

Wissenschaftliche Nachrichten

Gewidmet vom

HAUPTVERBAND DER ÖSTERREICHISCHEN SPARKASSEN
Subventioniert vom BMFUuK

Nr. 25 — Jänner 1971



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.

Physiker, Achtung!

Seit kurzem wird in Angaben der absoluten Temperatur die hochgestellte Null (als Gradzeichen) weggelassen. Man schreibt also z. B. nur mehr 300K statt 300°K.

	Seite
GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME	
Die Philosophie vom Menschen in der Revolte	2
BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN	
Die Gewässerreinhaltung — ein dringendes Problem	4
Was ist Chemosystematik?	7
Wie lässt sich der Deckenbau in den Kettengebirgen nachweisen — gezeigt am Beispiel der westlichen Nordkalkalpen	10
Kurznachrichten	14
CHEMIE	
Chemie und Computer	16
Neuartige Werkstoffe aus Kohlenstoff	18
Kurznachrichten	20
EXPERIMENTALPHYSIK	
Das Phywe-Computermodell	22
Analogrechnen in der Schule	23
MATHEMATIK	
Algebraische Strukturen	26
Lineare Optimierung: Anwendung in der Produktionsplanung und Spieltheorie	29
PHYSIK, ASTRONOMIE	
Vektoren im Physikunterricht	32
Neubestimmung der Gravitationskonstante G	36
Die experimentelle Suche nach Tachyonen	37
Eine neue Navigationsmethode	38
Weitere Indizien für Gravitationswellen	39
Sternbeben bei Pulsaren	40
Die Strahlenkrümmung im Schwerkfeld der Sonne ..	41
Extreme Rotverschiebung bei Quasar 4C 0534 ..	41
Hahnium — Element Nr. 105	42
Buchbesprechung	42
Kurznachrichten	42
WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE, WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN	
Das Wachstum der Erdbevölkerung als Unterrichts-thema	45
Japans Aufstieg zur Wirtschaftsmacht	49
Literatur zur Fortbildung	52

GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME

Dr. Franz Anton

Die Philosophie vom Menschen in der Revolte

Beispielhafte Auswahl aus A. Camus

Die nachstehende Darlegung befaßt sich mit den Gedankengängen, die A. Camus in den unter dem Titel *L'Homme révolté* zusammengefaßten Essays vorgebracht hat; zugrunde gelegt ist eine sehr sparsame Textauswahl.¹

1. Rechtfertigung des gewählten Beispiels

Es kann keinen Zweifel darüber geben, daß der Philosophieunterricht an den höheren Schulen das Philosophieren der Gegenwart nicht außer acht lassen darf. Denn auch dieses Philosophieren ist ein Teil jenes kulturellen Geschehens, dem ein junger Mensch in einer ihrer Aufgabe bewußten Schule begegnen soll.

Wie erfolgt die Auseinandersetzung nun vielfach? Entweder es wird die Gegenwartphilosophie als ein neuer Abschnitt der gesamten Denkgeschichte gezeigt, oder der Lehrer rückt je nach eigenem Geschmack und dem Umkreis seiner Erkenntnisse eine durch Fachleute, zeitkritische Schriften, informative Vorträge u. dgl. aktualisierte Problematik in den Mittelpunkt einiger Unterrichtsstunden.

Beide Wege sind nicht ratsam.

Die erstere Art wird im allgemeinen von den Schülern abgelehnt, weil für sie alles, was historisiert ist, gleichgesetzt wird mit etwas, das vorbei ist, und dann spricht es sie nicht an. Im zweiten Fall unterliegt der Lehrer allzu leicht einer Selbsttäuschung, der nämlich, daß das, was ihm aktuell erscheint, es gar nicht ist, entweder, weil es lediglich von guten Akteuren der Zeitgeschichte an die Oberfläche getrieben worden ist und anderes, Eigentliches, viel betrachtenswerter wäre, oder weil die Jugend überhaupt in einem anderen Bereich lebt als ihr Mentor, schon Probleme mit sich herumträgt, die jemand der älteren Generation zunächst gar nicht bemerkte.

Ein kritischer Blick auf die philosophische Literatur, die Tag für Tag erscheint, vermag den Zweifel an der Richtigkeit der eben erwähnten Wege einer schulischen Beschäftigung mit der jüngsten Philosophie in die Gewißheit der Unergiebigkeit zu verwandeln. Der größere Teil der gegenwärtigen philosophischen Literatur behandelt nur angelesene Probleme, d. h. zahlreiche Denker unserer Zeit haben viel gelesen und studiert, sie stellen ihre Fragen so, wie sie sich aus früheren Denkkonstellationen ergeben haben, nur in einer modernisierten Sprache. Es ist begreiflich, daß die Antworten auf solches Fragen nicht befriedigen können, da die Fragen veraltet sind. Wer in verantwortungsvoller Einsamkeit an die Philosophie unserer Tage den Maßstab anlegt, was in einer solchen Philosophie an menschlicher Grundproblematik bearbeitet sei, wird leider allzu oft merken, daß das als aktuell deklarierte Problem nur ein intellektuelles sekundärer Art ist.

Hier wird nun beispielhaft eine andere Art von Gegenwartsnähe des philosophischen Unterrichtes vorgeschlagen: auszugehen von elementaren Faktoren, von denen das Gedankenleben unserer Jugendlichen offensichtlich bestimmt ist, und diese Faktoren in ein einheitliches Problemfeld zu rücken; dabei sind, um nicht in bloße Vermutungen zu verfallen, nur jene Faktoren in Betracht zu ziehen, die im allgemeinen kulturellen Gegenwartsbewußtsein einen konkret aufweisbaren Ausdruck gefunden haben. Eine Voraussetzung ist allerdings gemacht, der aber wahrscheinlich ohne weiteres zugestimmt werden kann: die Meinung, daß die seelischen Haltungen und

Gedanken unserer Jugend eingefärbt sind von dem Zweifel an der Sinnhaftigkeit alles Geschehens, wenn diese nicht unmittelbar in der Umgebung identifiziert werden kann, und daß man gegen alles, was Anforderungen stellt, opponieren müsse. Das Verweisen auf das Absurde und die Lust an der Revolte sind über ihre allgemeine Nützlichkeit während der Reifezeit des Menschen zu prinzipienhaften Verhaltensweisen der Jugend geworden und sind dergestalt kulturell relevant.

Damit ist die Betrachtung der Gedankengänge von A. Camus gerechtfertigt, seine Essays sind ein greifbares Stück der gegenwärtigen Geistesgeschichte. Es wird sich zeigen, daß A. Camus auch grundsätzliche, philosophische Problematik enthüllt.

2. Die Philosophie vom Menschen in der Revolte

a) Prinzip der Auswahl

Die Gedankengänge von Camus werden weder geistesgeschichtlich noch psychologisch voll erfaßt. Das erstere wäre dann getan, wenn dieses „revoltierende Philosophieren“ als eine, wenn auch sehr eigenständige Form des Existentialismus begriffen würde; vielleicht sogar nur als ein Teil eines Modedenkens. Das andere, wenn es als ausschlaggebend angesehen würde, Camus habe seine Problematik nur aus seinem Erleben heraus, daß die Welt bis ins Mark hinein von Diktaturen bedroht sei, formuliert. In beiden Fällen wäre man den Gedankengängen von Camus, was ihren zeitunabhängigen Wahrheitsgehalt betrifft, nicht gerecht geworden.

Selbst der sehr aufwühlende dichterische Symbolgehalt, der darin liegt, daß aus interessanten Persönlichkeitstiefen heraus als Mord dargestellt wird, was philosophisch genauer als geschichtlich zwangsläufige, immer wiederkehrende Vernichtung des Menschlichen bezeichnet werden müßte, trifft das, womit man sich unabhängig vom Individuellen des Phänomens Camus auseinander setzen kann, noch nicht.

Erst jener Leitfaden, der aus dem folgenden Zitat entnommen werden kann, ergibt das Prinzip einer Auswahl, die zu den Fundamenten der philosophischen Besinnung führt, wie sie Camus zweifellos auslösen möchte.

Das Zitat lautet: Der wahre Charakter des Absurden ist „ein gelebter Durchgang, ein Ausgangspunkt, die Entsprechung auf dem Feld der Existenz, von Descartes' methodischem Zweifel“ (S. 11). Dieser aller und vor allem der Philosophie seit Descartes richtungweisenden Denklinie: methodische Kritik als Weg zur Aufhellung des eigenen Seins, welches in nur aktueller Beleuchtung von Camus als sinnlos gedacht wird, ist nun in der Aneinanderfügung einiger Stellen ausschließlich Rechnung getragen.

b) Vorgeschlagene Auswahl und Bedeutungshinweise zu den einzelnen Stücken

I These

Das Absurde in sich selbst ist Widerspruch.

Es ist ein Widerspruch seinem Inhalte nach, denn es schließt die Werturteile aus und will dennoch das Leben aufrechterhalten, wo doch Leben an sich schon ein Werturteil ist. Atmen heißt urteilen. Es ist vielleicht falsch, zu sagen, das Leben sei eine unaufhörliche Wahl. Aber es ist richtig, daß man sich kein Leben vorstellen kann, das jeglicher Wahl beraubt ist. Von diesem einfachen Gesichtspunkt aus erscheint der absurde Standpunkt beim Handeln unvorstellbar. Er ist unvorstellbar auch in seinem Ausdruck. Jede Philosophie der Nicht-Bedeutung ruht auf dem Widerspruch gerade der Tatsache, die sie ausspricht. Sie verleiht damit ein Minimum von Zusammenhang dem Unzusammenhängenden, sie bringt Konsequenz in das, was, ihrer Überzeugung gemäß, keine hat. Reden renkt wieder ein (Parler répare). Die einzige widerspruchlose Haltung, gründend auf der Bedeutungsliegnung, wäre das Schweigen, wenn es nicht seinerseits etwas bedeutete. Die volkommene Absurdität versucht stumm zu sein. Wenn sie spricht, so deshalb, weil sie sich darin gefällt oder ... weil sie sich für provisorisch hält. Diese Selbstachtung, diese Selbstgefälligkeit erhellt die tiefe Doppeldeutigkeit des absurdens Standpunkts. In gewisser Weise läßt das Absurde den Menschen, den es in seiner Einsamkeit auszudrücken strebte, vor einem Spiegel leben. Die ursprüngliche Zerrissenheit läuft dann Gefahr, komfortabel zu werden. Die Wunde, die man so angelegentlich kratzt, wird schließlich lustvoll (S. 11/Orig. p. 19).

¹ Zitiert nach A. Camus, *Der Mensch in der Revolte. Essays*. Rororo, 1969. Original: *L'Homme révolté*, 1950, das dann herangezogen ist, wenn die deutsche Übersetzung mißverständlich sein könnte (Seitenzahl nach Collection Idées, Gallimard, 1951).

II

Die Bedeutung der These über das Absurde für das Erkennen der Grundproblematik des Menschen unserer Zeit und einer allgemeinen Problemformulierung.

Das Gefühl des Absurden ist ein Gefühl unter anderen. Daß es seine Farbe so vielen Gedanken und Handlungen zwischen den beiden Kriegen beigebracht hat, beweist nur seine Stärke und seine Berechtigung. Aber aus der Intensität eines Gefühls geht nicht sein universaler Charakter hervor. Der Irrtum einer ganzen Epoche war es, von einem Gefühl der Verzweiflung ausgehend, allgemein gültige Regeln des Handelns zu verkündigen oder für verkündet zu halten, während die eigentlich Bewegung dieses Gefühls darin besteht, über sich hinauszuführen. Großes Leid wie großes Glück kann am Anfang eines Gedankens stehen. Es sind Fürsprecher. Aber man kann sie nicht finden und behalten während der ganzen Dauer dieser Gedanken (raisonnement). Wenn es also gerechtfertigt war, die absurde Sensibilität zu berücksichtigen, die Diagnose eines Übels aufzustellen, wie man es in sich und bei den andern findet, so ist es unmöglich, in dieser Sensibilität und im Nihilismus, den sie voraussetzt, etwas anderes als einen Ausgangspunkt zu sehen, eine gelebte Kritik, die Entsprechung, auf dem Feld der Existenz, des systematischen Zweifels. Darauf muß man die starren Augen des Spiegels eindrücken und sich der unwiderruflichen Bewegung überlassen, durch die das Absurde über sich hinaussteilt.

Ist der Spiegel eingedrückt, so bleibt nichts, was uns als Antwort dienen könnte auf die Fragen des Jahrhunderts. Das Absurde hat, wie der methodische Zweifel, Tabula rasa gemacht. Es läßt uns in der Sackgasse zurück. Doch wie der Zweifel kann es, indem es zu sich zurückkehrt, einer neuen Forschung die Richtung weisen (S. 12/Orig. p. 20).

In der Erfahrung des Absurden ist das Leid individuell. Von der Bewegung der Revolte ausgehend, wird ihm bewußt, kollektiver Natur zu sein; es ist das Abenteuer aller. Der erste Fortschritt eines von der Befreiung befahlenden Geistes ist demnach, zu erkennen, daß er diese Befreiung mit allen Menschen teilt¹ und daß die menschliche Realität in ihrer Ganzheit an dieser Distanz zu sich selbst und zur Welt leidet. Das Übel, welches ein einzelner erlitt, wird zur kollektiven Pest. In unserer täglichen Erfahrung spielt die Revolte die gleiche Rolle wie das „Cogito“ auf dem Gebiet des Denkens: sie ist die erste Selbstverständlichkeit. Aber diese Selbstverständlichkeit entzieht den einzelnen seiner Einsichten. Sie ist ein Gemeinsatz, die den ersten Wert auf allen Menschen gründet. Ich empöre mich, also sind wir. (Elle est un lieu commun qui fonde sur tous les hommes la première valeur. Je me révolte, donc nous sommes.) (S. 21/Orig. p. 35.)

III

Die Lösung des Problems aus der Überwindung des Absurden durch die Revolte und die aufs Absolute zielsehende Revolution.

Vorbemerkung.

Zum Verständnis der folgenden Stellen sind aus dem Gesamtzusammenhang definitorisch an Begriffen zu übernehmen: Revolte und Revolution.

Die Revolte „ist die Bewegung, mit der ein Mensch sich gegen seine Lebensbedingung und die ganze Schöpfung auflehnt. Sie ist metaphysisch, weil sie die Ziele des Menschen und der Schöpfung bestreitet (Les fins de l'homme et de la création)“ (S. 22/Orig. p. 39).

Revolten sind Versuche, Ungerechtigkeiten zu beseitigen. Jede Revolution ist ein „Ruf nach dem Sein (appel vers l'être)“ (S. 87/Orig. p. 133), daher gibt es im Grunde genommen nur eine einzige Revolution (S. 88).

Text mit dem Thema: Übergang vom Erlebnis des Rebellierens zur Seinshaltung und revolutionären historischen Haltung und die sich daraus ergebende Problematik.

„Ich rebelliere, also sind wir“, sagte der Sklave. Die metaphysische Revolte fügt dann das „Wir sind allein (nous sommes seuls)“ hinzu, von dem wir noch heute leben. Aber wenn wir allein sind unter einem leeren Himmel, wenn wir für immer sterben müssen, wie können wir da wirklich sein?... Unsere Revolution ist ein Versuch, ein neues Sein zu erobern, durch das Tun, außerhalb jedes Moralgesetzes (hors de toute règle morale). Aus diesem Grund verurteilt sie sich dazu, nur für die Geschichte und im Terror zu leben. Der Mensch ist nach ihrer Ansicht nichts, wenn er nicht durch die Geschichte, freiwillig oder gezwungen, die einmütige Zustimmung erhält. Genau an diesem Punkt ist die Grenze überschritten, die Revolte zuerst verraten... (S. 203/Orig. p. 297).

Text mit dem Thema: Notwendigkeit des Rückganges alles Rebellierens auf ein selbstschöpferisches Verhalten (Moralgesetz, Kunst).

Um diesem absurdem Schicksal zu entgehen, ist die Revolution und wird sie dazu verurteilt sein, auf ihre eigenen Prinzipien: den Nihilismus und den rein geschichtlichen Wert zu verzichten, um die schöpferische Quelle der Revolte wiederzufinden. Um schöpferisch zu sein, kann die Revolution auf ein moralisches oder metaphysisches Gesetz nicht verzichten, das das geschichtliche Delirium ausgleicht. Sie hat zweifellos nur eine berechtigte Verachtung für die formale und mystifizierende Moral übrig, die sie in der bürgerlichen Gesellschaft findet. Aber ihr Wahnsinn war, diese Verachtung auf jede moralische Forderung auszudehnen. An ihrem Ursprung und in ihrem tiefsten Antrieb findet sich ein Gesetz, das nicht formal ist und ihr dennoch als Führer dienen kann. Die Revolte sagt ihr in der Tat und wird es immer lauter sagen, daß man zu handeln versuchen muß, nicht um zu beginnen, eines Tages in den Augen einer auf die Zustimmung eingeschränkten Welt zu sein, sondern im Hinblick auf jenes dunkle Sein, das man schon in der Bewegung des Aufstands entdeckt. Dies Gesetz ist weder formal noch der Geschichte unterworfen; das können wir verdeutlichen, wenn wir es im Reinzustand in der künstlerischen Schöpfung finden (S. 204).

IV

Die Notwendigkeit des Maßes im menschlichen Seinsverhalten (Das Schlechte).

In Wirklichkeit ist das rein geschichtliche Absolute nicht einmal vorstellbar. Das Denken von Jaspers z. B. unterstreicht, daß es dem Menschen unmöglich ist, die Totalität zu fassen, da er sich ja im Innern dieser Totalität befindet. Die Geschichte könnte als ein Ganzes nur den Augen eines außerhalb ihrer und der Welt stehenden Betrachters erscheinen. Im Grenzfall gibt es nur für Gott Geschichte. (Il n'y a d'histoire, à la limite, que pour Dieu.) Es ist somit unmöglich,

nach Plänen zu handeln, die die Totalität der Weltgeschichte umfassen. Jedes geschichtliche Unternehmen kann deshalb nur ein mehr oder weniger vernünftiges und begründetes Abenteuer sein. Zuerst jedoch ein Wagnis. Als solches kann es keine Maßlosigkeit, keinen unerbittlichen und absoluten Standpunkt rechtfertigen.

Wenn die Revolte hingegen eine Philosophie begründen könnte, wäre es eine Philosophie der Grenzen, der berechneten Unwissenheit und des Wagnisses (S. 234/Orig. p. 347).

Die revolutionäre Verirrung erklärt sich zunächst aus der Unkenntnis oder der systematischen Verkenntnis jener Grenze, die untrennbar von der menschlichen Natur zu sein scheint und die gerade die Revolte offenbart. Da das nihilistische Denken diese Grenze vernachlässigt, gibt es sich schließlich einer stets gleich beschleunigten Bewegung anheim. Nichts hält es mehr auf in seinen Konsequenzen, es rechtfertigt nun die totale Zerstörung oder die unbegrenzte Eroberung... Um diesem Schicksal zu entgehen, muß der revolutionäre Geist, wenn er lebendig bleibt will, zu den Quellen der Revolte zurückkehren und sich inspirieren lassen vom einzigen Denken, das diesen Ursprüngen treu geblieben, demjenigen der Grenzen. Wenn die von der Revolte entdeckte Grenze alles verwandelt, wenn jedes Denken, jede Tat, die einen gewissen Punkt übersteigt, sich selbst verneint, gibt es tatsächlich ein Maß der Dinge und der Menschen. In der Geschichte wie in der Psychologie ist die Revolte ein Pendel, dessen Schwingungen außer Rand und Band geraten, weil es seinen eigentlichen Rhythmus sucht. Aber diese Reglosigkeit ist nicht vollständig, sie vollzieht sich um einen Angelpunkt herum. Zu gleicher Zeit, da sie eine den Menschen gemeinsame Natur nahelegt, bringt die Revolte das Maß und die Grenze ans Licht, die das Prinzip dieser Natur sind.

