. J. Bjorkholm, P. W. Smith, W. J. Tomlinson (Bell Labs., Holmdel, N. J.) und A. E. Kaplan (MIT) machten davon Gebrauch und entwickelten einen optischen Schalter.

Eine mit Na-Dampf gefüllte, 20 cm lange Zelle wird von einem Strahl aus einem Farbstoff-Laser durchquert. In der laserfernen Endwand der Zelle befindet sich eine kleine Öffnung mit einem teilweise versilberten Spiegel. Hat das Laserlicht genügend hohe Intensität, dann verengt sich der Strahl infolge der eintretenden Selbstfkussierung auf den Querschnitt der Öffnung, kann also durch sie treten und auf den Spiegel fallen. Von dort wird der Strahl teilweise in die Zelle zurückgeworfen und hält dort die erfoderliche Strahlintensität aufrecht. Das heißt, die Zelle läßt das Laserlicht bis auf den vom Spiegel reflektierten Anteil durchtreten.

Fällt aber die Stärke der Laserstrahlung unter einen kritischen Wert, dann hört die Selbstfokussierung auf, der Strahl verfehlt die Öffnung und der Schalter ist geschlossen. Es ist zu erwarten, daß diese Art eines optischen Schalters in Wettbewerb mit den elektronischen Schaltern treten wird. (Lit.: News Release, Am. Inst. of Phys., 28. Juli 1981.)

Xaser, der Röntgen-Laser. Um es gleich vorwegzunehmen, noch darf die kohärente Ausstrahlung von Röntgenwellen nicht als verwirklicht betrachtet werden! Zwar wird gemunkelt, am LLL (Lawrence Livermore National Laboratory) sei dies geglückt, jegliche Bestätigung seitens des LLL fehlt jedoch.

Die Konstruktion von **Xasern** (= **X**-ray **a**mplifikation by **s**timulated **e**mission of **r**adiation) würde einen großen Fortschritt in der Analyse der Mikrostrukturen in der Welt der Biologie, der Chemie, der Metallurgie usw. bedeuten. Denn je kleiner die Wellenlänge der analysierenden Strahlung ist, desto höher fällt das Auflösungsvermögen der mit ihr arbeitenden Geräte aus. Mit Wellenlängen von Nanometern könnten beispielsweise Makromoleküle sichtbar gemacht, Oberflächen auf feinste Einzelheiten untersucht und die biologischen Erscheinungen bis hinab zu ihren molekularen Wurzeln verfolgt werden. Die Möglichkeit des Sichtbarwerdens für das menschliche Auge gründet sich auf die Holographie. Man fertigt ein Hologramm in der üblichen Weise aber mit Röntgenstrahlen her, führt die Bildrekonstruktion durch Anstrahlen des Hologramms mit sichtbarem Laserlicht aus und betrachtet – zwecks weiterer Vergrößerung im Mikroskop – das Bild aus der Welt des Kleinsten. Da solcherart gewonnene Bilder dem Betrachter **räumlich** erscheinen, während die mit konventionellen Mitteln gewonnenen Vergrößerungen nur zweidimensionale Projektionen der dreidimensionalen Wirklichkeit sind, könnte der Xaser Aufklärungen geben, die ansonsten – wenn überhaupt – nur nach mühevoller und langwieriger Untersuchung zur Verfügung stünden.

Eine der größte Schwierigkeiten im Röntgenbereich besteht darin, daß kein Material als Spiegel für Röntgenlicht existiert. Das Hin- und Herlaufen der Lichtwellen im Lasermedium zwischen den verspiegelten Enden ist aber eine wichtige Voraussetzung für das Ausbilden einer Besetzungsinversion, deren Zusammenbruch als schlagartige, kohärente Rückkehr in den Grundzustand den Strahlungspuls auslöst.

Die erste Quelle kohärenter Stahlung der betrachteten Art war der **Maser,** der mit Mikrowellen arbeitete. Im Jahre 1960 folgte der **Laser,** der sichtbares Licht aussendet. Eine Gruppe englischer Physiker der Universität Hull vermochte sogar Andeutungen von Laseraktion im fernen UV festzustellen, und zwar mit 18,2-nm-Wellen, die zirka 20mal kürzer sind als die Strahlung am kurzwelligen Ende des optischen Spektrums. Die Hull-Gruppe operiert folgendermaßen.

Pulse intensiver Mikrowellen aus einem Maser bringen Kohlenstoffasern zum Verdampfen. Das so entstehende C-Plasma ist fünffach ionisiert. Bei seiner Expansion neutralisiert es sich durch Elektroneneinfang unter Emission der 18,2-nm-Wellen. In Richtung der Faserachse stellte das Team eine Verstärkung der UV-Strahlung fest. Es ist anzunehmen, daß die weitere Forschung zu einem brauchbaren UV-Laser führen könnte.

Soweit den Xaser-Gerüchten zu trauen ist, arbeitet der angeblich am LLL konzipierte Xaser durch die notwendigerweise sehr hohe (mit anderen Mitteln nicht erreichbare) Pumpenergie einer kleineren Kernexplosion. Sollte das stimmen, dürfte es noch lange dauern, bis der Xaser Eingang in den technischen Alltag findet, nicht zu reden von einer Massenproduktion solcher Geräte! Kostenfrage, Immobilität und Gefährlichkeit der auftretenden ionisierenden Strahlung verleihen derartigen Xasern nur die Realität einer bestenfalls sehr fernen Vision! (Lit.: Scient. Am., Okt. 1981, S. 110, Xaser Beam.)