Ohne es manchmal zu wissen, läßt heute jeder Gedanke, sei er nihilistisch oder positiv, dieses Maß der Dinge entstehen, das selbst die Wissenschaft bestätigt. Die Quanten, die Relativität, die Unbestimmtheitsrelation stecken eine Welt ab, die definierbare Wirklichkeit nur im Maßstab der mittleren Größen hat, die die dargestellten sind. Die Ideologien, die unsere Welt lenken, stammen aus der Zeit der absoluten Größen. Unsere wirklichen Kenntnisse erlauben hingegen nur ein Denken der relativen Größen (S. 238).

Keine Weltanschauung heute mehr geben wollen. Die Revolte stößt dauernd an das Böse (La revolte oblige inlassablement contre le mal), von wo aus sie nur einen neuen Anlauf nehmen kann. Der Mensch kann alles in sich zügeln, was Zügelung verdient. Er muß in der Schöpfung alles in Ordnung bringen, was in Ordnung gebracht werden kann (S. 245/Orig. p. 363).

V

Nachbemerkung.

In eigner dichterischen Schlußwort wird ein Bekenntnis zum griechischen Denken und gegen die unsere Zeit beherrschenden Ideen (Nietzsche, Marx), die aus dem 19. Jahrhundert überkommen sind, abgelegt. Es wird gefordert, ein „kühnes und nüchternes Denken, die klare Tat, die Großzügigkeit des wissenden Menschen (la pensée audacieuse et frugale, l'action lucide, la générosité de l'homme qui sait.“ (S. 248/Orig. p. 366.)

c) Kurze Bemerkung zur Gesamtkonzeption

Neben der Herausschäälung des Gedankenkerns wurde im vorstehenden versucht, darauf hinzuweisen (Text und Überschriften), zu welchen weitgehenden Folgerungen die Camussche Denklinie führt. Es ist nicht unbillig zu erwarten, daß in den näheren Ausführungen zum Grundgedanken eine Reihe von Themen anknüpfen, die ernsthaft und umfassend in eine philosophische Systematik der Gegenwart philosophie einbezogen werden könnten. Durch Stichworte sei in freier Formulierung darauf hingedeutet: Der Gedanke, daß in unserer Zeit eine Reihe von Fragen aus einer Umkehrung in der Herrschaft von Doktrinen entstehen, wobei die Doktrinen selbst in ihrer Gültigkeit anzweifelbar sind. Die Auffassung, daß falsche Verhaltensweisen der jetzt lebenden Menschen darin bestünden, im Absurden zu verharren oder das Tragische nur als eine interessante, aber nicht unbedingt anziehende Konstellation zu betrachten, oder sich im unmittelbaren Wirken als dem menschlich Letztmöglichen Genüge sein zu lassen (=Leben aus Indifferenz, als Spiel, als Messen der Kräfte zwischen Schwächeren und vorrangigen Stärkeren). Weitreichende Zusammenhänge würden über die Kulturphilosophie hinaus auch sichtbar werden, wenn die Nietzsche ausdeutende Definition des Nihilismus als Richtlinie zur Beurteilung aktueller kultureller Erscheinungen angenommen würde; sie lautet: „Nihilist ist nicht derjenige, der an nichts glaubt, sondern derjenige, der nicht glaubt an das, was ist...“ (S. 59.)

Insgesamt würde sich zeigen, daß das Denken von A. Camus durchgehend, und deshalb systematisch verwertbar, auf den Problemzusammenhang Freiheit und Transzendenz gerichtet ist.¹

Gerade unter diesem letzten Gesichtspunkt ist das Philosophieren für einen Jugendlichen unserer Zeit wertvoll: Weg vom Berührtsein durch das vermeintliche, d. h. noch nicht durchschauten Sinnlose, und von der Opposition hin zum Problem der Freiheit in einer zu suchenden und herzustellenden Welt des Wahren und Richtigsten.

¹ Siehe dazu L. Richter, Camus und die Philosophie in ihrer Aussage über das Absurde (Nachwort zu „Sisyphos“, Rororo, S. 138f.). Die Ausdeutung ist allerdings dort eine andere als hier.

3. Auswertung des Beispiels in didaktischer Hinsicht

Prüft man die vorstehende Auswahl nun daraufhin, in welcher Weise die Gedankenführung vom Inhalt her richtunggebend sein soll, so zeigt sich eine Reihe, die folgendermaßen in Begriffe gefaßt werden kann:

Absoluter Zweifel — Aufhebung des durch den Zweifel sichtbar gewordenen Absurden — dadurch Heraustreten des eigentlichen, d. i. die menschliche Seinsweise betreffenden Problems.

Camus legt im Grunde genommen nichts anderes dar, als daß der bloß methodische Zweifel, der noch ein fixiertes Verhältnis zwischen Mensch und Sein voraussetzt, die eigentliche Problematik des Menschen, Ordnung herstellen zu müssen, auch wenn ihm die Einsicht in eine absolute Ordnung nicht gegeben ist, noch nicht trifft. Erst wenn die Fragestellung so radikal ist, daß sich die Grenzen des Menschlichen an den Grundfragen seines Denkens fühlbar zeigen, wird erkannt und erlebt, worum es dem Menschen unerlässlich gehen muß: seine Norm im Sein zu finden. Das Aufspüren des Absurden ist eine Möglichkeit, unmittelbar vor das Transzendentale zu kommen.¹

Die Lektüre und Durcharbeitung der vorgeschlagenen Auswahl im Philosophieunterricht an den höheren Schulen würde sich den übrigen Lerneinheiten als modernes Kapitel — es steht, wie hervorgehoben, in der Tradition der Philosophie seit Descartes, ja beinhaltet, wie aus den obigen Formulierungen hervorgeht, geradezu perennierende Fragestellungen — sinnvoll anfügen. Seine Modernität fördert zum Durchdiskutieren heraus, und solche Diskussion verspricht auch zu einem Ergebnis zu kommen. Voraussetzung ist selbstverständlich, daß der Lehrer weiß, er und seine jugendlichen Mithenkenden müßten noch über Camus hinausfinden.

¹ Ob mit diesen Gedanken ein Bruch mit dem von Camus früher vorgetragenen Sisyphosmythos vollzogen oder der dortige Grundgedanke vom quantitativen Leben nur im positiven Sinne aufgehoben ist, steht hier nicht zur Erörterung. Junge Menschen jedenfalls dürfen in dieser früheren Phase der Philosophie des Absurden nicht stehen gelassen werden.

Eine andere Möglichkeit bestünde darin, die Problemenlehre überhaupt ihren Ausgang von der Beschäftigung mit den herausgearbeiteten Grundgedanken nehmen zu lassen. Sie würden den Schüler, falls er überhaupt begriffen hat, worum es in einer höheren Schule geht, zweifellos interessieren, weil sie irgendwie sein Lebensgefühl ansprechen, führen ihn aber dann zu umfassenderen Problemen. Ein modernes Problem wird auf diese Weise zu einem Problemkosmos erweitert, worauf eine Schule, die bilden will, es stets angelegt haben sollte.

Außer diesen beiden Möglichkeiten — „Philosophie des Absurden“ als Kapitel zur modernen Philosophie; als philosophisches Ausgangsproblem — ließe sich aus dem gewählten Beispiel aber ein Modell des gesamten Philosophieunterrichtes abstrahieren. Dieses wäre: **Aufgreifen eines ungeklärten, den Jugendlichen interessierenden Sachverhaltes — Aufweisen der Unmöglichkeit bestimmter Ausdeutungen, wenn diese zu Widersprüchlichkeiten mit anderen Sachverhalten führen — der Gewinn eines Selbst- und Seinsverständnisses mittels des zurechtgerückten Problems.** Daß dies nicht im Sinne eines Vortragsunterrichtes empfohlen ist, aber auch kein Aufzeigen von Aporien im Sinne der Philosophietechnik N. Hartmanns etwa meint, sondern eine lebendige Auseinandersetzung sein soll, ist wohl nach dem insgesamt Gesagten selbstverständlich.

Es mag gerechtfertigt sein, das folgende Zitat aus Camus zu paraphrasieren, das Zitat lautet: „Die Verzweiflung beurteilt und begeht wie das Absurde allein alles im allgemeinen und nichts im besonderen (Le désespoir, comme l'absurde, juge et désire tout, en général, et rien, en particulier)“ (S. 14/Orig. p. 26). Die Paraphrase: Wer nur alles im allgemeinen und nichts im besonderen beurteilt und begeht, endet im Absurden und in der Verzweiflung. In voller kultureller Verantwortung und fern jeder Schein- und Modeproblematik könnten unsere Philosophielehrer dies an den Gedankengängen A. Camus' ihren jungen Menschen ins Bewußtsein heben.²

² Allgemeine Bibliographie am besten M. Lebesque, Albert Camus, Rowohlt 1970.

BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Prof. F. Muckenhuber

Prof. W. Sitte

Univ.-Doz. Dr. Elsa Kusel-Fetzmann

Die Gewässerreinhaltung — ein dringendes Problem

Die Welt leidet heute Mangel an sauberem Wasser. Die Verunreinigung der Gewässer durch organische Stoffe und Schadstoffe aus Haushalt und Industrie sowie durch Bakterien ist gegenwärtig eines der aktuellsten Weltprobleme. Kläranlagen werden fieberhaft gebaut, Entsalzungsanlagen für Meerwasser konstruiert, und auf internationaler Basis werden Richtlinien und Empfehlungen ausgearbeitet, um die drohende Selbstvergiftung des Menschen zu verhindern. Trotzdem steigt die Verschmutzung weiterhin an. Die Veränderungen in den Seen und Flüssen und an den darin lebenden Biozönosen sind so gewaltig, daß es angebracht erscheint, auch im Rahmen der Schule dem Abwasserproblem einen Platz einzuräumen.

Wo Menschen leben und arbeiten, da entstehen Abwässer. Soweit diese Stoffe enthalten, die den Pflanzen als Nährstoffe dienen können, wurden sie schon seit Jahrtausenden in Gruben und Behältern gesammelt und als Dünger auf Wiesen und Feldern verwendet. Die Wirkung auf Seen und Flüsse war dabei noch verschwindend gering. Seitdem aber die Schwemmkanalisation nicht nur in der Stadt, sondern auch auf dem Lande eingeführt wurde, fließen die Abwässer in den nächsten Fluß oder See und bewirken durch ihre Düngekraft oder durch Giftwirkung die üblichen Veränderungen im Wasser. Das Acker-

land muß dagegen in immer stärkerem Maße durch anorganische Nährsalze künstlich gedüngt werden. Diese Stoffe (besonders Stickstoff- und Phosphorverbindungen) werden aber im Boden viel weniger festgehalten als die organisch gebundenen in Jauche und Mist, so daß der Regen große Mengen davon auswäscht, die über das Grundwasser in Flüsse und Seen gelangen und dort das Algenwachstum steigern.

Solange nur geringe Mengen an Schmutzstoffen ins Wasser gelangen, kann dieses auf dem Wege der natürlichen **Selbstreinigung** damit fertig werden. Das benötigt Zeit oder, auf ein Fließgewässer übertragen, eine längere Wegstrecke. Bei der Abwasserreinigung werden in erster Linie auch die natürlichen Kräfte der Selbstreinigung ausgenutzt, man bemüht sich aber, durch geeignete Einrichtungen diese Vorgänge zeitlich und räumlich zu konzentrieren, damit die Reinigung mit dem Anfall an Abwasser Schritt halten kann.

Was versteht man unter Selbstreinigung? Abgesehen von der menschlich bedingten Verunreinigung, gibt es auch natürliche Verunreinigungen, die fortlaufend oder periodisch in ein Gewässer gelangen: feinstes Geschiebe, Gletschertrübe und andere Partikel, die im Bach mitgeschleppt werden, schließlich sedimentieren und damit aus dem Wasser eliminiert werden. In ähnlicher Weise setzen sich organische Substanzen ab: das im Gewässer produzierte Plankton, die Reste der Grund- und Uferflora und -fauna, das herbstliche Fallaub usw. All dies wird durch Mineralisation wieder dem Stoffkreislauf zugeführt. Leicht angreifbares wird schon während des Absinkens durch Pilze und Bakterien abgebaut, anderes, wie Lignin, Zellulose, Kork oder Chitin braucht länger und sammelt

sich daher im Bodenschlamm an, ehe es remineralisiert ist. Ein Teil der absinkenden Plankton wird die Beute von Räderieren, Ciliaten und Kleinkrebsen, der Schlamm wird von Würmern, Schnecken und Insektenlarven durchwühlt und teilweise gefressen. Übersteigt aber die Zufuhr von neuem Detritus den Abbau, so kommt es zu mächtigen Ablagerungen, wie z. B. die Tortschichten in Moorseen, wo im sauren Wasser der Zelluloseabbau gehemmt ist. In einem sauberen, nährstoffarmen (oligotroph) See genügt der in der Tiefe gelöste Sauerstoff, um die geringen Detritusmengen bis zur völligen Mineralisation abzubauen. Wird in einem nährstoffreichen (eutrophen) oder gar überdüngten See in der Tiefe der vorhandene Sauerstoff verbraucht, ehe der Abbau vollendet ist, so kommt es unter anaeroben Verhältnissen zur Bildung schwarzen Faulschlamms, in dem keine Tiere mehr leben können. Im Sommer herrscht in den meisten Seen eine stabile Wasserschichtung. Eine mehrere Meter dicke Schicht warmen Wassers schwimmt, weil spezifisch leichter, auf dem kühleren, spezifisch schwereren Tiefenwasser. Kein Sturm kann diese Schichtung zerstören. Erst im Herbst, wenn sich die Wasseroberfläche abkühlt und das kühtere, schwerer gewordene Wasser absinkt, entstehen kleine turbulente Strömungen, die immer tiefer greifen, bis schließlich eine Vollzirkulation den ganzen See durchmischt. Erst eine Eisdecke unterbricht diesen Vorgang, doch kann nach der Eisschmelze bei windigem Wetter der See im Frühjahr nochmals voll zirkulieren. Auch in biologischer und chemischer Hinsicht vollzieht sich jährlich ein Kreislauf. Das pflanzliche Plankton, die Räderiere und Kleinkrebs, schließlich die Fische sind Glieder einer Nahrungskette. Die letztlich produzierte organische Substanz hängt in erster Linie davon ab, wie intensiv sich die Algen entwickeln können, die wegen ihres Lichtbedürfnisses nur die obersten Schichten, bis maximal 20 m Tiefe, besiedeln. Im Sommer werden in diesen Schichten allmählich die Nährstoffe aufgebraucht, besonders Stickstoff und Phosphor kommen bald ins Minimum und begrenzen das Wachstum. Mit den toten Organismen sinken diese Stoffe in die lichtlose Tiefe, wo sie nach der Remineralisation im Wasser angereichert bleiben. Während bei der Assimilation durch die Algen Sauerstoff freigesetzt wird, verbraucht die Verwesung in der Tiefe diesen. Erst bei der herbstlichen Vollzirkulation können sich diese Unterschiede wieder ausgleichen. Wie die Algenentfernung auch das Fischwachstum begrenzen kann, soll ein Beispiel zeigen. Im Bodensee wurden die Blaufelchen im Alter von 3 bis 4 Jahren, nachdem sie schon einmal abgezählt hatten, mit Netzen von bestimmter Maschenweite gefangen. Eine vor Jahren einsetzende bedrohliche Abnahme des Blaufelchenbestandes konnte geklärt werden: Im Bodensee war es durch Abwasserzufuhr zu vermehrtem Planktonwachstum und damit zu einer besseren Ernährung der Fische gekommen. Die fetteren Tiere wuchsen rascher und gingen schon, ehe sie geschlechtsreif waren, mit ein bis zwei Jahren in die Netze. Eine Vergrößerung der Maschenweite konnte hier Abhilfe schaffen.

Zu welchem Zeitpunkt ein verschmutzter See das Stadium erreicht hat, daß in der Tiefe Sauerstoffmangel eintritt und Faulschlamm entsteht, kann man an Schlammbohrungen leicht feststellen. Einheitlich grauer Schlamm deutet auf vollständige Zersetzung hin. Schichtungen können nicht entstehen, da die Bodentiere die oberen Zentimeter ständig durchwühlen. Zeigt ein Schlamm aber abwechselnd dunkle Streifen, die aus toten, im Winter abgesunkenen Algen bestehen, und graue, mit Kalk durchsetzte Sommerschichten, so ist das ein Zeichen dafür, daß nach O_2 -Schwund die Faulschlammbildung eingesetzt hat. Im Zürichsee konnte das seit 1896 beobachtet werden, gleichzeitig mit dem ersten Massenauftreten von Algen.

Jeder zuerst oligotrophe See macht in seiner Entwicklung den Wandel zum eutrophen Stadium durch. Das nimmt aber unter natürlichen Umständen Jahrzehntausende in Anspruch. Durch zugeführte Abwasser wird dieser Vorgang vehement beschleunigt und zu katastrophalem Ausmaß gesteigert. Die massive Überdüngung löst eine explosive Algenentwicklung aus, die eine starke Wassertrübung hervorruft, wodurch wieder das photoautotrophe Leben auf eine immer schmälere Zone an der Oberfläche zusammengedrängt wird. Oft bilden sich grünlich schimmernde Hämte, die man als „Wasserblüte“ bezeichnet. Zuletzt treiben am Wasser dichte blasige Fadenalgenwatten. Eine häufige Alge ist die Blaualge *Oscillatoria rubescens*, die Burgunderblutalge, die erstmals 1825 im

Murtensee in der Schweiz beobachtet wurde. Das Wasser schien plötzlich rot gefärbt, so daß die Bevölkerung glaubte, das Blut der in der Schlacht bei Murten im See ertrunkenen Burgunder sei wieder an die Oberfläche gestiegen. Später wurde diese Erscheinung noch in vielen Seen, in Österreich, z. B. im Zeller See und im Wörther See, beobachtet. Unter dem Eis und kurz nach der Schneeschmelze bildeten sich rosarote blasige Massen, die der Wind ans Ufer spülte, wo sie zerfielen. Im Sommer entstehen grüne Watten aus *Spirogyra* und *Cladophora*, die nicht nur den Badebetrieb stören, sondern auch das Schilf am Ufer knicken und zerstören können, wenn der Wind die Algenmassen antreibt. Beim Absterben und Zerfallen der Algen entstehen Fäulnis- und Giftstoffe, die das Wasser sekundär verschmutzen und zu Fischsterben führen können. Viele Blaualgen (z. B. *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos aquae*, *Aphanizomenon flos aquae*) geben Toxine ab, die auch auf Warmblütler tödlich wirken. Aus allen Erdteilen sind Fälle bekannt, daß Wassergeflügel, Herden von Schafen und Schweinen, ja sogar Rinder und Pferde nach dem Trinken solchen Wassers innerhalb weniger Stunden unter Krämpfen verendeten. Auch beim Menschen können solche Algentoxine beim Baden zu Hautausschlägen und Augenentzündungen, beim Trinken zu Darmentzündungen und zum Tod führen.