Miniaturisierte Maschinen. Die Miniaturisierung, die in der Elektronik weltweite Anwendung findet, macht neuerlich auch vor Geräten nicht halt, deren Aufgaben in den Bereich dessen fallen, was man, etwas unpräzise, mit dem Ausdruck „Maschinenarbeit" zu bezeichnen pflegt. Sowohl Forschungsstätten als auch Industriebetriebe beschäftigen sich ernsthaft mit solchen Problemen und das nicht vergeblich, wie aus den nachstehend angeführten Beispielen hervorgeht. Der Schwerpunkt dieser Entwicklungstätigkeit liegt derzeit besonders auf den Gebieten der Medizin, der industriellen Fertigung und des Kraftfahrzeugwesens. Vorläufig ist die Rolle der neuen Mikrogeräte hauptsächlich auf Sensoren und Trigger beschränkt, die als Verbindungsglieder zwischen Mikro- (Elektronik) und Makrokomponenten von Maschinen dienen.

Als erstes Beispiel wäre ein **Beschleunigungsmesser (Akzelerator)** zu nennen. Ein winziger Waagebalken, geätzt in Silicium, trägt auf einem winzigen Si-Plättchen ein Gewicht und gibt die Geschwindigkeitsänderung im Laufe der Beobachtung in Form elektrischer Signale weiter. Der Meßbereich erstreckt sich von 0,1 m/s^2 bis 500 m/s^2. Ein derartiges Gerät in der Kleinstausführung wurde an der Stanford Universität im Integrated Circuits Lab. gebaut. Es gestattet, die **Bewegung der Herzwände** zu überwachen und festzustellen.

Am IBM-Research Lab. in San José, Kalifornien, stellt man ähnliche hebelartige Geräte her. Sie dienen als elektromechanische **Relais,** als Torsionsbalken mit aufgebrachten Spiegeln für **Lichtzeiger** und **-modulatoren** u. ä.

Eine weitere Anwendung: Eine dünne Si-Membran bedeckt einen in Si geätzten, mit Tinte gefüllten Hohlraum und kann als Mikropumpe eingesetzt werden. Durch Anlegen von Spannung wird nämlich die Membran bewegt und bewirkt dabei das Ausspritzen von Tinte durch eine kleine Düse. Bei IBM wird so Tinte für einen **Tintenstrahl-Drucker** gefördert. Natürlich sind solche Geräte auch als **Druck-Sensoren** benützbar.

An der Stanford Universität wurde ein **Gas-Chromatograph** in Miniaturausführung gebaut. Eine 5 cm weite Si-Platte enthält je einen Kanal für die Gaszufuhr und das Trägergas, die Mischklappe, eine schraubenförmige, 1,5 m lange (!) Kapillare und den Detektorkanal. Kombiniert mit einem Detektor zur Messung der Wärmeleitfähigkeit, der auf der Si-Platte sitzt, ist das Gerät imstande, **binnen 10 Sekunden** aus dem zugeführten Gasgemisch dessen einzelne Komponenten abzutrennen. Ein Mikro-Computer auf einem eigenen Chip stellt das Analyseergebnis fest, das mittels flüssigem Kristall abzulesen ist.

Diese „Mikromaschine" ist zum Beispiel in der Lage, die Luftgüte rasch und an beliebigen Orten zu bestimmen, aber auch im Zuge von Raummissionen den chemischen Aufbau der Gashüllen anderer Himmelskörper zu ergründen. (Lit.: Scient. Am., Juni 1981, S. 88, Micromachines.)

Zur Spiegelung von Röntgenstrahlen. Das Vordringen der astronomischen Forschung in den Röntgenbereich ist durch die Beobachtung der Himmelskörper aus Positionen außerhalb der irdischen Lufthülle möglich geworden. Dazu benötigt man Röntgenteleskope. Das bereitet Schwierigkeiten, weil sich Röntgenstrahlen im Gegensatz zum Licht weder reflektiv noch refraktiv steuern lassen. Also nützt man die Totalreflexion an schwach gekrümmten Flächen aus, was aber nur bei streifendem Einfall gelingt. Ein anderer Weg zur Fokussierung von Röntgenlicht stützt sich auf die Fresnelschen Zonenplatten. Beide Methoden wurden und werden erfolgreich eingesetzt, stellen aber an die Genauigkeit der Gerätebauer extreme Anforderungen. Außerdem rangieren die Ergebnisse dieser Abbildungsverfahren weit hinter den Resultaten der optischen und der Radioteleskope.

Verständlich, daß trotz der äußerst geringen Erfolgschancen Forschungsgruppen darangingen, Mittel und Wege zu suchen, Röntgenlicht in wesentlich stärkerem Ausmaße von spiegelnden Flächen zurückzuwerfen. Die Zeitschrift App. Phys. Lett., Bd. 37 (1980), Nr. 11, brachte einen Bericht einer IBM-Gruppe, die in der geschilderten Richtung tätig war (und es noch weiterhin ist) und beachtliche Fortschritte auf diesem mühevollen Weg meldete.

Die Überprüfung der von der Gruppe entwickelten Spiegel im US Nat. Bureau of Standards sowie bei DESY, Hamburg, ergab, daß normal zur Spiegelfläche einfallendes Röntgenlicht zu 10 % reflektiert wird. Das bemerkenswerte Ergebnis erzielte die Gruppe nicht, weil sie eine Wundersubstanz entdeckt hatte, sondern weil sie – natürlich durch Verwendung geeigneter Stoffe – die Spiegelwirkung durch das Aufbringen von einigen hundert hauchdünnen Schichten erzielte, die für Röntgenwellen abwechselnd durchsichtig und undurchsichtig sind. Die oben erwähnten Testmessungen erfolgten für Röntgenstrahlen aus dem Wellenlängenabschnitt zwischen 4,5 nm und 20 nm. Gegenüber einlagig beschichteten Spiegelflächen war die Reflektivität der mehrfach und alternativ beschichteten Flächen ungefähr 1000mal besser.