Werden einem stark verschmutzten See durch geeignete Maßnahmen (z. B. Ringleitungen, die das geklärte Abwasser erst in den Abfluß leiten) künftige Verunreinigungen ferngehalten, so braucht es doch lange Jahre, bis der Schaden gutgemacht ist, falls es überhaupt noch möglich ist. Durch die große Belastung mit gelösten Stoffen kann das Tiefenwasser so großes spezifisches Gewicht erreichen, daß auch bei Homothermie in allen Tiefen eine Durchmischung nicht mehr möglich ist. Dadurch bleibt das Tiefenwasser mehrere Jahre lang sauerstofffrei. Tritt Vollzirkulation ein, so kann noch jahrelang eine Düngung des Sees durch die aus dem Schlamm frei werdenden Stoffe eintreten, ehe die Algenproduktion auf das normale Maß zurückgeht. — Anders verhält es sich in Fließgewässern. Werden nicht fäulnisfähige und sogar giftige Abwasser in einen Fluß geleitet, so läßt sich eine Vernichtungszone feststellen, in der alle früher vorhanden gewesenen Reinwasserorganismen verschwunden sind, und erst weiter flußabwärts, nach weitgehender Verdünnung, treten in einer Verödungszone die resistentesten Arten wieder auf. Bei organisch verunreinigtem Wasser kommt es bald zu Fäulnisprozessen, an denen verschiedene Bakterien und Pilze beteiligt sind. Die Fadenbakterie *Sphaerotilus* *natans*, fälschlich „Abwasserpilz“ genannt, bildet ausgedehnte Zotten und Watten im Schmutzwasser. In Stillwasserbuchten sammelt sich schwarzer Faulschlamm an, der eine starke Sauerstoffzehrung hervorruft, die Fischsterben verursachen kann. So groß diese Veränderungen auch sein mögen, können doch nach Aufhören der Abwasserzufuhr und Ausschwemmen des Faulschlamms schon nach ein bis zwei Jahren wieder normale Bedingungen herrschen und Reinwasserorganismen siedeln. Wird ein Fluß aufgestaut, verschlechtert sich die Durchlüftung wegen der geringeren Turbulenz, und es bilden sich besonders leicht Faulschlammzonen in der Tiefe.

Welche Stoffe werden mit dem Abwasser zugeführt? Mit dem häuslichen Abwasser kommen vorwiegend Fäkalien, die reich an Phosphor und Stickstoff sind, ins Wasser. Ein großes Problem bilden heute die modernen synthetischen Waschmittel, die Detergentien (detergeo = ich wische ab), die ein großes Schaumvermögen besitzen, wodurch es nach Wasserfällen zu ganzen Schaumbergen kommen kann, die, vom Wind vertragen, angrenzende Häuser und Gärten beschmutzen. Im Neckar kam es zu Unfällen, weil Schleppkähne ganz in die Schaummassen eintauchten. Die Waschkraft dieser Mittel beruht auf der Lockerung des Molekülzusammenhangs im Oberflächenhäutchen, auf der Adsorption an Schmutzstoffen und auf der Verflüssigung fettartiger Substanzen. 90% der Waschmittel gehören zu den anionenaktiven Detergentien, deren wirksamer organischer Rest negativ geladen ist und meist als Natriumsalz verwendet wird. 10% gehört zu den nichtionischen Detergentien, bei denen es sich meist um Polyoxyäthylen handelt. Es gibt noch kationenaktive Detergentien, die als Desinfektionsmittel in Krankenhäusern Verwendung finden und Pyridinderivate oder quarternäre Ammoniumverbindungen darstellen. Die anionenaktiven Detergentien umfassen die eigentlichen Seifen, sulfonierte Öle, Alkylsulfate und besonders Alkylbenzol-

sulfonate, deren langkettige Alkylreste aus dem Erdöl gewonnen werden (z. B. Tetrapropylenbenzolsulfonat). Diese Stoffe sind sehr stabil und lassen sich biologisch nur schwer abbauen. Die beste Waschkraft haben stark verzweigte C-Ketten; biologisch abbauen lassen sich aber nur gerade, unverzweigte Ketten. Lange C-Ketten wirken auf Fische giftig, sie schädigen als erstes das Kiemenepithel. Kurze C-Ketten sind aber technisch schwieriger herzustellen. Die neuen „Bio“-Waschmittel enthalten leicht abbaubare natürliche Enzyme, können aber beim Menschen Ekzeme auslösen. Die Waschmittel enthalten aber nur 20–30% Detergentien, 70–80% sind verschiedene Füllstoffe und Zusätze, die spezielle Wasch- und Netzeigenschaften bewirken sollen. So sind besonders Phosphate enthalten, die eine große Rolle bei der Gewässerdüngung spielen, aber auch Borate, Silikate, Wasserglas, Soda, Glaubersalz, Aufheller usw. In Deutschland kommen im Jahr pro Kopf der Bevölkerung 1 kg Detergentien ins Wasser! Beim biochemischen Abbau verbraucht die Schmutzmenge, die ein Mensch pro Tag abgibt, 54 g Sauerstoff innerhalb von 5 Tagen. Man nennt diese Größe BSB₅, den fünftägigen biochemischen Sauerstoffbedarf. Der völlige Abbau dauert aber länger, bis etwa 20 Tage. Die 54 g BSB₅ nennt man Einwohnergleichwert, der freilich, je nach Lebensstandard, verschieden sein kann, in den USA z. B. 75 g. Man kann auch Industrieabwasser miteinander vergleichen, wenn man sie auf diesen Einwohnergleichwert bezieht. So entspricht z. B. bei einer Molkerei die Abwassermenge pro 1000 Liter Milch 30–80, bei einer Brauerei pro 1000 Liter Bier 300–2000, bei einem Sulfitzellstoffwerk pro 1 Tonne Zellstoff 4000 bis 6000 Einwohnergleichwerten. Diverse Fabriken liefern ganz verschiedene Arten von Abwässern. Weitaus schädlicher als die oft großen Mengen organischer, fäulnisfähiger Stoffe sind giftige oder nicht abbaufähige Beimengungen. In Erdölraffinerien, Gaswerken und Kokerreien fallen Salze, Öreste, Phenole, Teer- und Schwefelverbindungen usw. an, aus metallverarbeitenden Betrieben stammen Staub, Asche, Schlacke, Cyan, freie Säuren, giftige Metallsalze. Sind im Abwasser solche Substanzen enthalten, so müssen diese speziell aus dem Wasser entfernt werden, meist durch chemische Fällung oder Überführen in ungiftige Verbindungen (Neutralisieren von Säuren und Laugen). Oft helfen Verfahrensumstellungen, z. B. bei der Verwendung von Erdgas fällt das Phenolproblem fort. Große Gefahren für das Wasser bringt das Öl, das aus leckgewordenen Öltanks oder bei Tankwagenunfällen ausfließt, mit dem Grundwasser wandern kann und so die Trinkwasserversorgung ganzer Gebiete gefährdet. Die bakterielle und parasitäre Versuchung des Trinkwassers durch Abwasser ist gefährlich, denn die Keime von Tbc, Ruhr, Cholera, infektiöser Gelbsucht und Kinderlähmung können durch das Wasser verbreitet werden. In der Nähe von Reaktoren und Kernkraftwerken ist auch eine radioaktive Wasserverseuchung möglich.

Aber nicht nur die Binnengewässer sind heute stark von Verschmutzung bedroht, sondern sogar das Weltmeer, in das ja schließlich alle abwasserbeladenen Flüsse einmünden. In Küstennähe ist oft der Meeresboden verödet und von allerlei ins Meer gekipptem Unrat bedeckt. Giftstoffe, Insecticide usw. gelangen mit den Flüssen ins Meer. Vom Plankton wird z. B. das weltweit angewandte DDT aufgenommen und gelangt durch die Nahrungskette bis in die Fische, Wale, Robben, Seevögel und, soweit diese als Nahrungsmittel dienen, auch in den Menschen. Sogar die Pinguine in der Antarktis, weitab vom Festland, enthalten DDT in ihrem Fleisch! Durch Speicherung in einzelnen Tierarten kann ein Überschreiten der Toleranzgrenze eintreten: so zeigen die Bermudadurmvögel schon Schäden, die durch DDT hervorgerufen werden. Eine große Gefahr im Meer ist die Ölverschmutzung. 3500 Tanker fahren auf allen Meeren und transportieren ungeheure Mengen Erdöl. Es braucht gar nicht zu solchen Katastrophen wie mit dem Tanker „Torrey Canyon“ kommen, wodurch an der englischen und französischen Küste großer Schaden angerichtet wurde; jeder Tanker flutet nach dem Abladen seine Tanks mit Meerwasser und entläßt große Mengen von Ölrückständen. Im Bristolkanal wurden in einem Jahr 400000 t Ölrückstände in das Meer entlassen. — Doch zurück zu den Binnengewässern. **Welche Wege können eingeschlagen werden, um das anfallende Abwasser zu reinigen? Voraussetzung ist eine gute Schwemmkanalisation, die alles Abwasser**

eines Wohngebietes einer zentralen Kläranlage zuführt. Die Reinigung dieser Abwässer, von denen die giftigen Wässer verschiedener Betriebe abgehalten werden müssen, erfolgt in mehreren Stufen. Die erste Reinigungsstufe umfaßt die mechanische Reinigung. Nachdem durch Rechen die größten Bestandteile zurückgehalten wurden, erfolgt in großen Absetzbecken durch Verminderung der Fließgeschwindigkeit eine Trennung der suspendierten Partikel vom eigentlichen Abwasser. Dieses enthält nun gelöste organische Substanzen, die zur Hauptsache aus Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten bestehen, den Resten und Produkten von Mensch, Tier und Pflanze.

In der 2., biologischen Reinigungsstufe, werden diese gelösten Stoffe in erster Linie von Bakterien schrittweise zerlegt. Es existieren praktisch für jeden Schritt irgendwelche Spezialisten, die die anfallenden Endprodukte des vorhergehenden sofort angreifen. Diese Kette geht so weit, bis alle organischen Substanzen remineralisiert sind, also als CO_2 , H_2O , NH_3 , NO_3 usw. vorliegen. Das Bakterium *Clostridium beijerinckii* kann sogar die Pentosane (polymerisierte Pentosen) aus Sulfitablaugen von Papierfabriken vergären. Bei Zusatz von Maismehl, Hefeextrakt und Salzen kann durch diese Gärung Aceton und Butanol gewonnen werden. Aber nicht nur natürlich vorkommende Produkte können abgebaut werden, sondern glücklicherweise auch viele der synthetisch erzeugten Verbindungen, z. B. Nitrophenole.

In den Kläranlagen müssen Einrichtungen geschaffen werden, den Bakterien und Pilzen gute Lebensbedingungen zu bieten: Unterkunft, Nahrungszufuhr und Sauerstoffversorgung muß gewährleistet sein. Dazu bieten sich verschiedene Möglichkeiten an:

a) Abwasserverrieselung und -verregnung auf landwirtschaftliche Flächen, die dadurch gedüngt werden. Stickstoff und Phosphor werden dabei vollständig aus dem Wasser entfernt. Die Landwirtschaft hat aber nicht das ganze Jahr über gleichmäßigen Wasserbedarf, und Obst- bzw. Gemüsekulturen und Viehweiden dürfen aus hygienischen Gründen nicht mit Abwasser behandelt werden. Außerdem ist es schwer, in der Nähe großer Siedlungen genügend große Flächen dafür verwenden zu können.

b) Abwasserfischteiche können auch eine sehr gründliche Reinigung bewirken und noch dazu reichen Fisch-ertrag bringen. Beispielgebend ist das Teichgut Birkenhof der Stadt München, das 1928/29 errichtet wurde und lange Zeit das gesamte, mechanisch vorgereinigte Abwasser Münchens verwerten konnte. 30 Teiche zu 7 ha Größe erstrecken sich auf 7 km Länge. Das ca. 1 : 5 verdünnte Abwasser wird zwecks O_2 -Anreicherung über Wassersprenger den flachen Teichen zugeführt. Im Wasser läuft die ganze Nahrungskette von Bakterien und Algen über Protozoen, Kleinkrebs, Würmer und Insektenlarven bis zu den eingesetzten Karpfen ab, die den Sommer über je 1–1,5 kg zunehmen. Dann wird abgefischt, und den Winter über bleiben die Teiche trocken, daß der Schlamm durchfrieren und restlos mineralisieren kann.

c) Künstliche biologische Verfahren sind aus Platzmangel in der Nähe der Großstädte nötig geworden. In sogenannten Füllkörpern oder Tropfkörpern, das sind Behälter, die mit kleingeschlagenem Material mit großer Oberfläche (Bimsstein, Lava, Ziegel, Schlacke) gefüllt sind, bilden die Mikroorganismen einen dichten biologischen Rasen, der dem von oben durchrieselnden Abwasser die gelösten Stoffe entzieht. Durch aufsteigende Luft ist für genügende Atmung gesorgt. Eine andere Methode ist das „Belebtschlammverfahren“, bei dem die Bakterien frei, oder auf Schlammpartikeln sitzend, im Preßluft am Beckengrund eingeblasen oder durch rotierende Bürsten hingeschlagen. Dadurch wird auch der Schlamm ständig mit neuem Abwasser in Berührung gebracht. In einem Nachklärbecken wird der Schlamm durch Sedimentieren rückgewonnen und wieder dem frischen Abwasser zugesetzt, denn er ist ja nicht Abfall, sondern das reinigende Agens.

Das abfließende gereinigte Wasser enthält zwar keine fäulnisfähigen Stoffe mehr, ist aber mit den mineralisierten Komponenten, z. B. Nitrat und Phosphat, angereichert, die in den Gewässern die arge Düngung bewirken. Man geht daher daran, in einer dritten Reinigungsstufe auch diese Stoffe zu entfernen. Viele Methoden sind noch im Versuchsstadium. Phosphat kann nach Zusatz von

FeCl_3 ausgeflockt oder mit Kalk als Apatit gefällt und sedimentiert werden. Zur Stickstoffelimination bietet sich vielleicht eine biologische Methode an: Versuche haben gezeigt, daß die im Belebtschlamm nitrifizierenden Bakterien unter anaeroben Bedingungen Nitrat und Nitrit vollständig zu N_2 reduzieren können.

Noch vieles wäre über die Reinhaltung und Reinigung unserer Gewässer zu sagen. Leider sind trotz aller Bemühungen bis jetzt nur Teilerfolge zu verzeichnen und in Zukunft wird sich die Wahl ergeben, weiterhin billig zu konsumieren, dabei aber durch fortschreitende Verpestung der Umwelt schließlich mit der eigenen Gesundheit zu bezahlen, oder wir müssen, um den Wohlstand gesund genießen zu können, wesentlich mehr in die Reinhaltung der Gewässer und der gesamten Natur investieren.

Literatur:

- LIEBMANN, Hans, 1962: Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, I, Verlag R. Oldenbourg, München. 588 Seiten.
SCHUA, Leopold, 1962: Die Reinhaltung unserer Gewässer. Kosmos-Bibliothek, Band 235. Stuttgart. 80 Seiten.
WETZEL, A., 1969: Technische Hydrobiologie. Akadem. Verlagsges. Geest und Portig, Leipzig.
Torrey Canyon: Pollution and marine Life. Edited by J. E. Smith, Cambridge University Press 1968.
Veröffentlichungen aus der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Zürich, Schweiz.
Wasser und Abwasser.
Gewässer und Abwasser. Eine limnologische Schriftenreihe, August Bagel Verlag, Düsseldorf.

Dr. J. Urschler

Was ist Chemosystematik?

1. Chemie als Hilfswissenschaft der Systematik

Systematik im weiten Sinn des Wortes ist die Wissenschaft vom Vergleich der Organismen, ihrer Merkmale und Merkmalskategorien; wir können auch sagen: Verwandtschaftsforschung. Jenes Teilgebiet unseres Faches, das sich mit dem Beschreiben, Benennen und Ordnen der Lebewesen beschäftigt, wird heute meist als Taxonomie bezeichnet.

Die modernen Systematiker bemühen sich, bei ihrer Arbeit möglichst viele verschiedenartige Merkmale zu berücksichtigen. Zu der klassischen Methode, der geographisch-morphologischen, sind in den letzten Jahrzehnten weitere Arbeitsweisen gekommen, die, oft unter großem Aufwand an Zeit und Experimentiertechnik, jene Merkmale feststellen, die unseren Sinnesorganen nicht mehr unmittelbar zugänglich sind. Man untersucht mit dem Mikroskop die Anatomie, etwa die Oberflächenstruktur von Blütenstaubkörnern oder die nur im Elektronenmikroskop erkennbare Feinstruktur ihrer Zellwände, man zählt und zeichnet die Chromosomen, man studiert die Entwicklung von Embryonen und die Lebensbedingungen am natürlichen Standort, man kreuzt und züchtet, man arbeitet mit Statistik und Computereinsatz an der Aufklärung von Populationsstrukturen und man analysiert die chemischen Inhaltsstoffe und ihren Stoffwechsel.

Es entspricht einem Zug unserer Zeit, daß 2 Gebiete, die intellektuell und technologisch so weit auseinander liegen wie Chemie und Systematik, sich zu fruchtbarener Gemeinschaftsarbeit zusammenschließen. Der chemosystematische Ansatz hat sich vor allem in der Botanik, in bescheidenerem Ausmaß auch in der Zoologie bewährt.

Zur Beantwortung der oben gestellten Frage können wir etwa folgendes sagen: Die chemosystematische Arbeit besteht praktisch gesehen aus einer Verquickung von chemischer Analyse und Interpretation der Analysergebnisse aus dem Blickwinkel systematischer Fragestellungen. Sie liefert der Verwandtschaftsforschung neue Daten und stellt sie dadurch auf eine solidere Grundlage. Sie ist die Wissenschaft vom Vergleich der chemischen Merkmale der Organismen.

2. Die praktische Arbeit

Erste Hinweise auf besondere Inhaltsstoffe erhält der Chemosystematiker durch Geruch, Geschmack und Farbe seiner Untersuchungsobjekte sowie durch einfachste Nachweisreaktionen am mehr oder weniger intakten Gewebe. (Stärkekörner färben sich mit Jodtinktur blau, gerbstoffreiche Zellsäfte werden mit Eisensalzen schwarz, in grünen Blättern entstehen nach dem Eintauchen in heißes Wasser aus farblosen Chromogenen dunkelbraune Pigmente usw.)

Das folgende Beispiel soll zeigen, wie man über einfache Beobachtungen Schritt für Schritt bis zu einer einwandfreien chemischen Analyse vordringen kann.

Getrocknete Blüten verschiedener gelbblühender Hahnenfuß- (*Ranunculus*-) Arten werden etwa eine Stunde lang in Methanol gekocht, der Rohextrakt in kleinen Tropfen mehrmals nebeneinander auf Chromatographiepapier aufgetragen und in dem Laufmittel Butanol : Eisessig : Wasser 4 : 1 : 5 absteigend chromatographiert. (Herstellung des Laufmittels: 4 Volumenteile Butanol, 1 Vol.teil Eisessig, 5 Vol.teile Wasser vermischen, gut durchschütteln, 24 h im Scheidegefäß stehen lassen; die Phase, die sich unten absetzt, verwerfen, die Oberphase verwenden.)