In Prinzip darf bei nahezu senkrechtem Einfall mit 30 %iger Reflektivität (für weiche Strahlung) gerechnet werden, so daß, da sich die Entwicklung erst im Anfangsstadium befindet, mit der Annäherung an den Traumwert 30 % gerechnet werden darf. Sobald röntgenreflektierende sphärische Flächen zur Verfügung stehen werden, werden Röntgenmikroskope mit dem Auflösungsvermögen von 20 nm erlauben, die kleinsten biologischen Strukturelemente lebender Organismen in ihremWechselspiel zu verfolgen. In der Synchrotronstrahlung steht eine effiziente Quelle für Röntgenlicht zur Verfügung (HASY-Lab von DESY!), und die elektronische Umwandlung des Röntgenbildes in ein äquiformes, optisch wahrnehmbares Muster ist problemlos. Röntgen-Rastermikroskope könnten dann ihre Tätigkeit aufnehmen um in derzeit fast unzugänglichen Gebiet zwischen den besten optischen Geräten (Auflösung höchstens 200 nm) und den Elektronenmikroskopen (Auflösung bis zu 1 nm) arbeiten. Der apparative wie auch der finanzielle Aufwand für Röntgenmikroskope wäre um etliche Größenordnungen geringer als bei Elektronenmikroskopen. Außerdem entfiele die umständliche Objektaufbereitung, die bei Elektronenmikroskopen der Beobachtung voranzugehen hat.

Die Materialerkundung des IBM-Teams ergab, daß bei weicher Strahlung C und B einen guten transparenten, Legierungen von Re und W, aber auch von Au und Pd einen brauchbaren opaken Belag abgeben. Die Gesamtdicke einer Doppelschicht von transparentem und opakem Material muß $\lambda/2$ der Röntgenstrahlung betragen. Angesichts der kleinen Röntgenwellenlängen stehen die Schwierigkeiten bei der Herstellung des Belags-Sandwich im Vordergrund. Die Schichtdicken müssen nämlich ungemein gleichmäßig, die Oberflächen in hohem Maße glatt sein. So beträgt die Tolranz bezüglich der Glattheit der Grenzbereiche zwischen sukzessiven Lagen $\lambda/20$! Für $\lambda = 5$ nm ist das die Größe von Atomdurchmessern. Das Problem wurde mittels Überwachung und Steuerung des Herstellungsvorganges durch ein eigenes, mit weicher Röntgenstrahlung arbeitendes System überwunden. So waren 200 Lagen mit 0,5 nm Gesamtabweichung erzielt worden.

Die störende Wirkung der Oberflächenrauhigkeit der Glasunterlage für die Beschichtung konnte durch das Aufbringen möglichst vieler Lagen auf ein erträgliches Maß reduziert werden. (Lit.: Phys. Bl., Nov. 1981, S. 349, Neue Röntgenspiegel mit verbesserter Reflexion.)

Buchbesprechungen

P. Fuchs, Kl.-P. Haupt, H. H. Loose, Astronomie IV – Praktikum mit 15 Versuchsaufgaben. Klett-Studienbücher, Stuttgart 1981. 96 S.

Zu den drei Bänden **Astronomie I, II, III** von Giese, Gondolasch, Groschopf, Heinke und Zimmermann (sie wurden in den Nrn. 49, 53 der „Wiss. Nachr." besprochen) ist nun ein vierter Band erschienen, in dem **15 praktische Versuche** aus der optischen Astronomie für alle Sternfreunde, die den Himmel selbst beobachten wollen, insbesondere für Schüler, ausführlich erörtert sind, nämlich: 1. Sternbilder und Beobachtungsobjekte. 2. Brennweitenbestimmung. 3. Bestimmung der Erdmasse. 4. Durchmesserbestimmungen von Mondkratern. 5. Bestimmung der Entfernung Venus–Sonne. 6. Das dritte Keplersche Gesetz. 7. Bestimmung von Solarkonstanten und Sonnentemperatur. 8. Die Häufigkeit der Sonnenflecken. 9. Bestimmung der Sonnenrotation. 10. Das Wasserstoffspektrum. 11. Klassifikation von Sternspektren. 12. Helligkeitsbestimmung von Sternen. 13. Entfernungsbestimungen eines offenen Sternhaufens. 14. Bedeckungsveränderliche. 15. Rotation und Masse der Andromeda-Galaxie. – Literaturhinweise. – 56 Abbildungen und 8 Tabellen ergänzen den Text.

Das Buch ist hervorragend geeignet, die Freude an praktischer astronomischer Betätigung zu wecken bzw. zu erhöhen. Die vielen klaren, didaktisch gut aufbereiteten Anleitungen und Ratschläge leisten dem Sternfreund beim Wechsel vom Schreibtisch und Buch zum realen Sternfeld wertvolle Hilfe. Die Verfasser zeigen dem Lehrer einen gut gangbaren Weg, die Schüler zur Eigentätigkeit zu veranlassen und dabei tatkräftig zu unterstützen, eine Gelegenheit, die nicht ungenützt bleiben sollte!

Insbesondere wird empfohlen, **dieses Buch als Grundlage für einen Lehrgang im Wahlpflichtfach Physik zu verwenden!**

Walter Kranzer

Freeman Dyson, Innere Ansichten – Erinnerungen in die Zukunft. Birkhäuser-Verlag, Basel – Boston – Stuttgart, 1981. I + 286 Seiten, gbd. sfr 36,–

Dyson, ein namhafter Astrophysiker und Mathematiker, hat mit den „Inneren Ansichten" ein Buch verfaßt, von dem sich der Leser, hat er es einmal begonnen, nur schwer losreißen kann. Der eigenartige Reiz des Werkes besteht darin, daß die das gesamte Werk durchziehenden autobiographischen Skizzen das Substrat abgeben, das Fragen trägt, welche die ganze Menschheit, ihre vergangene und künftige Entwicklung zutiefst berühren.

In vollendeter Sprache spannt Dyson den Bogen vom Persönlichen zum Allgemeinen. Dies zum Teil in der bestechenden Formulierung des maßgeblichen Wissenschaftlers, zum Teil in symbolhafter Verknüpfung, zum Teil aber auch in Visionen, welche die zarte Sprache dichterischer Inspiration gebrauchen.

Der Leser lernt Persönlichkeiten, wie Oppenheimer, Bethe, Teller, Schwinger, Feynman, von Neumann, Bohr, Fermi, um nur die wichtigsten zu nennen, größtenteils in einer aus persönlichen Kontakten gespeisten Darstellung oder aus deren Reden, Schriften, Arbeiten in einer Weise kennen, die stets den Menschen wesensgetreu zu zeichnen bemüht ist, wobei auch an kritischen Bemerkungen nicht gespart wird.

Für jeden, der sich mit politischer Bildung, sei es als Autor, sei es als Lehrer, zu beschäftigen hat, ist das Buch eine reiche Fundgrube treffender Analysen aktueller Probleme, aber auch wichtiger, die Menschheit betreffender vergangener Entscheidungen. Abrüstung, Offensiv- und Defensivwaffen, nukleare Rüstung und Kernenergie, die Verantwortung des Forschers wie auch des Politikers, aufschlußreiche Berichte über die stattgehabten Verhandlungen u. v. a. werden eingehend, kritisch und wohltuend sachlich in ihrer Problematik behandelt, besonders natürlich das Geschehen in den vergangenen Jahrzehnten. Immer wieder merkt der Leser das Engagement des Autors, zur Vermeidung globaler wie lokaler Katastrophen beizutragen und hört, wie dieses Bemühen das Leben des Forschers durchzieht, dem das Urteil des eigenen sittlichen Gewissens maßgeblich Richtschnur für sein Tun und Denken, nicht nur leeres Lippenbekenntnis, war und ist!

Überflüssig zu sagen, daß die sachliche Argumentation des Physikers, wenn auch oft verpackt in das Kleid der Poesie, die Szene beherrscht. Die bedeutenden wissenschaftlichen Leistungen des Autors bleiben im Hintergrund, werden nur gelegentlich wie beiläufig angedeutet, sobald dies für die Argumentation unerläßlich ist.

Der letzte Teil des Werkes enthält aus dem heutigen Wissensstand hervorragende Ahnungen, wie das Leben, das bereits in grauer Vorzeit die Schritte aus dem Wasser ans Land und vom Land in die Luft vollzogen hat, in naher oder ferner Zukunft (geologisch gesehen) den letzten Schritt in das Milieu des kosmischen Vakuums tun könnte.

Bei allen passenden Gelegenheiten zitiert Dyson Männer der Weltliteratur, oft und oft in ihren Dichtungen, jeweils das Thema in der Sprache des Lyrikers überhöhend. Doch besser als es der Rezensent vermag, läßt sich in den nachstehenden Zitaten des Autors dessen Absichten und ethische Haltung erkennen:

S. 13: „Ich möchte in diesem Buch versuchen, einem Nichtwissenschaftler zu erklären, wie ein Wissenschaftler die Lage der Menschheit sieht. Ich möchte eine Innenansicht des Wissenschaftlers vermitteln, die Zukunft der Technik diskutieren und mich zum Schluß ethischen Fragen, wie Krieg und Frieden, Freiheit und Verantwortung, Hoffnung und Verzweiflung, auseinandersetzen, soweit jene von der Wissenschaft berührt werden."

S. 115 (zur Nutzung der Kernenergie): „Die Abenteurer, die Experimentatoren, die Erfinder wurden hinausgedrängt, und die Finanzexperten und Manager übernahmen die Kontrolle . . . Der Geist des kleinen Schulhauses (in dem die Entwicklung begann, Anm. des Rezensenten) ist tot, und darin liegt es meiner Ansicht nach, daß die Entwicklung der Atomkraft in die Irre ging."

S. 206: „Daher kommt meine Zukunftsbesessenheit und sie ist mir geblieben. Der dritte Teil des Buches befaßt sich mit dieser Besessenheit. Nach England und Amerika ist die Zukunft meine dritte Heimat."

S. 265: „Ich bin also der Meinung, daß unser Bewußtsein nicht nur eine passive, durch die chemischen Vorgänge in unserem Gehirn vorangetriebene Begleiterscheinung ist, sondern ein aktives Agens, das die Molekularkomplexe zwingt, zwischen den Quantenzuständen zu wählen."

Als Anhang gibt es zu jedem Kapitel wertvolle bibliographische Hinweise.

Walter Kranzer

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

Weltentwicklungsbericht 1981

Der im Rahmen einer jährlich erscheinenden Publikation von der Weltbank in Washington herausgegebene **Weltentwicklungsbericht** (1981 zum vierten Mal) untersucht Schlüsselfragen der internationalen Wirtschaftsentwicklung. Im Mittelpunkt des Berichtes 1981 stehen Trends und Aussichten in den Bereichen Außenhandel, Energie und Kapitalbewegungen bzw. die Auswirkungen auf die Länder der Dritten Welt. In zwölf Fallstudien wird die Situation dieser Staaten analysiert. Aus den Schlußfolgerungen geht eindeutig hervor, daß die Länder mir niedrigem Einkommen bei ihrer Anpassung nur über begrenzte Optionen und ein geringes Maß an Flexibilität verfügen, sodaß sie noch über Jahrzehnte hinweg auf beträchtliche Entwicklungshilfeleistungen angewiesen werden sein. Wie in den vorangegangenen Berichten enthält auch der von 1981 wiederum die **Kennzahlen der Weltentwicklung,** die in tabellarischer Form soziale und wirtschaftliche Daten für mehr als hundert Länder wiedergeben.