Nach dem Trocknen der Chromatogramme sieht man im Tageslicht nur einen langgestreckten, verschwommenen gelben Fleck. Unter der UV-Lampe, besonders nach dem Besprühen mit einer 5prozentigen wässr. Lösung von Aluminiumchlorid oder einer 25prozentigen von basischem Bleiazetat zeigt sich eine Vielzahl von scharf umrissenen Flecken in blauen, gelben, gelbgrünen und orangen Fluoreszenz- und dunkelbraunen Absorptionsfarben. Jeder Fleck entspricht einem Inhaltsstoff. An ausgeschnittenen Chromatogrammflecken kann man jeden Stoff in reiner Form untersuchen.

Eine mit allen Raffinessen moderner Untersuchungstechnik (UV-, IR-, MNR-Spektren usw.) durchgeführte chemische Analyse dieser Stoffe ergab, daß es sich um Abkömmlinge des sehr seltenen Flavonols Gossypetin handelt. Innerhalb der Gattung *Ranunculus* (Hahnenfuß) kommt es nur bei jenen Arten vor, die am Grunde der Kronblätter eine Nektarschuppe tragen. Im übrigen wurde Gossypetin nur bei wenigen Vertretern der Korbblütler und Malvengewächse gefunden.

Bis zur Stufe der Chromatographiersystematik kann jedermann, gleichsam daheim in Mutters Küche, chemosystematische Forschungen betreiben. Er kann z. B. feststellen, wie sich die Fleckenmuster bei verschiedenen Arten einer Gattung, in verschiedenen und verschiedenen alten Teilen einer Pflanze, und bei Individuen, die an verschiedenen Fundorten oder unter ungleichen Standortsverhältnissen gewachsen sind, voneinander unterscheiden.

Wo sich alle Flecken exakt definieren lassen, kann es sinnvoll sein, ihre verschiedenartige Kombination in Ziffern auszudrücken und aus diesen Indizes zu errechnen, die den Grad der Ähnlichkeit bzw. Verschiedenheit zwischen Pflanzen und Pflanzengruppen ausdrücken (z. B. Zahl der den Arten A und B gemeinsamen Flecke mal 100 dividiert durch Gesamtzahl der Flecke in A und B ergibt den Grad der chemischen Übereinstimmung in %).

In Einzelfällen ist es möglich, Sippen einwandfrei an ihren Chromatogrammen zu erkennen. (Der Ausdruck Sippe steht für eine systematische Kategorie beliebiger, nicht festgelegter Rangordnung, z. B. Familie, Gattung.) Dies gelingt z. B. bei den Milchsaftchromatogrammen mancher, aber nicht aller Mohnarten. Bei Petunien lassen sich verschiedene Genotypen an Hand der Blütenchromatogramme rasch und sicher erkennen. Werden in Chromatogrammen von Weintrauben Anthocyandglykoside festgestellt, so ist dies ein verlässlicher Hinweis darauf, daß die Trauben von einer Sippe stammen, in die amerikanische *Vitis*-Arten eingekreuzt wurden. Auch natürlich vorkommende Bastardarten kann man nach Chromatogrammen als solche erkennen, etwa nordamerikanische Veilchen und Streifenfarne.

So nützlich die Chromatographie für die Systematik sein mag, legt man heute doch gesteigerten Wert darauf, über diese Stufe hinauszukommen, und die Inhaltsstoffe einwandfrei zu identifizieren, ehe man aus chemischen Befunden Schlüsse für Taxonomie und Systematik zieht.

3. Vielfalt der Fragestellungen

Schmöker man ein bißchen in der chemosystematischen Literatur, so stößt man auf eine Vielfalt von Fragestellungen, die in andere Bereiche der Biologie ausstrahlen und die unser Gebiet keineswegs als nüchterne moderne Spezialwissenschaft, sondern durchaus noch als „scientia amabilis“ erscheinen lassen.

Da liest man, daß sich beim Veredeln Reis und Unterlage chemisch vertragen müssen; daß Halbschmarotzer hinsichtlich ihrer Wirte weniger wählerisch sind als Vollschmarotzer; daß man aus dem Vorkommen desselben Schmarotzers auf verschiedenen Wirten eine Verwandtschaft der Wirtspflanzen ableiten kann. Da erfährt man,

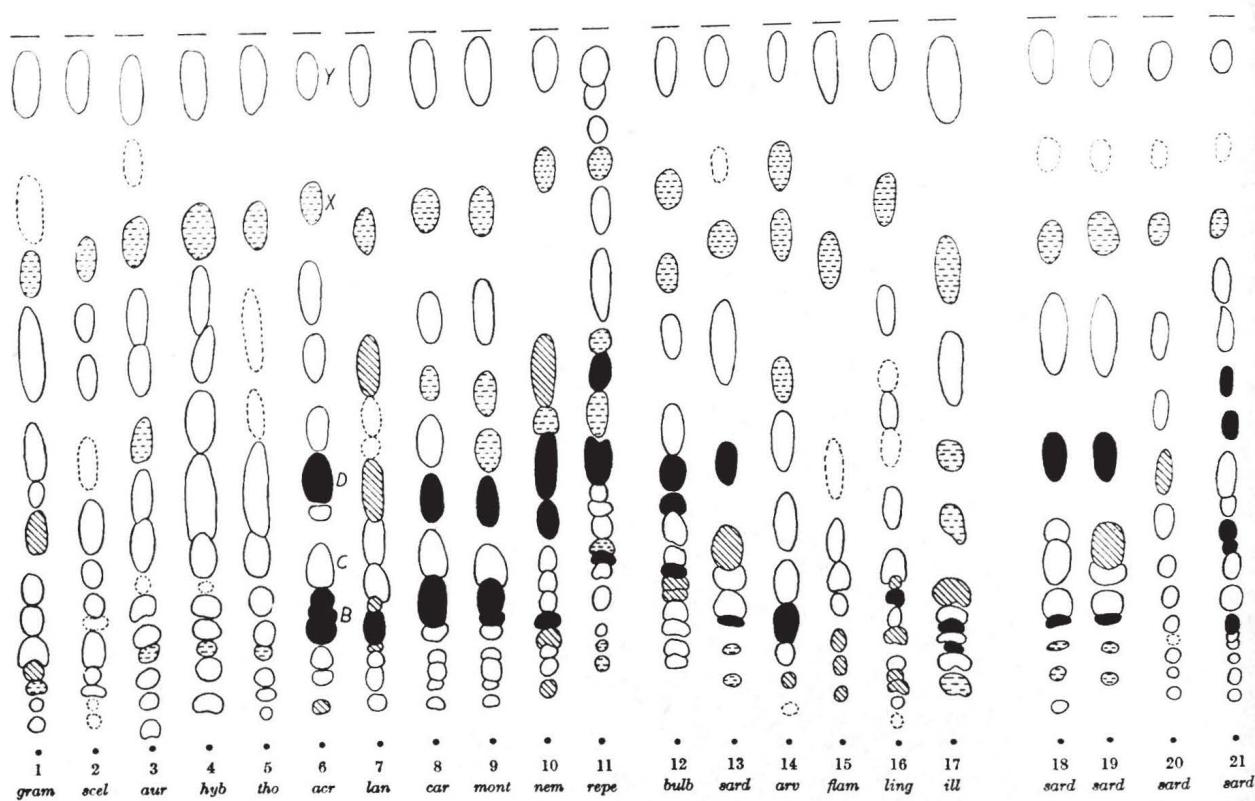
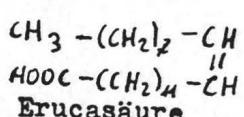
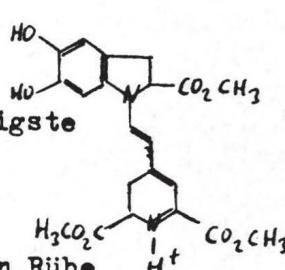
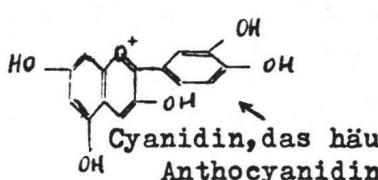
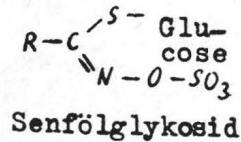
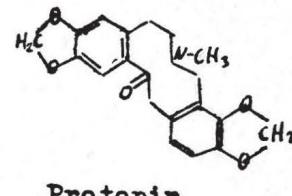
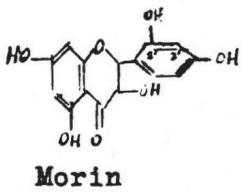
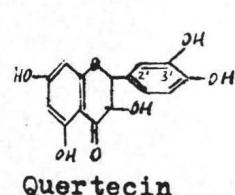
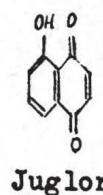
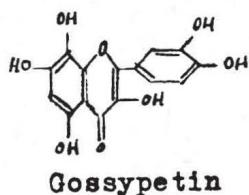


Abb. 1—21. Auswahl von Papierchromatogrammen ganzer Blüten (Abb. 1—19), von Kronblättern (Abb. 20) und Staubblättern (Abb. 21) folgender *Ranunculus*-Arten: 1 *gramineus*, 2 *scleratus*, 3 *auricomus*, 4 *hybridus*, 5 *thora*, 6 *acris*, 7 *lanuginosus*, 8 *carinthiacus*, 9 *montanus*, 10 *nemorosus*, 11 *repens*, 12 *bulbosus*, 13 *sardous*, 14 *arvensis*, 15 *flammula*, 16 *lingua*, 17 *illyricus*, 18—21 *sardous*. — Al-besprühlt im UV: ■ dunkelbraun, ▨ orange oder ocker, ▨ leuchtend blau, ▨ leuchtend gelb oder gelbgrün, ▨ nur auf anders besprührten Chromatogrammen erkennbar. Weitere Farb- und Intensitätsunterschiede wurden nicht dargestellt; in Abb. 6 ist der große Fleck D z. B.

wesentlich blasser als der kleine Fleck B. ● Startpunkt, — Lösungsmittelfront, Laufmittel BEW 415, absteigend.

Die Arten ohne Nektarschuppen (2—5) sind frei von im UV dunklen Flecken. In der sect. *Chrysanth* (6—14) nimmt der Gehalt an B ab, der an D zu. Ganze Blüten des *R. sardous* von zwei verschiedenen Fundorten (18 und 19) zeigen das übliche Ausmaß an Variabilität innerhalb einer Art. Die Chromatogramme einzelner Blütentüpfel unterscheiden sich bei dieser Art aber deutlich voneinander. Die Staubblätter (21) sind besonders reich an Inhaltsstoffen, stark ausgeprägt sind im UV braunen Flecke.



daß in der Tabakpflanze die Nikotinsynthese in den Wurzeln beginnt und in den Blättern vollendet wird; daß Blausäure in den Zellen an verschiedene größere Moleküle gebunden ist, aus denen sie erst beim Zerkleinern des Gewebes durch Fermente in Freiheit gesetzt wird; daß der HCN-Gehalt im Flachs bei starkem Licht zunimmt und sogar tagesperiodischen Schwankungen unterliegt; daß Äpfel nur auf der Sonnenseite rotbackig sind; daß sich 3 Gattungen der Walnußgewächse durch die jahreszeitlichen Schwankungen im Wassergehalt ihrer Zweige unterscheiden.

Wer in seinem Garten einen Nußbaum stehen hat, wird wissen, daß der Platz unter diesem für den Anbau so gut wie verloren ist. Die Nußblätter schützen sich durch das Chinon Juglon gegen Bakterien, die durch kleine Wunden eindringen könnten. Juglon ist wasserlöslich und wird vom Regen ausgeschwemmt. Stehen unter der Baumkrone junge Pflanzen, deren Haut noch zart und durchlässig ist, so werden sie durch die giftige Traufe schwer geschädigt.

Unter den Giftpflanzen, die den südwestafrikanischen Farmern zu schaffen machen, bewirkt eine, Dichapetalum, daß Weidetiere, die davon gefressen haben und kurz darauf angestrengt oder erschreckt werden, plötzlich tot umfallen. Ursache der Vergiftung sind organische Fluorverbindungen, fluorhähige Fettsäuren und Fluoresigsäure, die sich im Körper der Tiere in Fluorzitronensäure umwandeln und dann den lebenswichtigen Zitronensäurezyklus — also einen Teil des Atmungsstoffwechsels — blockieren.

Schwere Gifte sind auch die meisten Alkaloide. Über ihre Bedeutung für die Pflanzen ist man sich noch nicht im klaren. Schützen sie gegen Tierfraß? Sind sie Ausscheidungsstoffe? Einiges spricht für die zweite Auffassung. Alle Unterwasserpflanzen sind alkaloidfrei. Sie können wasserlösliche Abfallstoffe direkt an die Umgebung abgeben. Die Landpflanzen hingegen besitzen kein ausreichendes Ausscheidungssystem. Sie müssen daher ihre Stoffwechselschlacken in unschädlicher Form im Körper, vorzugsweise in den Zellsäften, ablagern.

Von solchen traditionellen Fragestellungen führt ein gewaltiger Sprung zu den aktuellen Themen.

Sogar an den Umgang mit Computern haben sich die Botaniker mittlerweile gewöhnt. Schwankungen in der Zusammensetzung von Terpen gemischen aus Pflanzen, die über ein großes Gebiet verbreitet sind, kann man von einem Gaschromatographen automatisch registrieren lassen. Die gedruckten Ergebnisse werden direkt einem Computer eingespeist, der so programmiert ist, daß seine Antworten bei der Beurteilung der Populationsstrukturen helfen. Vergleichende Untersuchungen dieser Art bewähren sich bei der Rekonstruktion der Besiedlungsgeschichte von Landschaften durch Pflanzen. Derzeit sucht man auf diese Weise eine Erklärung dafür, daß die Bewohner der nord- und südamerikanischen Wüsten einander sehr ähnlich sehen, obwohl sie durch weite Gebiete von Wasser und tropischem Urwald getrennt sind.

Da die Serodiagnose in ihrer Entwicklung stehengeblieben und aus der Mode gekommen ist, versucht man heute, den Verwandtschaftsgrad zweier Sippen durch DNS-Hybridisierung zu bestimmen. Man bringt isolierte DNS-Stränge zusammen und registriert den Grad der DNS-Strangpaarung. Dieser wird um so größer sein, je länger die Strecken der Moleküle sind, auf denen die Nukleotidbasen einander entsprechen, d. h. je näher die DNS beider Partner und damit wohl auch die Partner selbst miteinander verwandt sind. Trotz jahrelanger Bemühungen konnte man die Probleme der Untersuchungstechnik noch nicht in befriedigender Weise lösen, so daß mit einer Anwendung dieser vielversprechenden Methode auf breiter Basis vorerst nicht zu rechnen ist.

4. Was heißt verwandt?

4.1. Natürliche Verwandtschaft

Im folgenden wollen wir nur ganz wenige Punkte aus dem Problemkreis „Pflanzenchemie und Pflanzenverwandtschaft“ herausgreifen.

Welche Schlüsse kann man aus dem Vorkommen von Pflanzeninhaltsstoffen auf die Verwandtschaft der Pflanzen und die Verwandtschaft der Stoffe ziehen?

Am einfachsten ist es, aus dem Grad der Ähnlichkeit den Verwandtschaftsgrad abzuleiten. Wir haben oben gesehen, daß man das Vorkommen bestimmter Stoffkombinationen in Pflanzen mathematisch fassen und gleichsam

in Ähnlichkeitsziffern umrechnen kann. Aber ist größtmögliche Ähnlichkeit tatsächlich gleichbedeutend mit nächster Verwandtschaft?

Das gelbe, zellsaftlösliche Flavonoid Morin unterscheidet sich vom isomeren Quercetin nur durch die Stellung einer OH-Gruppe. Man könnte also an eine nahe Verwandtschaft beider Stoffe denken. Aber während Quercetin sehr weit verbreitet ist — es wurde in über 70 Pflanzenfamilien nachgewiesen —, konnte man Morin bisher nur bei den Maulbeergewächsen (Moraceae) finden. Dieses merkwürdige Verhalten läßt sich aus der Biosynthese erklären. Quercetin entsteht im Stoffwechsel aus einem kurzen Weg aus allgemein verbreiteten Vorläufern. Beim Morin sind für das Abtrennen der OH-Gruppe am C₃ und das Anfügen am C₅ einige zusätzliche, ungewöhnliche Syntheseschritte erforderlich, zu denen nur die Maulbeergewächse befähigt sind. Die Ähnlichkeit im Formelbild täuscht hier eine enge Verwandtschaft vor, die in Wirklichkeit nicht gegeben ist.

Manchmal sieht man schon am Formelbild, daß ein Stoff einen schwierigen Biosyntheseweg hinter sich hat. Dies ist z. B. bei dem Alkaloid Protopin der Fall, dessen Molekül äußerst komplex gebaut ist und das nur bei den Mohngewächsen und in der Gattung Nandine (Berberitzengewächse) vorkommt. Man darf also annehmen, daß Mohngewächse und Berberitzengewächse verwandt sind, zumal beide Familien außerdem noch eine Reihe von Alkaloiden enthalten, welche höchstwahrscheinlich als gemeinsame Biosynthese-Vorläufer die Aminosäure Phenylalanin besitzen.

Diese chemischen Befunde machten es notwendig, die Verwandtschaftsbeziehungen der Mohngewächse nochmals gründlich zu überprüfen. Bisher hatte man diese Familie (in weiter Entfernung von den Berberitzengewächsen) zusammen mit Kreuzblütlern, Kapperngewächsen u. a. in einer Ordnung untergebracht, und zwar deshalb, weil Mohngewächse meist 2zählige Blüten haben, Kreuzblüter zwar 4zählige, die man aber als 2zählig deuten kann, wenn man postuliert, daß 4 Kron- und 4 Staubblätter durch Verdoppelung von nur 2 Anlagen entstanden sind. Verfolgt man aber die Blütenentwicklung von den ersten Organanlagen an, so ergibt sich, daß diese Deutung falsch ist. Kreuzblüter und Kapperngewächse besitzen echte 4zählige Blüten, ihre Blütenenteile entwickeln sich auf anderen Wegen und aus anders gearteten Anlagen als die der Mohngewächse. Auch serologische, pollennmorphologische, embryologische und chemische Befunde lassen große Unterschiede zwischen beiden Familiengruppen erkennen. Kreuzblüter und Kapperngewächse sind alkaloidfrei; sie enthalten ganz andere Stoffe, nämlich Senfölglycoside, die für den Wohlgeschmack von Kohlgemüsen, Radieschen und Senf verantwortlich sind. Heute stellt man die beiden Familiengruppen in verschiedene Ordnungen.