Der in der Bundesrepublik im *Fritz Knapp Verlag* herausgekommene Weltentwicklungsbericht kann in Österreich über Gerold (Wien, Graben) zum Preis von S 145,– bezogen werden und sollte in keiner Schule fehlen. Wir bringen im folgenden einen kurzen Auszug aus einer Fallstudie über **Indien** sowie einige Kennzahlen dieses Staates*).

Im Zeitraum 1964 bis 1973 wuchs das BSP des Landes um durchschnittlich 3,4 Prozent pro Jahr, trotz des scharfen Ansteigens der Ölpreise beschleunigte sich diese Zuwachsrate im Zeitraum 1974 bis 1979 auf jährlich 4,3 Prozent. Dieser Erfolg ist sowohl auf kurzfristige als auch auf langfristige Faktoren zurückzuführen.

Die bei weitem ausgeprägtesten Veränderungen verzeichnete die **Landwirtschaft.** In den vergangenen vier Jahren hat Indien kaum noch Getreide eingeführt und seine Getreidebestände auf ein Rekordniveau erhöht. Hierdurch gelang es dem Land, die Folgen einer schweren Dürre im Jahr 1979 ohne Rückgriff auf umfangreiche Getreideimporte zu überwinden. In den siebziger Jahren stieg die gesamte Getreideproduktion im Jahresdurchschnitt um fast 3 Prozent, während die Bevölkerungsanzahl jährlich um 2,2 Prozent zunahm.

Obgleich die Landwirtschaft nach wie vor stark von der Witterung beeinflußt wird, hat der stärkere Einsatz der Bewässerung und moderner Anbaumethoden zu beständigeren Ernteerträgen geführt. Zu den größten Veränderungen im Weizenanbau kam es bislang in den nordwestlichen Teilstaaten Punjab, Haryana und Uttar Pradesch sowie in der im Osten angrenzenden Region bis nach Westbengalen hinein. Der Einsatz von Handelsdünger und ertragreichem Saatgut wirkt sich mittlerweile aber auch auf den Reisanbau aus, was für eine Reihe der ärmsten Teilstaaten im Osten und Süden des Landes von besonderer Bedeutung ist.

Nach der fast völligen Einstellung von Getreideimporten konnte Indien beträchtliche Devisenbeträge einsparen; dies versetzte das Land in die Lage, teurer gewordene Ölimporte zu bezahlen, ohne die übrige Einfuhr einschränken zu müssen. Darüber hinaus wurde Indien durch Gastarbeiterüberweisungen begünstigt. Mitte der siebziger Jahre nahm die Zahl indischer Arbeitnehmer in den Golfstaaten beträchtlich zu. Ihre jährlichen Überweisungen stiegen von weniger als 250 Mio. Dollar im Jahre 1974 auf schätzungsweise 2,4 Mrd. Dollar im Jahre 1980. Die gestiegenen Gastarbeiterüberweisungen führten zusammen mit einem verringerten Bedarf an Getreideeinfuhren dazu, daß Indien in den drei Jahren 1976/77 bis 1978/79 **Leistungsbilanzüberschüsse** erzielen konnte, was eine Zunahme der Devisenreserven bewirkte. Ab 1977 nutzte die Regierung diese Situation, indem sie eine Reihe von Importrestriktionen zugunsten der Industrie lockerte.

Indiens Politik der Importsubstitution hat zum Aufbau einer diversifizierten **industriellen Basis** geführt. Die Investitionstätigkeit nahm stark zu und wurde in den vergangenen zwanzig Jahren ganz überwiegend aus der inländischen Ersparnis finanziert. Dennoch haben zumindest im industriellen Bereich die zusätzlichen Investitionen nicht zu stärkerem Wachstum geführt. Seit Mitte der sechziger Jahre hat sich die industrielle Expansion verlangsamt. Dies ist zum Teil auf einen nur zögernden Anstieg der Binnennachfrage zurückzuführen; sie resultiert aber auch aus der Tatsache, daß die Industrie Indiens die Vorteile der Massenproduktion für den Weltmarkt nur im begrenztem Rahmen nutzen konnte. Darüber hinaus führte das Lizenzverfahren für neue Industriebetriebe dazu, daß die Neugründung von Unternehmen in einer Reihe von Wirtschaftszweigen eingeschränkt wurde, in anderen Industriezweigen dagegen verhinderte dieses System die Expansion bereits etablierter Betriebe. Allerdings liegt eine noch wichtigere Ursache für die Abschwächung der industriellen Expansion in binnenwirtschaftlichen Versorgungsengpässen, vor allem im Bereich der **Infrastruktur.**

In den siebziger Jahren nahmen Stromausfälle chronische Ausmaße an. Sie sind weniger auf unzureichende Kapazitäten als auf die mangelnde Leistung der bereits installierten Kapazität zurückzuführen. Dies hängt mit Engpässen bei Vorleistungen zusammen, die durch eine unzureichende Instandhaltung und Betriebsführung verschärft werden. Die Elektrizitätswirtschaft litt außerdem unter Engpässen bei der Kohleversorgung.

Die **Politik der Regierung** zielt darauf ab, alle diese binnenwirtschaftlichen Engpässe zu beseitigen. So hat man das Lizenzverfahren gelockert, um Unternehmen in Schlüsselindustrien die Möglichkeit zu geben, ihre Kapazitäten zu erweitern. Die Exportproduktion wurde von Genehmigungsbeschränkungen befreit. Betriebe, deren gesamte Produktion für den Export bestimmt ist, sind von allen Importkontrollen und -abgaben freigestellt, werden steuerlich bevorzugt behandelt und sind außerdem den geltenden Gesetzen über Ausländerbeteiligung nicht mehr unterworfen. Im Bereich der Infrastruktur sieht der Sechste Plan (der bis 1985 läuft) stark erhöhte Investitionen für die Kohleförderung, die Stromerzeugung und den Eisenbahntransport vor.

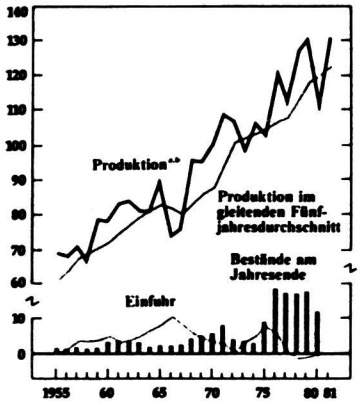
Auf kurze Sicht können diese Veränderungen allerdings wenig ausrichten, um den in den Jahren 1980/81 aufgetretenen Devisenmangel zu beheben. 1981/81 entfielen fast 45 Prozent der Einfuhrrechnung auf Rohöl. Es ist nicht damit zu rechnen, daß die Gastarbeiterüberweisungen auch weiter-

*) In diesem Zusammenhang machen wir weiters aufmerksam auf: **AUFRISSE, Zeitschrift für politische Bildung;** hrsg. vom Verlag für Gesellschaftskritik, im Heft Nr. 2 des 1. Jahrganges (1980) ist ein Thema über Indien.

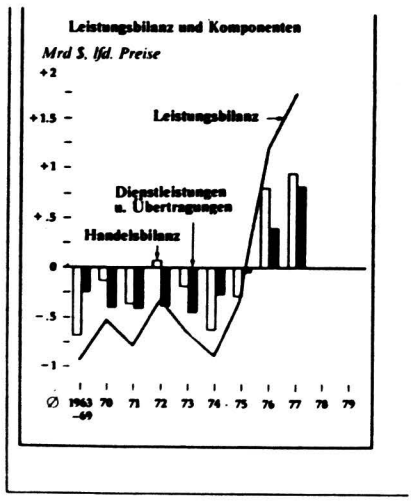
hin so stark zunehmen wie bisher. Gleiches gilt auch für die Entwicklungshilfe, die nach den Ölpreissteigerungen 1973/74 in hohem Maße zur Abfederung der Zahlungsbilanz beitrug. Damit steht Indien heute vor Anpassungsproblemen, die größere Herausforderungen stellen als früher. Dennoch dürfte das Land seine außenwirtschaftliche Position ohne ernsthafte Wachstumseinbußen wiederherstellen können, wenn es seine Fortschritte in der Landwirtschaft beibehält, eine verstärkt außenwirtschaftlich orientierte Handelspolitik verfolgt, seine Wirtschaft mit einer leistungsfähigen Infrastruktur ausstattet und bei seinen Entwicklungsbemühungen weiterhin vom Ausland unterstützt wird.

Indien: Produktion, Einfuhr und Lagerhaltung von Brotgetreide 1955 bis 1981

Mio metrische Tonnen



[a] Ende des landwirtschaftlichen Jahrs 30. Juni.
[b] 1980 und 1981 geschätzt.



INDIEN — Kennzahlen

Fläche		3,288.000 km²
BSP/Kopf		190 US-$
Energieverbrauch pro Kopf in Steinkohlenäquivalent	1979	242
	1960	111
Einwohner:	2000 (geschätzt)	975 Mio.
	1980	684 Mio.
	1970	539 Mio.
	1960	483 Mio.

Verteilung des BIP in % (in Klammer Österreich):		
Öffentlicher Verbrauch	1979	10 (18)
	1960	7 (13)
Privater Verbrauch	1979	70 (56)
	1960	79 (59)
Brutto-Inlandsinvestitionen	1979	24 (27)
	1960	17 (28)
Brutto-Inlandsersparnis	1979	20 (26)
	1960	14 (28)
Außenbeitrag	1979	–4 (–1)
	1960	–3 (—)

Regionale Struktur der Warenausfuhr in % der Gesamtausfuhr:		
Marktwirtschaftliche Industrieländer	1979	54
	1960	60
Entwicklungsländer	1979	20
	1960	25
Planwirtschaftliche Industrieländer	1979	14
	1960	7
Ölexportierende Länder mit Zahlungsbilanzüberschuß	1979	12
	1960	2

Anteil der Warenausfuhr in %:		
Rohstoffe	1979	40
	1960	55
Textilien und Bekleidung	1979	20
	1960	35

W.S.

Sozialstatistische Daten (Österreich) 1980

Das Österreichische Statistische Zentralamt in Wien publizierte 1981 eine Veröffentlichung, die sich in Form von Tabellen, Texten und graphischen Darstellungen mit der Frage „Wie leben die Menschen in Österreich?" beschäftigt. Bereits 1977 erschien erstmals eine solche Übersicht, die sich mit gesellschaftlichen Sachverhalten unseres Staates befaßte.

Die SOZIALSTATISTISCHEN DATEN 1980 werden 467 Seiten umfassen und S 320,– kosten. Bestellungen sind an das *Österreichische Statistische Zentralamt, Publikationswesen, Neue Hofburg, 1014 Wien* zu richten. Im folgenden einige ausgewählte Ergebnisse:

Bevölkerung

- Das Durchschnittsalter der österreichischen Bevölkerung betrug knapp vor dem Ersten Weltkrieg 29,4 Jahre, liegt derzeit bei 36,9 Jahren und wird bis zum Jahr 2000 voraussichtlich auf 38,8 Jahre ansteigen.
- Die Lebenserwartung bei der Geburt erhöhte sich zwischen 1970/72 und 1979 beim männlichen Geschlecht um 2,3 Jahre auf 68,9 Jahre, beim weiblichen Geschlecht um 2,4 Jahre auf 76,1 Jahre.
- Seit 1934 ist ein starker Rückgang der einstmals dominierenden Agrarbevölkerung festzustellen. Heute leben nur mehr weniger als 8 % der Bevölkerung von der Landwirtschaft.