Nicht immer weisen alle Daten in dieselbe Richtung. Wenn wir uns über rote und blaue Blumen freuen, so sind es Anthocyane, also flavonähnliche Verbindungen, die den Farbeffekt auslösen. Nur in 10 Familien der Ordnung Zentalsamige (u. a. Gänsefuß-, Fuchsschwanz- und Kaktusgewächse) wird alles, was rot ist, durch stickstoffhaltige Betacyane gefärbt. Nie kommen Anthocyane und Betacyane zusammen. So findet die enge Zusammengehörigkeit der 10 Familien, die in bezug auf die Kaktusgewächse nicht ganz eindeutig war, eine starke Stütze. Aber was soll nun aus den Nelkengewächsen werden, die bisher als zentrale Familie dieser Ordnung angesehen wurden, die aber statt Betacyane Anthocyane enthalten? Hier haben sich die Systematiker ein neues Problem geschaffen, über das sie sich noch die Köpfe zerbrechen müssen.

Wie wir an den Beispielen zu zeigen versuchten, bemüht sich die moderne Systematik, durch Vergleichen, Bewerten und Interpretieren möglichst vieler verschiedenartiger Merkmale die Pflanzen in eine möglichst natürliche Ordnung zu bringen. Dabei werden oberflächliche Ähnlichkeiten statischer Zustände weniger beachtet als die dynamischen Veränderungen der Merkmale während ihres Entstehens. So legt man auch in der Pflanzenchemie mehr Wert auf Biosynthesewege als auf die Endausgestaltung der Moleküle.

Aber wir sind mit unseren Überlegungen noch nicht am Ende. Was uns letztlich vielleicht am meisten interessiert, ist die tatsächliche Verwandtschaft im Sinn eines kausalen, historischen Abstammungszusammenhangs.

4.2. Phylogenetische Verwandtschaft

Eine schwierige Frage taucht z. B. immer dann auf, wenn ein Inhaltsstoff in Pflanzen gefunden wird, die miteinander nicht verwandt sind. Hat sich dieses Merkmal mehrmals auf getrennten Wegen entwickelt? Wir müssen nun noch einen Schritt zurückgehen; vom fertigen Stoff über seine Biogenese zur stammesgeschichtlichen (=phylogenetischen) Entwicklung. Wir stehen hier vor sehr großen Schwierigkeiten, weil wir fast ausschließlich aus Beobachtungen an gegenwärtig lebenden Organismen auf deren Vorfahren zurücksließen müssen.

Ein Merkmal kann sich z. B. dann mehrmals parallel entwickelt haben, wenn es einen Anpassungsvorteil in einer neuen Situation bietet. Vieles spricht dafür, daß sich die Samenpflanzen in warmen Klimazonen entwickelt haben. Jene Sippen, die auch heute noch in den Ursprungsgebieten leben, konnten archaische Merkmale konservieren, die Auswanderer, die in klimatisch ungünstigere Gebiete vordrangen, waren zu einer Umstellung gezwungen. Unter dem Druck der neuen Verhältnisse entstanden in ihnen neue, „fortschrittliche“ Anpassungsmerkmale. Einige chemische Charaktere werden in diesem Sinn interpretiert.

Die vorwiegend tropischen Kappergewächse enthalten normale Samenöle, die außertropischen Kreuzblütler als Hauptfettsäure Erucasäure. Stärke und Rohrzucker sind im Pflanzenreich weit verbreitet und gelten als altertümliche Reservestoffe. Außertropische Sippen enthalten oft ungewöhnliche Kohlenhydrate, die ihren Verwandten in den heißen Gegenden fehlen. So finden wir bei den Lippenblütlern unserer Breiten verschiedene Oligosaccharide, bestehend aus Rohrzucker und 1-4 Galactoseresten, und bei Irisarten und Gräsern Fructane.

Unter den Flavonoiden werden Leukoanthocyane und trihydroxylierte Moleküle als ursprünglich angesehen. Für die Formen des Holzstoffes Lignin kann man je nach den Hauptbestandteilen eine Reihe von alten bis zu abgeleiteten Typen aufstellen.

Was wir über die Entwicklungstendenzen chemischer Merkmale aussagen können, liegt auf der Ebene der Merkmalsphylogenetik. Eine Phylogenetik der Pflanzen im Sinne eines Stammbaumes ist wesentlich schwerer zu erarbeiten.

Nicht alle heute lebenden Sippen haben sich gleich rasch und gleich weit entwickelt; in jeder von ihnen finden sich nebeneinander konservative, fortschrittliche u. U. auch rückschrittliche Merkmale; die Entwicklungsreihen, die man durch Merkmalsvergleiche an verschiedenen Organismen erhält, sind oft schwer zu deuten; von ausgestorbenen Pflanzen finden wir kaum brauchbare Spuren.

Die experimentelle Vererbungsforschung kann zwar künstlich Erbänderungen (Mutationen) auslösen, aber zur Klärung der wichtigen Frage, wie sich solche Organismen mit verändertem Erbgut in der natürlichen Umwelt bewähren, wurden bisher nur ganz wenige Versuche angestellt.

Dennoch dürfen wir für die Fragen der Phylogenetik gerade von der Chemie sehr viel erhoffen. Jede bleibende Veränderung von Merkmalen oder Organismen geht auf eine Veränderung der Erbstruktur zurück. Über den Chemismus der Gene und den Mechanismus ihrer Wirkungsweise haben die Naturforscher in den letzten Jahren und Jahrzehnten Wesentliches erarbeitet, dessen sich die Systematik und Phylogenetik sinnvoll bedienen darf.

Nur bei den chemischen Merkmalen spielen sich sowohl die Mutationen als auch jene 4 physiologischen Aspekte, Stoffwechsel, Energiewechsel, Informationswechsel, Formwechsel, welche die Ausprägung von Merkmalen in einem Organismus bewirken, auf einer materiellen Ebene ab. Was dem Morphologen noch unmöglich ist: den Entstehungsweg eines Merkmals Schritt für Schritt zu verfolgen, gelingt dem Biochemiker durchaus.

Besonders kurz stellen wir uns den Weg vom Gen zum Protein vor. Die Primärstruktur der Proteine, eine bestimmte Folge von (einer Auswahl aus 20) Aminosäuren kann man direkt auf einen Code von 4 zu Dreiergruppen vereinigten Nukleotidbasen zurückführen, so daß letztlich alle Unterschiede in den Eiweißstoffen auf unterschiedliche Anordnung von 4 Strukturelementen im Gen = DNS-Molekül zurückzuführen sind. Was sich im Laufe der Stammesgeschichte an den Eiweißmolekülen ändert, muß

durch entsprechende Veränderungen im genetischen Code, durch Genänderungen = Mutationen bedingt sein. Für jedes Abweichen vom Grundtypus eines Proteins ist ein Mutationsschritt erforderlich. Je stärker die Abweichung, um so größer muß die Zahl der Mutationsschritte sein, die sich zwischen den ursprünglichen und den abgeleiteten Eiweißstoffen eingeschoben haben.

Ein Eiweißstoff, dessen Primärstruktur man kennt, ist z. B. das wichtige Atmungsferment Cytochrom C. In einzelnen Stämmen des Pflanzen- und Tierreiches hat man verschiedene Formen dieses Fermentes festgestellt. Alle Formen lassen sich von einem Prototyp ableiten, man kann sogar die Zahl der Mutationsschritte angeben, die zu den einzelnen Cytochrom-C-Typen geführt haben, und jene Molekültypen rekonstruieren, die im Laufe der Stammesgeschichte verlorengegangen sind. Bei den Wirbeltieren stimmt der Cytochrom-C-Stammbaum weitgehend mit dem morphologischen Stammbaum überein. An Hämoglobin, Myoglobin, verschiedenen Hormonen und Fermenten hat man in geringerem Umfang ähnliche Untersuchungen durchgeführt. Änderungen in der Aminosäuresequenz bewirken lediglich, daß die wenigen hoch entwickelten Molekültypen dieselbe Funktion etwas langsamer und schwerfälliger durchführen als die höher entwickelten.

Um die Frage nach der Verwandtschaft nochmals zu beleuchten: Die Systematiker bemühen sich, die Befunde, die sie an heute lebenden Organismen gewinnen, phylogenetisch zu interpretieren, d. h. die stammesgeschichtliche Entwicklung von Merkmalen und Organismen zu rekonstruieren.

*

Zweifellos sind die Chemiker mit ihrem Periodensystem den Biologen um eine Nasenlänge voraus. Wir befinden uns, wenn ein solcher Vergleich gestattet ist, bestenfalls im Stadium Döbereinerscher Triaden.

Unser Merkmalskatalog ist noch so unvollständig (und das Erkennen umfassender Zusammenhänge noch so wenig weit gediehen), daß wir von dem Ideal eines einheitlichen Systems, das den natürlichen, stammesgeschichtlichen Zusammenhängen gerecht wird, heute weit entfernt sind. Wir müssen uns einstweilen damit zufriedengeben, daß mehrere, nach ihren Zwecken verschiedene Systeme nebeneinander bestehen und daß jedes von ihnen provisorischen Charakter hat. Ja man kann beinahe sagen, daß jeder Systemvorschlag voreilig ist.

Um so interessanter ist es, an der Fülle der noch offenen Fragen mitzuwirken. Es sieht so aus, als hätten die Biologen mit ihrem System für die nächsten 500 Jahre noch genügend Arbeit, um das Leben vieler Forscher angenehm auszufüllen.

Literatur:

- R. E. Alston u. B. L. Turner: *Biochemical Systematics*. Englewood Cliffs, N. J. 1963.
R. Hegnauer: *Chemotaxonomie der Pflanzen*. Bd. 4. Basel 1966.
Mehrere Einzelarbeiten von Hegnauer, Merxmüller, Turner, Urschler

Wie läßt sich der Deckenbau in den Kettengebirgen nachweisen – gezeigt am Beispiel der westlichen Nordkalkalpen

Trotz der nunmehr bereits über 120 Jahre währenden intensiven geologischen und strukturellen Forschung in den Alpen bietet dieses Gebirge im Herzen Europas, von dem die grundlegenden Erkenntnisse über Bau und Mechanismus der Entstehung der Kettengebirge der Erde aus gegangen sind, noch immer scheinbar unüberwindliche Schwierigkeiten bei der Deutung der großtektonischen Bauformen ganzer Gebirgsteile. Grundsätzlich gegensätzliche Meinungen ganzer Schulen und Forschergruppen stehen einander trotz gleicher Beobachtungsmöglichkeiten unüberbrückbar gegenüber.

Eines der eklatantesten Beispiele hierfür bietet der Westteil der Nördlichen Kalkalpen mit ihrem Tiroler,

Vorarlberger und bayrischen Abschnitt (Abb. 1). Hier hatte der Tiroler Geologe Otto AMPFERER in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts in beispiellosem Einsatz mehr als den ganzen Tiroler Anteil im Detail kartiert und hierbei schon früh (1911—1915) den tektonischen Aufbau des Gebirges aus drei Decken, der Allgäu-, Lechtal- und Inntaldecke, erfaßt. Damit konnte zum erstenmal befriedigend die flache Überlagerung von Triasseren mit mächtigem Hauptdolomit über Jura- und Kreideschiefern erklärt werden. Diese Erscheinung ist ja vom Tannheimer Tal im Norden über die Seitentäler des Lechtals nach Süden hin so weit verbreitet und landschaftlich so auffällig, daß C. W. GÜMBEL, der Pionier der Erforschung der bayrischen Kalkalpen, ursprünglich (1856) an ein jüngeres, oberjurassisches Alter des „oberen Hauptdolomites“ geglaubt hatte. Die Lösung im Sinne der **Deckenlehre**, das heißt, die Erklärung der weithin flach auflagernden Deckschollen oder Triasstreifen über Jüngerem durch seitlichen Ferneinschub war so überzeugend, war ferner in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen durch das sich ansammelnde weitere gewaltige Beobachtungsmaterial so fundiert, daß die Vorstellung vom Deckenbau auch in bezug auf die westlichen Kalkalpen zum Allgemeingut geworden war.

Seit 1944 aber, als E. KRAUS über eine Verbindung der Inntaldecke an ihrem West- und Nordrand zum Untergrund berichtete und besonders seit 1955, als M. RICHTER & R. SCHÖNENBERG für den direkten Zusammenhang der Lechtaldecke mit dem Untergrund plädierten, erfolgte zunächst zögernd, dann aber rapide eine Umwälzung in der Vorstellung der deutschen Bearbeiter der westlichen Kalkalpen. Die Vorstellung der Deckenlehre, die hier von einem zehn Kilometer weiten Transport relativ dünner Gesteinspakete spricht, wurde aufgegeben, darunter auch von jenen Forschern wie C. W. KOCKEL, die Jahrzehntelang und bis zuletzt (1953) selbst immer weiteres überzeugendes Material für den Deckenbau geliefert hatten, und wurde durch die Vorstellung einer „gebundenen Tektonik“ ersetzt — d. h. von jenen Ideen, wie sie vor Einführung der Deckenlehre im vorigen Jahrhundert geherrscht hatten. Damals war — bei allerdings unvergleichbar geringerem Kenntnisstand — ganz allgemein die flache Auflagerung von älteren Gesteinskomplexen über jüngeren durch Auffaltung des Untergrundes und beidseitige Ausschuppung von aufgepreßten älteren Serien erklärt worden. Analog dazu waren damals wie in der jüngsten Vergangenheit hier die in Fenstern in der Talfalte auftauchenden Jungsichten des tektonischen Untergrundes nicht als durch die Erosion angeschnittenes tieferes tektonisches Stockwerk gedeutet worden, sondern grundsätzlich als eingefaltete Jungsichtenzone der großtektonisch ungeteilten Kalkalpenmasse. Ja sogar Doppelfenster mit zwei übereinanderliegenden Rahmen, wo die Erosion bis in die drittiefste, faziell auch abweichende tektonische Einheit eingeschnitten hatte (Benna-Doppelfenster SE Hohenschwangau), sind in der jüngsten Vergangenheit als ineinandergeschachtelte, von oben her durch einen allerdings nicht erklärten Mechanismus kompliziert eingefaltete Lokalelemente der gleichen Einheit gedeutet worden (V. JACOBSHAGEN & C. W. KOCKEL 1960).

Die Vorliebe für diese autochthonen, ortsgebundenen Vorstellungen liegt darin begründet, daß man hierfür nicht mechanisch uns verständliche und daher unglaublich erscheinende weite Horizontaltransporte annehmen braucht. Daß solche allerdings allenthalben in den Kettengebirgen der Erde in noch weit größerem Umfang existieren und heute durch Bohrungen vielfach unmittelbar bewiesen sind, entwertet diesen Gedanken. Außerdem muß die autochthone Deutung bei komplizierteren Deckenstrukturen wie faziell gegliederten Doppelfenstern usf. zu oft wesentlich schwieriger vorstellbaren Hilfskonstruktionen greifen.

Der anfängliche Protest einer Reihe von vorwiegend österreichischen Geologen war bald verstummt, so daß an der Gültigkeit der neuen autochthonen Vorstellungen in den zahlreichen Arbeiten der jüngsten Zeit kein Zweifel gelassen wurde. Dutzende Neubeobachtungen sollten die Nichtexistenz von einstigen Deckengrenzen, den Zusammenhang der „Decken“ beweisen; alte dagegen sprechende Beobachtungen waren umgedeutet worden.

Für den alpinen Geologen, der die rapide Entwicklung der Erkenntnisse von den bedeutenden Überschiebungswi-

keiten in den Alpen, in zahlreichen, mit modernen Methoden untersuchten Regionen des mediterranen Raumes und darüber hinaus in den Kettengebirgen der Erde in jüngster Zeit verfolgt hat, war die generelle Umdeutung des Deckenbaues der westlichen Kalkalpen unglaublich, besonders auch deshalb, da Deckenbau auch den übrigen Teil der Kalkalpen beherrscht.

Es galt also erneut, Existenz oder Fehlen des Deckenbaues in den westlichen Kalkalpen zu erweisen, mit neuen, über die bisherigen Feststellungen hinausgehenden Beobachtungen. Grundsätzlich ist ja der **Nachweis von Deckenbau** dann möglich, wenn neben der Erfassung von regional durchlaufenden Überschiebungsgrenzen an der Basis großräumiger Einheiten auch deren mehrere Kilometer weite Verfrachtung durch davorliegende **Deckschollen** oder durch **Fenster** im Inneren des Deckenkörpers, durch die man noch weit hinter dem Vorderrand der Decke den tektonisch überfahrenen Untergrund sehen kann, belegt wird.

Sind nun zwar solche Deckschollen und Fenster in einem als Deckenland angesprochenen Gebiet vorhanden, werden aber von der autochthon arbeitenden Forschungsrichtung nicht als seitlich überschobene Strukturen erkannt, sondern als am Platz aus- und eingefaltete Elemente ein- und derselben Einheit gedeutet, so sind — wie im Falle der westlichen Kalkalpen — weitere, zusätzliche Argumente zum Beweis des Fernschubes erforderlich.

Es wurden daher vom Verfasser im Sommer 1969 und 1970 alle kritischen Strecken oder Regionen der westlichen Kalkalpen, die den Zusammenhang zwischen den „Decken“ im alten Sinn beweisen sollten, im Gelände begutachtet. Es war hierbei zu prüfen, ob man derzeit über Mittel verfügt, eine einwandfreie **Entscheidung** zwischen den beiden konträren Auffassungen zu fällen. Im konkreten Fall war die Antwort positiv: In allen entscheidenden Abschnitten bestanden genügend Beobachtungsmöglichkeiten, um eine sichere Entscheidung zwischen den beiden in Frage stehenden Deutungen herbeizuführen. All die neuen Fakten wiesen, sich gegenseitig vielfach bestätigend, auf die Existenz des Deckenbaues hin (Abb. 1), wie ihn in großen Zügen bereits O. AMPFERER erkannt hatte. Große Überschiebungswiegen bis zu 23 km konnten abgelesen werden (Vorderhornbach — Kalkalpennordrand). Der Aufbau aus drei Decken ist belegbar. Daneben gibt es im Inneren der Decken im Bereich des obersten Lechtals tatsächlich stark ausgepreßte Falten und isolierte lokale Schubbretter geringer Bewegungsweite, die aber für die Fragen des Deckenbaues irrelevant sind.

Über die hierbei erzielten Einzelbeobachtungen wird in Spezialarbeiten berichtet. Hier hingegen soll die allgemein interessante Frage der Beurteilungsmöglichkeit solch strittiger tektonischer Fälle auf Grund einiger ausgewählter Beispiele dieses Raumes behandelt werden.

Die Gegenüberstellung von zwei klassischen Profilen aus den Vilser Alpen (Abb. 2) und von der Hochvogelgruppe in den Allgäuer Alpen (Abb. 3) soll zu Beginn der folgenden Betrachtungen die beiden konträren Deutungsmöglichkeiten veranschaulichen. In der oberen Figur (A) ist jeweils die Lösung im Sinne der Autochthonie, der „Am-Platz-Tektonik“, in Figur B jene der Deckentektonik (Auffassung vom Verfasser) dargestellt.

1. Die erste Gruppe der die Entscheidung herbeiführenden Beobachtungen liegt in der Feststellung der einstigen Bewegungsrichtung der überschobenen Massen. Wird eine heute als Deckscholle über jüngerem Untergrund auflagernde Serie als pilzartig aus der Tiefe aufgefaltete und seitlich durch stets andauernde Einengung überquellende Masse gedeutet, dann muß die Bewegung dieser Masse vom Zentrum nach außen hin erfolgt sein: Der Jungsichten-Untergrund muß etwa in einem Nord-südprofil unter dem Nordflügel nach Norden, unter dem Südflügel einer Pilzfalte nach Süden hin verformt, geschleppt, verfaltet sein. Ist hingegen die heute auflagernde Scholle zur Gänze von einer Seite her eingeschoben worden, also im Falle der Kalkalpen etwa von Süden nach Norden, dann muß man allenthalben unter der Überschiebungsfäche der Deckscholle, auch an ihrem Südrand, einheitlich — in unserem Falle gegen Norden — gerichtete Bewegungsspuren in den verformten Jungsichten des Untergrundes ablesen können. Diese Jungsichten

schichten (Jura-Kreide) nehmen zufolge ihrer schieferigen Entwicklung im Gegensatz zur überwiegend dolomischen Trias der Deckschollen bzw. der Deckenbasis der hangenden Einheit die Verformung leicht auf. In den tief eingeschnittenen Schluchten — etwa der Seitentäler des Lechtals — sind diese verformten, die Bewegungsrichtung anzeigenenden Strukturen aufs beste aufgeschlossen und sichtbar.

Dieser Bewegungssinn kann nun zunächst an den geologischen Großformen, den ganzen Bergzügen durchsetzenden km-breiten, überkippten Falten abgelesen werden: Im Raum des Hornbachtal-Ursprungs etwa sind diese großen liegenden, von der Allgäuer Hauptmulde von Westen hereinziehenden Falten noch bei ihrem Untertauchen unter die Hochvogel- und Kanzberg-Deckscholle gegen Norden hin umgeschlagen (Abb. 3B), was eindeutig für den gegen Norden gerichteten Transport dieser Deckschollen spricht, nicht aber für eine Pilzfaltenatur im Sinne von V. JACOBSHAGEN (1961), von dem hier unter dem Südrand der Hochvogelscholle südgerichtete Bewegung postuliert worden war (Abb. 3A).

Außer den Großfalten im km-Bereich sprechen auch die Kleinfalten im Meterbereich und darunter im gleichen Sinne. In zahlreichen tief eingerissenen Schluchten auf der Nordseite des Hornbachtals kann man lehrbuchmäßig klar den gegen N (NW) gerichteten Transport der hoch oben darüber aufragenden Hochvogelmasse ablesen: die plastischen Liasfleckenmergel, hier als Allgäuschichten bezeichnet, sind allenfalls in gegen Norden verschleppte eng gedrängte Falten gelegt, mit langem, gegen Norden ansteigendem aufrechtem Schenkel und kurzem, gegen Süden rückläufigem Verkehrschenkel — eine Erscheinung, auf deren Bedeutung schon B. ENGELS (1960) mit Recht aufmerksam gemacht hat.

Ganz die gleichen Bilder von Nordbewegung anstelle der von der relativen Autochthonie geforderten südvergerten Bewegung auf der Südseite der hypothetischen „Pilzfalten“ trifft man auch in all den anderen entscheidenden Abschnitten bis hinauf zur höchsten Decke, der Inntaldecke, deren Existenz ja zuerst bestritten worden war. Als Beispiel hierfür sei die Vergenzenbeobachtung im Liegenden der Deckscholle der Ruitelspitze nördlich vom Madautal (rechtes Seitental des Lechtals) in den Lechtaler Alpen erwähnt. Mit dieser Deckscholle steht und fällt die Fernüberschiebung des NW-Randes der Inntaldecke. Sie war im Zuge der Umdeutung früh zur Pilzfalte erklärt worden (R. SCHÖNENBERG 1955). Aber auch hier lassen sich in den Hängen des Madautals vielfach sichtbaren nordvergerten Kleinfalten eindeutig die Fernüberschiebung der gesamten Scholle und des daranhängenden Hauptkörpers der Inntaldecke erkennen (Abb. 4).

2. Eine andere Methode zur Feststellung der Überschiebungsrichtung liegt in der Beobachtung von sog. „Verkeilungen“ von Gesteinen an Bewegungsflächen, über die in neuerer Zeit V. JACOBSHAGEN & K. KOCH (1959) aus dem Grenzbereich der Lechtal- und Allgäudecke berichtet haben. Die Nordvergenz wird durch die sich von der überschiebenden spröderen Hauptdolomitmasse z. T. ablösenden und in die weicheren Schiefer der unterlagerten Allgäudecke keilförmig gegen Norden absteigend eingepreßten Späne erwiesen.

3. Die Angaben über die Verbindung von Decke und Untergrund, wie sie in neuerer Zeit vielfach geliefert worden waren, haben in allen Abschnitten der Überprüfung nicht standgehalten — vom Bennadecken-sattelgebiet im Norden in den Hochschwängauer Alpen angefangen, bis zu dem angeblichen Zusammenhang von Inntal- und Lechtaldecke bei der Memminger Hütte in den Lechtaler Alpen (R. SCHÖNENBERG 1955). Nirgends waren normalstratigraphische Verbindungen zwischen den Decken vorhanden. Allerdings wurde die Deutung lokal gelegentlich dadurch erschwert, daß jüngere Brüche und vertikale Verstellungen die Deckengrenzen überlagern, so daß z. B. im Raum der Memminger Hütte zweimal Hauptdolomit der verschiedenen Decken aneinandergerät, nur in einem Abschnitt durch Klemmäste jüngerer Schichten getrennt.

Das eindrucksvollste, aber wohl auch das komplizierteste Beispiel liefert in dieser Hinsicht die stets mißinterpretierte Region der Luitpoldzone und des Bärgündele, zweier schmäler, verschieden tiefer Halbfenster nördlich

der Hochvogelmasse in den Allgäuer Alpen (Abb. 5). Von hier hatten P. HAMANN & C. W. KOCKEL (1957) den untrennbar Zusammenhang von Allgäu- und Lechtaldecke beschrieben, von hier war die Umdeutung aller anderen Deckengrenzen der weiteren Umgebung ausgegangen. In diesem Raum kommen in zwei Zonen fast gleichaltrige bzw. altersmäßig fast zueinander passende Schichtglieder von Untergrund und Decke aneinander, u. zw. am Südrand der Luitpoldzone und SW der Oberen Bärgündelealm. Die genaue Prüfung des Konfliktes hat gezeigt, daß der Hauptdolomit der Lechtaldecke keineswegs die Schichtfolge des Untergrundes fortsetzt, sondern in allen Abschnitten — gelegentlich noch mit Resten von Plattenkalk — diskordant und mit tektonischer Grenze an die unterlagernde Serie stößt. Die Komplikation in dieser Region, die ein Musterbeispiel alpinen Baustiles liefert, liegt darin, daß durch die Überschiebung des Hauptdolomites der Hochvogelmasse als Bestandteil der Lechtaldecke der Hangende einer großen liegenden nordvergerten Falte des Untergrundes, also der Allgäuer Hauptmulde, abgeschnitten worden ist, so daß der Hauptdolomit der Lechtaldecke auf eine verkehrte, lokal bis in die Obertrias zurückreichende Jungschichtenserie des Untergrundes zu liegen kam (Abb. 5). Dieses eigenartige Zusammentreffen hat zusammen mit einer weiteren sekundären Verfaltung die Erkenntnis dieser Schlüsselregion so lange behindert, obgleich vollkommen homologe, nur schwächer sekundär gefaltete Strukturen im SW benachbarten Abschnitt (Mädelegabel) richtig gedeutet worden waren.

4. Gewichtige Beweise für die Deckennatur und gegen lokale autochthone Deutungen liefert schließlich das **achsiale Abtauchen des Jungschichten-Inhaltes der großen Halbfenster** der Vilser und Allgäuer Alpen gegen Osten unter die Lechtaldecke (Pfeile auf Abb. 1), das in Zusammenhang mit dem allgemein herrschenden östlichen Gefälle des Gesamtkörpers der Kalkalpen in dieser Region steht. Wären die Jungschichtenzonen im Bennasattel, von Nesselwängle-Reutte, vom Hornbachtal usf. nicht Fensterinhalt, sondern von oben her muldenförmig eingefaltet, dann müßten sie an ihrem Ende im Osten ausheben, emporkommen. Sie verschwinden aber ganz im Sinne des Deckenbaues mit klar gegen Osten abtauchenden Faltensträngen unter der Trias der Lechtaldecke, und im höheren Stockwerk können in ihrer Längsfortsetzung jeweils noch sattelförmige Aufwölbungszonen weiterverfolgt werden, statt daß die im Sinne der Autochthonie geforderte Muldenstruktur sichtbar wäre. Eine Umdeutung ist hier unter keinen Umständen möglich, auch nicht durch die Forderung nach gewaltigen Querbrüchen, die nach Neukartierung durch verschiedene Autoren nicht vorhanden sind.

Das genaue Gegenstück dazu bilden die nach Westen frei endenden Halbdeckschollen der Tannheimer Berge (Einstein), der Vilser Alpen (Gimpel-Rote Fluh), der Hochvogelgruppe, des Ruitelspitzenmassivs usw. Wären diese Schollen emporgefaltet, so müßte man an ihrem Ende im Westen das Abtauchen und Verschwinden unter den Jungschichten an ihrem Fuß erkennen, da dort keine gewaltigen Querfalten, die eine westvergente Überschiebung bewiesen, existieren.

Noch ein Umstand wird bei der Erklärung der gegen Westen ausgehenden Halb-Deckschollen der Vilser und Allgäuer Alpen (rechts oben in Abb. 1) im Sinne der Autochthonie übersehen: Man erklärte die langen W-E ziehenden Schollen als Auffaltung aus dem Untergrund. Da sie gegen Westen hin, also im Querschnitt, wo man den „Stiel“ sehen sollte, glatt und ohne Stiel ausheben, d. h. den Jungschichten auflagern, wird dies durch einen lokalen westgerichteten Querschub erklärt — der allerdings nicht durch korrelative bedeutende Querfalten nachzuweisen ist. Nun fußt diese Erklärung aber auf dem heutigen Erscheinungsbild, auf der Konfiguration, wie sie durch die seit Äonen wirkende Erosion gestaltet worden ist, nicht auf den Verhältnissen zur Zeit der Entstehung der Strukturen vor der Gosau, also vor fast 100 Millionen Jahren. Damals war natürlich der ausgezackte Rückwitterungsrand der Lechtaldecke gegen Westen noch nicht in der heutigen Form vorhanden. (Es war vielmehr, wie R. OBERHAUSER [1968] mit Recht von hier betont hat, die Allgäudecke hier fast vollkommen von der Lechtaldecke verdeckt, wie der hart am Nordrand der Kalk-

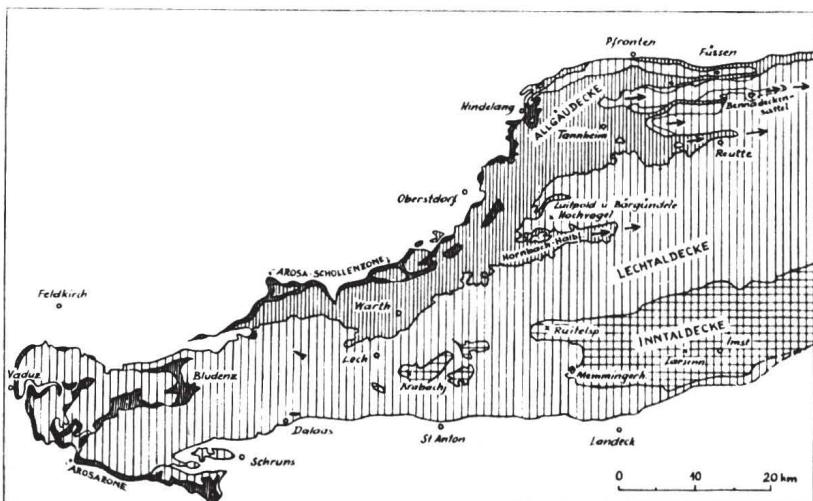


Abb. 1

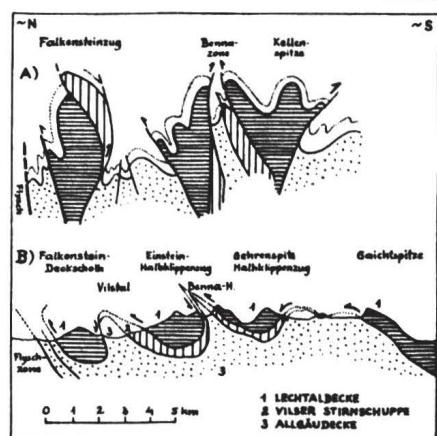


Abb. 2

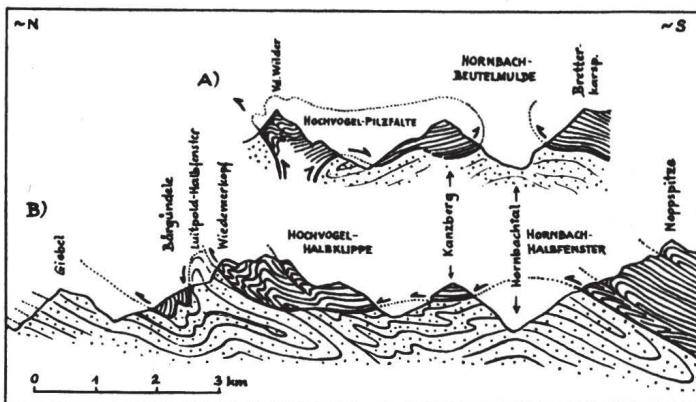


Abb. 3

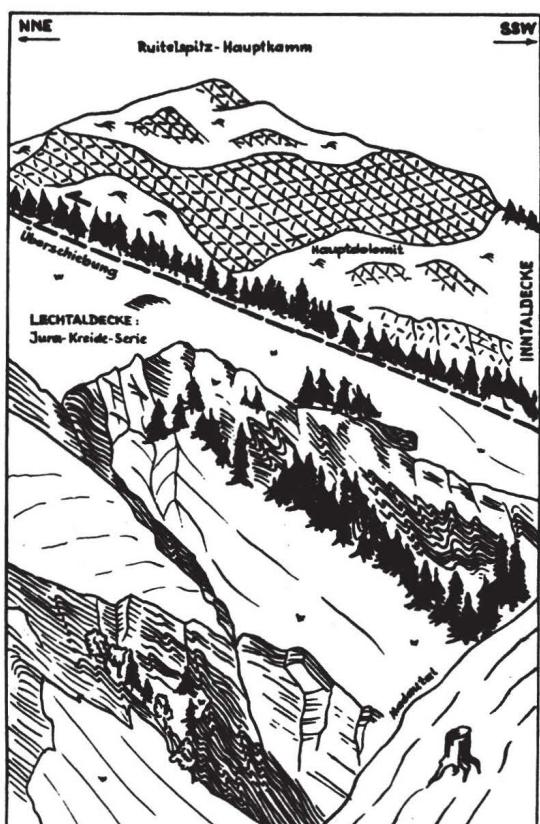


Abb. 4

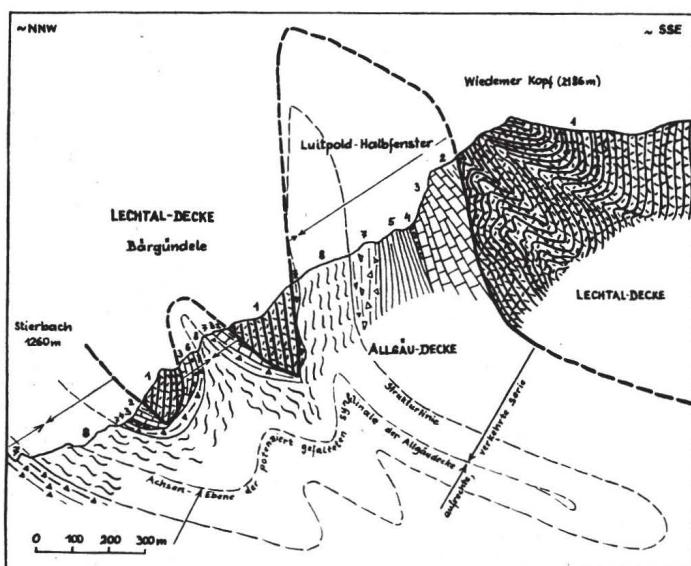


Abb. 5

Abb. 1: Übersicht über die tektonische Gliederung des westlichen Teiles der Nördlichen Kalkalpen. Die Überschiebungsgrenzen der Decken lassen sich im Gesamtgebiet durchverfolgen. Der Fernschub der Kalkalpen als Ganzes kommt durch die aus den Zentralalpen an der Basis mitgeschleppten Schollen der Arosazone zum Ausdruck (eng senkrecht schraffiert). Die Pfeile bezeichnen das regionale axiale Abtauchen der Elemente im Bereich der großen Halbfenster.

Abb. 2: Die Deutung der Struktur der Vils Alpen im Querprofil bei Vils. Fig. A zeigt die schematische Deutung im Sinne der gebundenen Tektonik mit keulennpilzförmig aufdringenden Strukturen nach H. REUM 1962, Fig. B das Profil nach Revision durch den Verfasser im Sinne einer einheitlich nordvergenten Überschiebung. Allgäu- und Lechtaul-decke sind durch unterschiedlichen Jura auch faziell verschieden.

Abb. 3: Die Deutung des Hochvogelmassivs in den Allgäuer Alpen als breite, allseits über die Jungsichten überquellende Pilzfalte aus sprödem Dolomit (Fig. A) im Sinne der Autochthonie (V. JACOBSHAGEN 1958) bzw. im Sinne der Deckenlehre nach der 1969 durchgeführten Revision (Fig. B). Die durch Pfeile angegebenen Bewegungsrichtungen im unteren Profil sind durch zahlreiche Beobachtungen belegbar und stehen im Widerspruch zu den in Fig. A eingetragenen, nach der Theorie der Pilzfalten erforderlichen Südsvergängen.

Abb. 4: Der Blick auf das Ruitelspitzmassiv in den Lechtaul-Alpen von Westen zeigt den einheitlich gegen Norden hin verschleppten Faltenbau in der Jura-Kreide-Serie unter der überschobenen Hauptdolomitkappe. Diese auch noch außerhalb des Bildausschnitts entlang des Südrandes der Deckscholle in eindrucksvoller Art nordgerichtet Faltung widerlegt eindeutig die Pilzfaltenhypothese, die hier im Süden Südschub fordern muß.

Abb. 5: Das Profil Luitpoldzone-Bärgündle nördl. der Hochvogelgruppe in den Allgäuer Alpen zeigt das komplizierte Bild einer der Lechtaul-decke angehörigen intern verfalteten obertriadischen Hauptdolomitmasse, die über eine im Hangenden abgesicherte, nordvergent gebildete liegende Faltenmulde aus Obertrias und Jura der Allgäu-decke aufgeschoben und hernach in jüngerer Bewegungsphase mit diesem Untergrund weiter „potenziert“ verfaltet worden ist. Die noch hinzukommende steile Zerscherung am Nordrand der Luitpoldzone ist im Profil aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingetragen worden. — Schichtglieder: 1 Hauptdolomit, 2 Kössener Schichten, 3 Oberrhätkalk, 4 Adnetkalk, 5 Allgäusichten, 6 Jurabrekzie, 7 Ruhpoldinger Radiolarit, 8 Aptychenkalk.

alpen erhaltene Falkensteinzug mit typischen Gesteinen der Lechfaldecke — von der Mitteltrias bis zum Jura und der Kreide empor — beweist.) Das bedeutet, daß man auf alle Fälle, auch bei Annahme der Aufwölbungshypothese den **Stiel** in der westlichen, abgefragten Längsfortsetzung der Halbdeckschollen mindestens noch eine Strecke weit vorfinden müßte, wenn man die seit der **Oberkreide wirkende Abtragung** nicht völlig vernachläßigt.