Ehen, Familien und Haushalte

- Mit über 1,7 Millionen Ehen gab es während der siebziger Jahre mehr Ehen als je zuvor in der österreichischen Geschichte. 48 % der männlichen und 43 % der weiblichen Bevölkerung sind heute verheiratet, vor hundert Jahren waren es bei beiden Geschlechtern nur rund 30 %.
- Im Jahre 1979 betrug die Zahl der Privathaushalte 2,658.000; rund ein Viertel waren Einpersonenhaushalte, ein weiteres Viertel Zweipersonenhaushalte und die restliche Hälfte entfiel auf Haushalte mit drei und mehr Personen. Die durchschnittliche Haushaltsgröße betrug 2,79 Personen.

Gesundheit

- Bei einer Mikrozensus-Erhebung im Jahre 1978 beurteilten zwei Drittel der österreichischen Bevölkerung im Alter von über 15 Jahren ihren Gesundheitszustand als „sehr gut" oder „gut", nur 9 % als „schlecht" oder „sehr schlecht". Jedoch nehmen 20 % der Männer und 31 % der Frauen regelmäßig Medikamente ein.
- Innerhalb der letzten zwanzig Jahre konnte eine deutliche Senkung der Säuglings- und Müttersterblichkeit erreicht werden. Die Säuglingssterblichkeit im Jahre 1960 betrug noch 375,3 Gestorbene auf 10.000 Lebendgeborene, im Jahre 1979 nur mehr 147,5. Ähnlich reduzierte sich die Müttersterblichkeit von 87,3 Gestorbenen auf 100.000 Lebendgeborene im Jahre 1960 auf 12,7 im Jahre 1979.

Schulwesen, Bildung

- Immer mehr Eltern nutzen die erzieherischen Möglichkeiten des Kindergartens besonders vor dem Schuleintritt der Kinder; so stieg der Anteil der 5- bis unter 6jährigen Kinder, die einen Kindergarten besuchen, von 24,0 % im Jahre 1955/56 auf 71,7 % im Jahre 1979/80.
- Der konstante Ausbau der schulischen Einrichtungen, die Aufstockung der Lehrerzahl (1951/52 unterrichteten rund 50.300 Lehrer an allen Schultypen, 1979/80 waren es 97.676) und die Vermehrung der Klasseneinheiten (1951/52 wurden die Schüler aller Schultypen in rund 32.500 Klassen unterrichtet, 1979/80 standen 54.518 Klasseneinheiten zur Verfügung) führten zu einer wesentlich besseren Ausbildungssituation an den Schulen Österreichs.
- Gemessen an der gleichaltrigen Bevölkerung legten 1979 bereits 14 von 100 Achtzehnjährigen die Matura an einer allgemeinbildenden höheren Schule ab, 1955 waren es noch 4 von 100. Bemerkenswert ist, daß der Anteil der Mädchen an den Maturanten höherer Schulen bis 1970 unter 40 % blieb, danach jedoch bis auf 49 % im Jahre 1979 anstieg.
- Allgemein liegt der Anteil der Maturanten, die sich zum Hochschulstudium entschließen, etwas über 50 %. Der Anteil der männlichen Maturanten, die ein Studium beginnen, liegt jeweils höher als der der Mädchen. In Wien studierte ein Viertel aller 18- bis unter 26jährigen, in den Bundesländern nur zwischen 7 und 11 % der Gleichaltrigen.

Beschäftigung, Arbeitsmarkt

- Zwei Drittel aller Beschäftigten in Österreich haben eine wöchentliche Normalarbeitszeit von 40 Stunden. 7 % sind teilzeitbeschäftigt (14 bis 35 Stunden), 12 % arbeiten 60 oder mehr Stunden pro Woche, 40 % aller Beschäftigten arbeiten an Samstagen und 22 % an Sonntagen. Frauen sind von Wochenendarbeit etwas stärker betroffen als Männer.
- Der österreichische Arbeitsmarkt ist durch relativ große Stabilität der Dienstverhältnisse gekennzeichnet: 1970 entfielen 14,7, 1957 9,1 und 1978 8,5 Fälle von Dienstgeberwechsel pro Jahr auf 100 Beschäftigte.

Einkommen, materieller Lebensstandard

- Die Entwicklung des privaten (Inländer-)Konsums aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung zeigt einen deutlichen Rückgang der Ausgaben für Nahrungsmittel (33,4 % im Jahre 1971, 27,0 % im Jahre 1979) sowie gestiegene Ausgaben für das Wohnen (8,1 bzw. 12,0 %), Beheizung und Beleuchtung (4,1 bzw. 5,3 %) und auch für Verkehr (12,9 bzw. 16,5 %).

Soziale Sicherheit

- Die Relation zwischen Pensionsversicherten und Pensionsbeziehern (Pensionsbelastungsquote) betrug in den siebziger Jahren etwa 2 : 1, 1979 entfielen im Durchschnitt aller Pensionsversicherungsanstalten auf 1000 Pensionsversicherte jedoch 521 Pensionsbezieher.