5. Ganz verfehlt wäre es, bei Vorhandensein mehr oder weniger reduzierter **verkehrte liegender Schenkel** im Liegenden von Decken oder Schuppen auf relative Autochthonie zu schließen, wie hier neuerdings vielfach üblich war. Eine verkehrte Serie allein sagt überhaupt nichts über Fernschub oder Nahtransport, da man sie vielfach auch an der Deckenbasis bedeutender Ferndecken antreffen kann. Extrem lamellierte verkehrte Serien allerdings, wie man sie etwa unter der Krabachjochdeckscholle der Inntaldecke (NW von St. Anton am Arlberg) antrifft, sind allein schon auf Grund des Baustiles nicht durch Standtektonik, sondern nur durch Verschleifung an einer Hauptüberschiebungsbahn zu erzielen.

6. In etlichen Abschnitten dieser Region um den Flexenpaß aber, die durch die Erosion teilweise von den Deckenschollen der Inntaldecke bereits befreit ist, stecken noch als gewichtige Beweise für eine regional über die Lechfaldecke hinweggegangene höhere Masse mehrfach **Tauchfalten** in den Jungschichten, von oben her hineingestoßen, die O. AMPFERER entdeckt und mit Recht als Beweise für die einst von oben, von der höheren Decke her einwirkende Kraft gedeutet hat.

7. Zuletzt müssen schließlich auch noch **Beobachtungsmängel** für die autochthone Fehldeutung der Deckenstrukturen in diesem Raum verantwortlich gemacht werden: Manche Regionen, auf denen entscheidende Schlußfolgerungen basieren, sind von den Autoren nicht begangen worden, sondern es wurde von Nachbarknoten in die Schlüsselstellen interpoliert. So etwa im Vorland der Mohnenfluh NW Lech in Vorarlberg, wo angeblich keine Trennung zwischen Allgäu- und Lechfaldecke gegeben hätte sein sollen, oder am SW-Rand der Ruitelspitze bei der Grießalm in den Lechtaler Alpen, wo der Hauptdolomit der Inntaldecke nach der autochthonen Deutung unter die im SW anschließenden Jungschichten der Lechfaldecke untertauchen hätte sollen, aber in schuttfreier Rinne das Ausheben und nicht das geforderte Abtauchen des Dolomites der Inntaldecke, die enorm beanspruchte Deckengrenze mit Mylonit und die entgegengesetzt verlaufende Schichtfolge des Untergrundes mit oberjurassisch-unterkretazischen Aptychenschichten am Kontakt und nicht eine zum Hauptdolomit passenden Rhät-Lias-Hüle anzutreffen war.

Als Ergebnis der neuen Beobachtungen läßt sich zusammenfassen, daß es bei Anwendung neuerer Untersuchungsmethoden, wie Bestimmung der Vergenzrichtung auf verschiedenen, hier ja nur auswahlweise angeführten Wegen, Trennung von älteren und jüngeren Faltungsschichten, Prüfung der Lagerungsverhältnisse durch orientiert entnommene Proben für Aufrecht-Verkehrt-Bestimmung im Dünnschliff usw., durchaus möglich ist, auch in schwierigen Fragen eine sichere und fundierte Antwort zu erhalten. Hauptverantwortlich allerdings sind hierfür die exzellenten Aufschlußverhältnisse in der auch landschaftlich so eindrucksvollen Hochgebirgswelt der westlichen Kalkalpen. Nach wie vor aber gilt, gerade in bezug auf solche Probleme, daß der sorgfältigen Geländebeobachtung, der unmittelbaren Erfassung der Lagerungsverhältnisse im großen und im regionalen Zusammenhang eine nie zu unterschätzende Bedeutung kommt. Hier hilft der Schatz der alpin-tektonischen Erfahrung, wie er etwa einem Forcher vom Format von O. AMPFERER zur Verfügung stand, entscheidend bei der vergleichenden Beurteilung komplizierter alpiner Strukturformen, wie potenzierte (sich mehrfach überlagernde) Faltung, Bruchüberlagerung, über Deckengrenzen, sekundäre Versteilung bis Überkipfung einst flach lagernder Überschiebungsbahnen usw. Meist erhält man in solch gut aufgeschlossenen Regionen die Antwort auf die gestellte Frage bereits im Gelände durch regionale Verfolgung der sich seitlich wandelnden und entwickelnden Strukturen und Ausschöpfung der Beobachtungsmöglichkeiten.

Literatur:

- AMPFERER, O. & ASCHER, H.: Jb. geol. Bundesanst., **75**, 365ff., Wien 1925.
 AMPFERER, O. & HAMMER, W.: Ebenda, **61**, 531ff., Wien 1911.
 ENGELS, B.: Z. dt. geol. Ges., **112** (1960), 334ff., Hannover 1960.
 HAMANN, P. & KOCKEL, C. W.: Geol. Rdsch., **45**, 204ff., Stuttgart 1957.
 HEISSEL, W.: Mitt. geol. Ges. Wien, **50** (1957), 95ff., Wien 1958.
 JACOBSHAGEN, V.: N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **113**, 153ff., Stuttgart 1961.
 JACOBSHAGEN, V. & KOCH, K.: N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1959**, 65ff., Stuttgart 1959.
 JACOBSHAGEN, V. & KOCKEL, C. W.: Ebenda, **1960**, 99ff., Stuttgart 1960.
 KOCKEL, C. W.: N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **96**, 339ff., Stuttgart 1953.
 KRAUS, E. N. Jb. Miner. etc. Abh., **B**, 1949, 31 ff., Stuttgart 1949 (Vortr. v. 1944).
 OBERHAUSER, R.: Jb. geol. Bundesanst., **111**, 115ff., Wien 1968.
 REUM, H.: Z. dt. geol. Ges., **113** (1961), 507ff., Hannover 1962.
 RICHTER, M. & SCHÖNENBERG, R.: Z. dt. geol. Ges., **105** (1953), 57ff., Hannover 1955.
 TOLLMANN, A.: N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **136**, 80 ff., Stuttgart 1970.
 TOLLMANN, A.: Mitt. Geol. Ges. Wien, **62** (1969), Wien 1970.
 ZACHER, W.: Z. dt. geol. Ges., **113** (1961), 390ff., Hannover 1962.

A. Tollmann

Kurznachrichten

Mikroorganismen aus dem Weltraum?

Die Frage ob Mikrolebewesen die Wirkungen kosmischer Strahlung überdauern könnten, war lange Zeit ungeklärt. Manchmal konnten in Meteoriten Reste festgestellt werden. Intensiv diskutiert wurde eine Zeitlang die Zusammensetzung der sog. kohlenhaltigen Chondrite, in denen bis 7 Prozent komplizierte organische Stoffe biogener Natur (Kohlenwasserstoffe, Stickstoffverbindungen, Aromate und Fettsäuren) entdeckt wurden. Dennoch bezweifelte man, daß tatsächlich Mikroorganismen aus dem Weltraum gebracht worden seien. G. Urey war der Meinung, daß diese kohlenhaltigen Chondrite winzige Erdstücke darstellen, die bei riesigen Eruptionen in den Kosmos gelangten und dann wieder zurückkehrten. Vor kurzem untersuchten amerikanische Wissenschaftler die Gesteinsproben, die die Mannschaft von „Apollo 11“ vom Mond mitbrachte. Dabei wurden keinerlei Mikroorganismen festgestellt. Andererseits bestrahlt man in sowjetischen Laboratorien Mikrolebewesen mit Protonen. Zwei Stämme von Mikroorganismen wurden in einen kohlenhaltigen Chondrit eingesetzt und mit einem Protonenstrom von 600 Megaelektronenvolt Energie bestrahlt. Beide Arten kamen um. Das gleiche geschah, nachdem man sie in Kontrollproben von Vulkantuff aus Armenien eingesetzt und bestrahlt hatte. Damit scheint der langjährige Streit über die Herkunft dieser Mikroorganismen gelöst zu sein, denn Kleinstlebewesen können die Initialstrahlung nicht überstehen.

Bild der Wissenschaft VI/1970

Kalifornien von Luftverschmutzung bedroht

Ein „Krisenprogramm“ zur Reinhalterung der Luft soll in Kalifornien durchgeführt werden. Das Projekt geht von Forschungsergebnissen der kalifornischen Universität aus und kostet 18 Mio. Dollar. Beabsichtigt sind: Beseitigung oder Verminderung von Blei in Benzin, Veränderung der Zusammensetzung von Treibstoffen, Überprüfung von Fahrzeugen, Feststellung der Luftverschmutzung, Beseitigung der Luftverschmutzung durch Kraftwerke. Bereits im Jahre 1985 würde es in Kalifornien kein Fleckchen mit reiner Luft mehr geben, wenn nicht ehestens geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen würden.

Bild der Wissenschaft

Das älteste Werkzeug der Welt

In Äthiopien hat man das bisher älteste Werkzeug der Welt ausgegraben. Französische Archäologen fanden es in einem Gebiet nahe des Flusses Omo, der westlich von Addis Abeba entspringt und sich durch eine Hochgebirgslandschaft bis zum Rudolfsee in Nordkenia windet. Das aus Quarz bestehende, beidseitig scharf geschliffene (!) Werkzeug dürfte schätzungsweise 2,2 Millionen Jahre alt sein. Bei weiteren Ausgrabungen am selben Ort entdeckte man Zähne, die zwei verschiedenen Menschentypen zugeschrieben werden. Diese Fundstücke sind etwa 1,9 bis 1,5 Millionen Jahre alt. Durch die französischen Ausgrabungen sowie durch andere amerikanische Teams, die in Nordkenia tätig sind, datiert man jetzt das Alter dieses

Siedlungsbereiches auf 3,3 Millionen Jahre. Das bedeutet, daß die Omo-Menschen die ältesten Erdbewohner sind, die man bislang kennt.

Bild der Wissenschaft (6 — 1970)

Phytoplanktonmessungen

Meeresgebiete mit großen Mengen von Phytoplankton sind besonders fischreich. Neuere Untersuchungen zeigen, daß das Spektrum des von der Meeresoberfläche zurückgeworfenen Sonnenlichts durch Chlorophyll verändert wird. Diese Messungen können von Flugzeugen, möglicherweise von Satelliten gemacht werden. Damit wird es möglich sein, in einfacher Weise biologisch besonders produktive Meeresgebiete festzustellen.

Science 1970/167

Neue Krebstheorie

R. J. Burch (Univ. of Leeds) glaubt, daß von einem gewissen embryonalen Stadium ab ein zentrales mesenchymales System das normale Wachstum durch einen Rückkopplungsmechanismus reguliert. Nach seiner Theorie entstehen viele altersabhängige Krankheiten einschließlich der Krebskrankheit durch einen Zusammenbruch dieses Kontrollsystems. Diese Betrachtungsweise eröffnet der Prophylaxe und der Therapie neue Möglichkeiten.

Nature 225/70

Selektive Wirkung eines Unkrautbekämpfungsmittels durch enzymatische Entgiftung

Propanil ist das am meisten verwendete Herbizid zur Bekämpfung von Unkraut in Reisfeldern. Auf einigen Feldern konnte mit Hilfe dieses Mittels eine Steigerung der Reisproduktion um mehr als 100% erreicht werden. Propanil zeigt eine erstaunliche Selektivität insofern, als trotz gleichmäßiger Exponierung die Reispflanzen nicht angegriffen werden, während das Unkraut vernichtet wird.

Propanil gehört zu einer großen Gruppe strukturell verwandter Herbizide, die ihre abtötende Wirkung durch eine Hemmung der Photosynthese ausüben. Diese Stoffe lagern sich an das lamellare System der Chloroplasten an und unterbrechen den Elektronenstrom, der bei der Aufnahme und Übertragung von Lichtenergie eine wesentliche Rolle spielt. Bei Reis und Hühnerhirse, einem sehr schädlichen Unkraut, ist der innere Teil der Chloroplasten dem Propanil in gleicher Weise zugänglich, und die Photosynthese wird anfangs in beiden Pflanzen gehemmt. In dem Unkraut ist die Hemmung vollständig und irreversibel, im Reis aber nur vorübergehend. Dies ist auf einen höheren Grad einer Enzymaktivität der Reispflanzen zurückzuführen, die Propanil schnell zerstört und dadurch dessen Anstieg zu einem herbiziden Niveau innerhalb der Zellen verhindert. Diese Annahme wird auch dadurch gestärkt, daß gewisse gängige Insektizide das Enzym stark hemmen und daß bei kombinierter Anwendung dieser Insektizide zusammen mit Propanil normalerweise resiente Reispflanzen abgetötet werden. Dieser Befund ist von großer Wichtigkeit für Reisproduzenten, die Insektizide und Herbizide gleichzeitig verwenden. Das entgiftende Enzym, das die Chloroplasten schützt, befindet sich in den Mitochondrien. Es spaltet Propanil (=3,4-Dichlorpropionanilid) in zwei ungiftige Stoffe (3,4-Dichloranilin und Propionsäure).

Umschau 9/70

Rascherer Medikamentenabbau durch Insektizide

Bei Menschen, die häufig Insektiziden ausgesetzt sind, geht der Abbau von Medikamenten rascher als normal vor sich. Ob dies von Vor- oder Nachteil ist, kann noch nicht gesagt werden. Jedenfalls müssen aber die Dosierungen anders gestellt werden.

Umschau 70

Seltsame Nistplätze

Die Ölfelder der Industriesteppe des Marchfeldes sind natürlich arm an Nistgelegenheiten, trotzdem besiedelten heuer — wie Dr. Antal Festetics vom I. Zool. Institut der

Universität Wien feststellte — 40 Dohlen, 3 Turmfalken- und 2 Feldsperlingpärchen dieses Gebiet. Diese Vögel brüten z. T. in den Schwengeln der „Pferdeköpfe“ der Ölumpen, die Tag und Nacht in Bewegung sind. Die Vögel müssen alle drei Sekunden die Auf- und Abwärtskontakte der Pumpe mit entsprechenden Bewegungen ihres Körpers ausgleichen. Pro Tag sind durchschnittlich 14400 derartige Bewegungen notwendig.

Ackerunkräuter und Feldbautechnik

Die üblichen Reinigung des Getreidesaftgutes hat zu einer völligen Ausmerzung der ehemals typischen Getreideunkräuter Kornrade (*Agrostemma githago*) und Roggentreppen (*Bromus secalinus*) geführt. Dagegen weist anscheinend die Saatwucherblume (*Chrysanthemum segetum*) hohe Unempfindlichkeit gegenüber den gebräuchlichen Mitteln auf. Sie profitiert von dem Ausleseprozeß und bereitet in Getreidebeständen zunehmende Schwierigkeiten. Die Quecke (*Agropyron repens*) nimmt stark überhand; das hängt ohne Zweifel mit der Verschleppung von Rhizombruchstücken durch motorisierte Scheibeneggen u. ä. Maschinen zusammen. Auch der häufige Entfall des sofortigen Umbruches der Stoppelfelder führt zu starker Verunkrautung. Insbesondere nehmen auf tonreicherem Boden ausdauernde Wurzelunkräuter (Ackermelde — *Mentha arvensis*, Ackerschachtelhalm — *Equisetum arvense* u. a.) rasch zu.

Im Jahre 1969 wurden in der Bundesrepublik für über 100 Mio. DM chemische Unkrautbekämpfungsmittel eingesetzt. Infolge dieses erheblichen Kostenaufwandes und dank der chemischen Forschung kann der Unkrautauflauf weitgehend zurückgedämmt werden; eine nachhaltige Beseitigung des örtlichen Unkrautbesatzes läßt sich durch die moderne Ackerbautechnik nicht erreichen.

Umschau (10/70)

Sterbende Aulandschaft bei Wien

Die bisher noch verhältnismäßig unberührte Naturlandschaft um Wien geht zugrunde. Der ständige Ausbau von Industrieanlagen greift tief in das Bild dieser ehemaligen Au-Urwälder ein, oft so tief, daß eine Rettung gar nicht mehr möglich ist.

Die Donauregulierung, an sich durchaus notwendig, wurde mit sehr wenig biologischem Verständnis durchgeführt. Durch sie kam es zum Absinken des Grundwasserspiegels und damit zum Absterben des Auwaldes. Imker führten aus Kanada die Goldrute ein, eine Pflanze, die zwar die Bienen zu lieben scheinen, die sich aber besonders rücksichtslos ausbreitet und andere Pflanzen verdrängt. Selbst kleine Bäume haben Schwierigkeiten, weiterzuwachsen. Aus wirtschaftlichen Erwägungen ersetzte man vielfach die ursprünglichen Baumbestände durch die raschwüchsige Eurosibirische Hybridpappel („Kanadapappel“). Durch Abschlagen der unteren Äste suchte man den Holzanfall zu verbessern; dadurch konnte aber auch das Sonnenlicht viel stärker als bisher bis zum Grund scheinen, wo die Goldrute wild zu wuchern begann. Im 2. Weltkrieg kam der Bau des Donau-Oder-Kanals und der Ölraffinerie dazu. Wasser-, Erdgas- und Starkstromleitungen wurden quer durch den Auwald gelegt. Derzeit ist ein kalorisches Kraftwerk beim Biberhaufen in Bau. In den nächsten Jahren wird noch das heutige Überschwemmungsgebiet verschwinden und einem Hochwasserschutzkanal und einer „Erholungsinsel“ Platz machen.

Dr. Steiner von der Hochschule für Bodenkultur tritt für sofortige Unterschutzstellung aller noch ursprünglich erhaltenen Waldstücke ein, für jegliches Verbot von Autoverkehr und Unterbindung der weiteren Ausdehnung der Industrieanlagen in diesem Gebiet. Durch kleine Wehranlagen an bereits bestehenden Querdämmen sollte das bei Hochwasser zurückgestaute Wasser aufgehalten werden.

„Wienerwaldplan“

Der Plan des Hochschulprofessors Dr. Hannes Mayer von der Hochschule für Bodenkultur scheint nun nach Beseitigung diverser Mißverständnisse immer mehr Zustimmung zu bekommen.

ibf

F. M.

CHEMIE

Dr. Edith Jarisch

Chemie und Computer

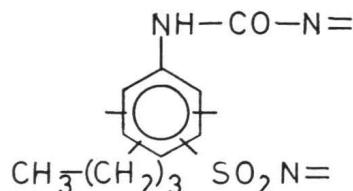
Die rasche Entwicklung der Computertechnik und die daraus folgende Tatsache, daß immer mehr und auch sehr leistungsfähige EDV-Anlagen zur Verfügung stehen, hat auch für die Chemie große Bedeutung gewonnen. In Fachzeitschriften stößt man immer häufiger auf Arbeiten, die über die Anwendung von Computern für die verschiedenartigsten Probleme berichten. Zwei Bereiche sind es, die heute den Einsatz von Rechenanlagen erfordern: 1. Strukturaufklärungen mit Hilfe physikalischer Methoden und theoretischer Berechnung von Molekülen; 2. die Dokumentation chemischer Arbeiten. Neben diesen zwei Hauptanwendungen sind auch bereits Rechenanlagen zur Entwicklung von Synthesewegen komplizierter Verbindungen eingesetzt worden oder auch zur Bestimmung von Strukturformeln aus bekannten Fragmenten.