Soziale Fragen (Jugendliche, Frauen, ältere Menschen, behinderte Personen)

- Die Arbeitsunfälle Jugendlicher weisen seit 1970 eine leicht steigende Tendenz auf; seit 1977 haben sich die Zahlen stark erhöht, da von diesem Jahr an die Unfälle von Schülern und Studenten miteinbezogen werden. Als häufigste Todesursache von Jugendlichen gelten Unfälle durch oder mit Kraftfahrzeugen, Selbstmord und Unfälle durch Maschinen. Burschen sind davon bedeutend stärker betroffen als Mädchen.
- Mit höherer Schulbildung steigt der Anteil der berufstätigen Mütter: nur 39 % der Volksschulabsolventinnen mit Kindern sind berufstätig, hingegen 61 % der Akademikerinnen. Der Prozentsatz der berufstätigen Mütter war 1977 im Wien mit 54 % am höchsten.
- Wenn Personen im Alter von 60 Jahren und darüber noch einen Beruf ausüben, so sind sie in den meisten Fällen aus Interesse an ihrer Arbeit tätig und weniger deshalb, weil sie noch nicht pensionsberechtigt sind.
- Im September 1978 wurde bei einer Mikrozensus-Erhebung festgestellt, daß über 450.000 Personen in Österreich durch Körperbehinderungen in ihrer Leistungsfähigkeit ständig behindert sind bzw. solche Leiden bestimmte Tätigkeiten (zum Beispiel Berufsausübung) unmöglich machen.

Wohnen

- Im März verfügten bereits 78 von 100 bewohnten Wohnungen über ein Badezimmer oder eine Duschnische, 42 von 100 hatten neben einer Badegelegenheit auch eine Zentral- oder Etagenheizung.

Infrastruktur und Umwelt

- Das österreichische Straßennetz wird gegenwärtig von nahezu 3,5 Millionen inländischen Kraftfahrzeugen frequentiert. Dem entspricht auch die erwartungsmäßig große Anzahl der Führerscheinbesitzer: 48,2 % der Bevölkerung ab 18 Jahren hatten im Dezember 1977 einen Führerschein.
- Im März 1979 fühlten sich die Bewohner von 42,1 % der bewohnten Wohnungen Österreichs durch Lärm gestört. In 73,3 % der Wohnungen mit „sehr starker" oder „starker" Lärmstörung sind die Bewohner überdies auch nachts einer Lärmbelästigung ausgesetzt.

Freizeit

- Fernsehen und Zeitunglesen sind die alltäglichsten Freizeitbeschäftigungen der Österreicher: 71 % gaben bei einer Mikrozensus-Erhebung an, täglich fernzusehen, 69 % greifen täglich zur Zeitung. Im Vergleich zu den anderen Altersgruppen spielt tägliches Zeitunglesen in der Gruppe der Jugendlichen (15–19 Jahre) eine etwas geringere, das Lesen von Zeitschriften dagegen eine etwas größere Rolle. Auch Bücher werden von Jugendlichen verhältnismäßig häufig gelesen.
- 1978 haben 35,6 % der Österreicher mindestens einmal eine Urlaubsreise in diesem Jahr unternommen. Die mittleren Altersgruppen reisten etwas häufiger als Jugendliche und ältere Personen. Angestellte und Beamte liegen beim Vergleich der sozialen Stellungen mit Abstand an der Spitze.

W.S.

Hinweise auf Neuerscheinungen

1. **DIERCKE WELTRAUMBILDATLAS.** Westermann, Braunschweig, 1981.
2. **H. LESER, Geographie** (Das geogr. Seminar). Westermann, Braunschweig, 1980, 208 Seiten.
3. **SCHRETTENBRUNNER/BRUNNER/ENGELHARDT/ZERLIN:** Geographieunterricht 5–10. Methodische Anregungen für Planung und Durchführung. Urban & Schwarzenberg, München–Wien, 1981.
4. **BOBEK/HOFMAYER:** Gliederung Österreichs in wirtschaftliche Strukturgebiete (Beiträge zur Regionalforschung 3). Verlag der Österr. Akademie der Wissenschaften, Wien 1981, 113 Seiten und Karten.
5. **H. KRAMER:** Industrielle Strukturprobleme Österreichs, dargestellt am Beispiel der Eisen- und Metallverarbeitung. Signum Verlag, Wien, 1980. 112 Seiten.
6. **L. BECKEL/F. ZWITTKOVITS:** Landeskundlicher Flugbildatlas Salzburg. Dritte und letzte Lieferung. Otto Müller Verlag, Salzburg 1981.
7. **W. SPERLING:** Tschechoslowakei. Beiträge zur Landeskunde Ostmitteleuropas. Uni Taschenbücher 1107, Ulmer, Stuttgart, 1981. 344 Seiten.
8. **W. D. SCHMIDT-WULFFEN:** Entwicklung Europas – Unterentwicklung Afrikas. Bd. 1: Historische und geographische Grundlegung sozialer und räumlicher Disparitäten. Bd. 2: Soziale und räumliche Disparitäten – die Unterentwicklung Afrikas in 15 Unterrichtsbeispielen. Kasseler Schriften zur Geographie und Planung (Urbs et regio 24/1981 und 25/1981). Kassel 1981.
9. **W. SPERLING** (Hrgb.): Theorie und Geschichte des geogr. Unterrichts. Geographiedidaktische Forschungen Band 8. Westermann, Braunschweig, 1981, 272 Seiten.
10. **H.-G. WAGNER:** Wirtschaftsgeographie. (Das Geographische Seminar) Westermann, Braunschweig, 1981, 207 Seiten.
11. **W. SCHULTZ:** Unterrichtsplanung. (Praxis und Theorie des Unterrichtens.) Urban & Schwarzenberg, München–Wien, 1981, 258 Seiten.

PHYSIKALISCHE BLÄTTER, 12 Hefte, DM 84,– plus Porto, Physik Verlag, D-6940 **Weinheim** / Bergstr., Postf. 1260.

STERNE UND WELTRAUM, 12 Hefte, DM 52,– 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 Versandspesen, 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 Versandspesen, 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 Versandspesen, 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.

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, Boltzmanngasse 5, Telefon 0 22 2 / 34 26 30. Hersteller: BOHMANN Druck und Verlag AG, 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.