Im folgenden soll an einigen Beispielen gezeigt werden, welche Probleme beim Einsatz von Computern auftreten und welche Hilfe eben ihr Einsatz bringt.

Speicherung von Bezeichnungen und Formeln

Sowohl für die Lösung irgendwelcher Strukturprobleme wie auch für die chemische Dokumentation ist es notwendig, Namen von Verbindungen wie auch Formeln einzuspeichern. Solange es sich um einfach zusammengesetzte Stoffe handelt, könnte man annehmen, daß doch dabei keine besonderen Probleme auftauchen. Nun ist aber eine EDV-Anlage ja nicht dazu da, triviale Fragen zu lösen, sondern ihr Einsatz wird erst gerechtfertigt, wenn der für eine Lösung nötige Zeitaufwand für einen Chemiker, der die Recherchen durchführen soll, untragbar wird. Daher sind die üblichen sog. „eindimensionalen“ Register nicht brauchbar. Die Mehrdimensionalität der Stoffbegriffe muß berücksichtigt werden. Gerade bei organischen Verbindungen kann meist eine ganze Reihe von begrifflichen Bausteinen erkannt werden, nach denen entweder isoliert oder auch in Kombination mit beliebigen anderen Bausteinen gefragt werden kann. Sehr häufig treten diese Bausteine auch isoliert als Allgemeinbegriffe auf und sind oft so nahe miteinander verwandt, daß sie wechselseitig über- oder untergeordnet werden können. Ein Beispiel möge die Situation erläutern. Die Verbindung A enthält als Substituenten eine Kohlenwasserstoffkette (Butyl-), ist als $-\text{NH}-\text{Kohlensäure}$ ein Harnstoffderivat

A



und durch die Gruppe $-\text{SO}_2\text{N}=$ ein Sulfonamid. In eindimensionalen Registern könnte man unter „Harnstoffkörper“ oder unter „Sulfonsäureamiden“ suchen, da diese Verbindung jedoch auch herbizid ist, unter „Herbizide“ oder spezieller „Harnstoffkörper mit Sulfonsäureamidgruppen als Herbizide“, „Harnstoffherbizide“ usw. Der recherchierende Chemiker muß also alle diese möglichen zusammengesetzten Schlagworte memorieren, und dem sind natürlich Grenzen gesetzt.

Unter welchem Schlagwort auch immer der gesuchte Stoffbegriff endlich lokalisiert werden konnte, ist meistens der Anteil an „Ballast“ sehr groß, d. h. viele Literaturzitate verwenden den Stoffbegriff in nicht gewünschter Weise, z. B. als Vergleichssubstanz o. ä. Andererseits wird vielleicht die gerade zutreffende Arbeit gar nicht gefunden, da der Autor ein anderes Schlagwort verwendete, das dem Recherchierenden gar nicht in den Sinn gekommen war. So konnte eine Überprüfung des Schlagwort-

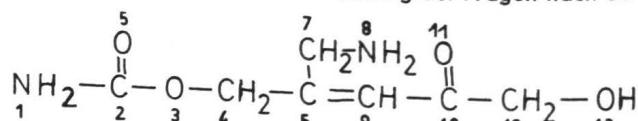
registers einer Zeitschrift zur chemischen Weltliteratur zutage bringen, daß 30% aller Publikationen über Phenothiazine nicht unter dem betreffenden Schlagwort zitiert waren.

Wesentlich anders ist die Sachlage, wenn eine ganz bestimmte Substanz durch ihren Individualbegriff gegeben ist, also z. B. für A die Bezeichnung 2-Carbyleamino-5-n-butyl-benzolsulfonsäureamid gegeben ist. In dieser Bezeichnung sind sämtliche nur denkbaren Merkmale bereits festgelegt, sie läßt sich durch kein stoffliches Merkmal noch weiter spezifizieren. Daher läßt sich auch mit einem herkömmlichen Register die zutreffende Literatur lokalisieren. Erfahrungen jedoch zeigten, daß diese Individualbegriffe bei der literarischen Arbeit von Wissenschaftlern eine sehr viel geringere Rolle spielen, als man annehmen sollte, denn meist ist in der Fragestellung gar nicht wirklich eben diese Einzelverbindung gefragt, sondern doch die ganze Stoffklasse. Damit kommen wir aber zur Frage der Begriffsverknüpfungen. Um bei unserem Beispiel zu bleiben, scheint es doch auch durchaus sinnvoll, nach „Herbiziden, welche nicht dem Harnstofftyp angehören“, zu fragen, oder auch nach „herbizid wirkenden arylierten Harnstoffen, welche am Phenylrest beliebige Substituenten tragen“. Um wirklich zu relevanten Auskünften zu kommen, muß das Dokumentationssystem äußerst leistungsfähig sein, denn nur die Bereitstellung von elektronischen Rechenanlagen allein ist noch keine Garantie für ihre Wirksamkeit.

Es ist recht interessant, daß die eigentlich so nahe liegende Handhabung der chemischen Strukturformel sich erst in allerletzter Zeit zögernd einzuführen beginnt. Die Formel enthält nicht nur alle in Frage kommenden Atome, sondern gibt auch ihre Verknüpfung wieder. Jede Strukturformel kann im mathematischen Sinne als „Graph“ aufgefaßt werden, also als abstraktes System von „Knoten“ und „Strecken“. Den Knoten werden die Atome zugeordnet, den Strecken die Bindungen. Damit ist aber eine topologische Betrachtungsweise möglich geworden, und man kann sich mathematische Gesetzmäßigkeiten zunutze machen, Graphen lassen sich gut einspeichern, insbesondere lassen sich auch Teilstrukturen erfassen. Das Wiederauffinden mit einem Graphen als Frageterminus ist ebenfalls möglich. Der Graph hat dabei noch den Vorteil, daß auch Verbindungen erfaßbar werden, für die noch gar keine Benennungen existieren. Besonders zweckmäßig scheinen die Anlagen zu sein, welche neben dem topologischen Speicher auch einen Speicher für Allgemeinbegriffe besitzen. Ein solches kombiniertes System arbeitet praktisch ballast- und verlustfrei, es ist auch unempfindlich gegenüber Wachstum des Speichers, Zunahme der steigenden Spezifizierung der Fragestellungen und zunehmender Benutzung. Der Aufwand für so eine Anlage ist jedoch beträchtlich.

Die topologische Methode

Bereits 1951 wurde diese Methode entwickelt, auch wenn es damals noch nicht erkennbar war, welche Vorteile dieses Verfahren zur Verschlüsselung bei Fragen nach be-



B

Bindungstypen:
1— = Einfachbindung
2— = Doppelbindung

1 N 1—2,
2 C 1—1, 1—3, 2—5
3 O 1—2, 1—4
4 C 1—3, 1—6
5 O 2—2
6 C 1—4, 1—7, 2—9
7 C 1—6, 1—8
8 N 1—7
9 C 2—6, 1—10
10 C 1—9, 2—11, 1—12
11 C 1—10, 1—13
12 C 1—10, 1—13
13 O 1—12

Topologische Strukturformel-Codierung: Jedes Atom außer Wasserstoff erhält eine Nummer, neben dem Elementsymbol sind die Nummern seiner Liganden angegeben, neben dem Vermerk über den Bindungstyp.

liebigen Partialstrukturen zeigen sollte. Die Verbindung B soll als Beispiel dienen. Zunächst werden alle Atome — außer den H-Atomen — in beliebiger Reihenfolge nummeriert. Man bildet nun für jedes Atom eine Zelle, in der neben der Atomnummer und dem Symbol die Nummern seiner Liganden angeführt werden. Jeder Ligandennummer wird eine Codezahl vorangestellt, die den Bindungstyp angibt. Man erhält damit eine Verknüpfungstabelle, deren äußere Form zwar von der gewählten Reihenfolge der Numerierung abhängt, die aber für die eindeutige Rekonstruktion der Strukturformel in jedem Falle geeignet ist. Bei der Recherche wird wahrscheinlich eine andere Reihenfolge der Numerierung und damit auch eine im äußeren Bild abweichende Verknüpfungstabelle vorliegen. Trotzdem kann der Computer äquivalente Strukturen „erkennen“, indem Art, Anzahl und Bindungstyp verglichen werden. Wenn nach Verzweigungsstellen u. U. Widersprüche auftreten, so springt das Programm zur Verzweigungsstelle zurück und verfolgt den dort abzweigenden Weg. Dies wird wiederholt, bis die geforderte (Partial-) Struktur gefunden ist oder alle möglichen Wege vergeblich untersucht worden sind. Diese Art der „iterativen“ Suche hat den Vorteil, daß sie der Denkweise des Chemikers entspricht und auch für höhere Ansprüche ausbaufähig ist. Allerdings besitzt diese Methode auch zwei Nachteile: bei der Einspeicherung wäre der Schreibaufwand und damit die Fehleranfälligkeit recht groß, und die Maschinenzeit würde zuviel kosten, wollte man die Strukturformeln eines großen Speichers auf diese Weise abfragen. Aber diese Nachteile lassen sich aus dem Weg räumen: Für die Codierung baute man eine besondere „Formellesemaschine“, die auf Rasterblätter gezeichnete Strukturen mit Photozellen abtastet und für den Computer verarbeitbar macht. Für die Recherche entwickelte man ein zweistufiges Vorselektionssystem, so daß die Maschinenkosten nur selten ins Gewicht fallen.

Die topologische Methode ist aber nicht nur zur Dokumentation von Substanzen oder ganzen Substanzklassen geeignet, sondern auch zur Erfassung von Reaktionen. Wollte heute jemand nur unter dem Schlagwort „Propen“ Literaturangaben erhalten, so würde der Befremde wahrscheinlich mehrere Monate zur Sichtung benötigen. Lautet jedoch die Fragestellung spezifischer, etwa „Oligomerisation von Propen zu Hexenen und höheren Olefinen unter den Bedingungen A, B, C...“, so müßte im Register für alle diese denkbaren Fälle ein besonderes Schlagwort eingespeichert worden sein. Hier stößt man wieder auf die Schwierigkeit des Memorierens, der mangelnden Übersichtlichkeit. Durch die Anwendung von Graphen lassen sich hier Vorteile erzielen: „Die Stoffe A, B und C werden der Reaktion α unterworfen, wobei die Stoffe D und E neu entstehen und der Stoff C — etwa ein Lösungsmittel — noch vorhanden ist. Das Stoffgemisch C, D E wird hiernach einer weiteren Reaktion β unterworfen, wobei unter Zusatz von F aus D und F der Stoff G entsteht, C und E sind noch unverändert im Gemisch ent-

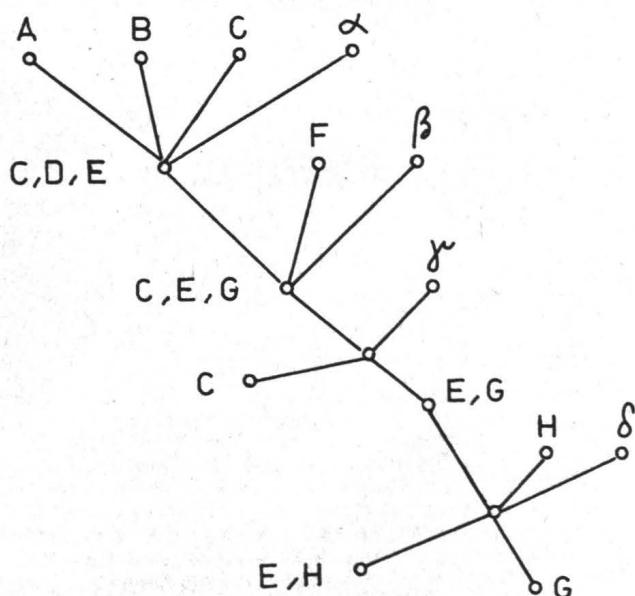
halten. Danach wird das Lösungsmittel C durch die Destillation γ entfernt, der Rückstand bestehend aus E und G mit einem Lösungsmittel H getrennt — δ — in dem nur E löslich ist.“ Der entsprechende Graph wird dann wieder durch eine Verknüpfungstabelle beschrieben. Der Fragesteller wird bei der Recherche sicherlich nicht eben den gespeicherten Graphen benutzen — denn dann müßte er ja nicht danach fragen —, sondern einen, in dem Nebenprodukte, Reaktionsschritte oder Hilfsmittel abweichen. Für den Vergleich zweier Graphen unter diesem Blickwinkel bietet die Graphentheorie keine Hilfe, es existiert kein Lösungsansatz für die speziellen Anforderungen der Chemiedokumentation. Durch die Entwicklung eines recht umfangreichen Computerprogramms wurden auch diese Schwierigkeiten bereits teilweise überwunden. Die Vervollkommenung dieses Programms, um noch mehr Treffsicherheit und Flexibilität für die Anfrage zu erreichen, ist noch im Gange. Die IDC (Internationale Dokumentationsgesellschaft für Chemie mbH, Frankfurt) erfaßt chemische Veröffentlichungen, Literatur und Patente, codiert sie und speichert sie ein. Zur Zeit sind 900000 Formeln auf Magnetband gespeichert, die Recherche braucht pro Frage weniger als eine Minute Computerzeit. Erfäßt ist die niedermolekulare organische Chemie, eine Erweiterung auf makromolekulare Verbindungen ist vorgesehen. Die Entwicklung begann in den fünfziger Jahren bei den Farbwerken Hoechst. Hier wurde ein System entwickelt, welches bald auch von Bayer und BASF übernommen wurde. 1967 wurde dann die IDC gegründet, die heute 13 Chemiefirmen als Mitglieder besitzt. Die Strukturformeln werden nach einem besonderen Verfahren codiert, teils jedoch auch nach der topologischen Methode eingespeichert. Die dabei entwickelten Funktionsprogramme erlauben es, Strukturformeln direkt über die Sichtgerätetastatur auf den Bildschirm zu zeichnen. Der Rechner empfängt die von der Tastatur gesendeten Zeichen und erkennt sie als „Zeichenprogramme“, die die wiederum geeigneten Bildinformationswörter erzeugen. Das Strukturformeleingabeprogramm besteht aus einem Steuerteil und mehreren Programmkomplexen, die einem bestimmten Betriebszustand entsprechen, wie „Formelzeichnen“, „Texteingabe“, „Abruf aus Vorratsdatei“, „Bildkorrektur“, „Organisation und Datenverkehr“. Die Bedienung der Tastatur ist leicht erlernbar und erfordert keine besonderen Vorkenntnisse.

Eine naheliegende Frage drängt sich auf: Ist dieser enorme Einsatz an Mitteln überhaupt gerechtfertigt?

Nach dem „Overview of World Wide Chemical Information Facilities and Resources“ der National Science Foundation beträgt die Gesamtzahl der Fachzeitschriften auf dem Gebiet der Chemie zur Zeit 12000 mit ca. 300000 Artikeln, dazu kommen noch rund 50000 Patentschriften. Das Wiederauffinden von Information wird dabei zu einem Problem, weshalb schon seit geraumer Zeit Referateorgane entstanden sind. Der Versuch, der Dokumentationsaufgabe bei ständig steigendem Anfall an Veröffentlichungen nachzukommen, kann durch sie oft nur sehr mangelhaft erfüllt werden, zumal meist nicht im selben Tempo der Mitarbeiterstab wachsen kann. Wenn nun EDV-Anlagen zum Einsatz kommen, muß die Methodik der Dokumentation so gestaltet sein, daß auch zukünftige Fragestellungen das System nicht wertlos machen, d. h. es muß ausbaufähig sein.

Suche nach Synthesewegen

Es ist eigentlich erstaunlich, daß die Frage „Wie sucht ein Chemiker einen geeigneten Syntheseweg für ein kompliziertes organisches Molekül?“ in keinem Lehrbuch der organischen Chemie systematisch untersucht wird. Der übliche Weg besteht zunächst darin, daß ein Stammbaum aus verschiedenen kleinen Molekülen gebildet wird, die schrittweise zum gesuchten Stoff zusammengebaut werden, ein Verfahren, das auf dem Papier zumindest zum Erfolg führt. Aber auch für einen erfahrenen Chemiker ist diese Methode oft doch sehr zeitraubend, zumal eventuell auftretende Alternativen zu einem Reaktionsschritt auch berücksichtigt werden sollten. Daher wäre es ein großer Vorteil, für diese Arbeit einen Computer einzusetzen, und wie dies möglich wird, zeigten in den USA E. J. Corey und W. T. Wipke. Sie benützen dazu einen Computer, dem mittels eines Schreibstiftes auf einer Schreibfläche die Formel des gewünschten Synthesepro-



duktes zunächst eingegeben wird. Seine Formel erscheint auf einem Monitor. Ein zweiter Monitor zeigt den Synthesestammbaum an, ein dritter dient dazu, um nötige Korrekturen anzubringen. Als Beispiel geben die Autoren den Syntheseplan für den Patschulialkohol an, einen Naturstoff, der in der Parfumindustrie viel verwendet wird. Diese Verbindung wurde bereits 1962 und auf einem anderen Weg 1968 synthetisiert. Eine der vom Computer vorgeschlagenen Synthesewege ist die Synthese von 1968, doch mit einigen eleganten Vereinfachungen, ebenso gilt gleiches für die Synthese aus 1962. Besonders interessant sind jedoch noch nicht vorher gefundene Wege, die teils unkonventionell und spekulativ, teils auch einfach, neu und plausibel sind. Eines der interessantesten und wichtigsten Kennzeichen der Computeranalyse ist die Tatsache, daß oft ganz neue und überraschende Zwischenstoffe auftauchen. Es ist anzunehmen, daß diese Arbeiten das Mißtrauen, das gerade die auf synthetischem Gebiet arbeitende Chemiker dem Computer entgegenbringen, ein wenig erschüttern werden.

Diese — notwendigerweise — nur sehr unvollständigen Ausführungen über den Einsatz von großen Rechenanlagen in der Chemiedokumentation und über den ersten Versuch, die Denkweise des Chemikers beim Suchen nach neuen Synthesen zu simulieren, sollten aufzeigen helfen, daß sich hier ein ganz neues Spezialgebiet zu entwickeln beginnt. Allgemeine Fragen der Informationsverarbeitung und Informationsspeicherung, der Dokumentation und Systemanalyse werden in ganz spezieller Art auf die verschiedensten Gebiete der Chemie anwendbar, es ist daher durchaus einzusehen, daß auch an den Hochschulen dieses Gebiet zunehmend Beachtung geschenkt wird und letztlich zur Einführung von Studiengängen „Informatik“ führen. Ergänzung während der Drucklegung: Seit Wintersemester 1970/71 ist an der TH Wien die Studienrichtung Informatik eingerichtet.

Literatur: Dokumentation in der Chemie, Angew. Chemie 1970/15/563—633.
Nachr. Chem. Techn. 1970/14/288 und 1969/24/447.

Neuartige Werkstoffe aus Kohlenstoff

Bis zum Jahre 1896, als Acheson sein Verfahren zur Herstellung von künstlichem Graphit patentierte, war nur der bergmännisch abgebaute Naturgraphit zugänglich. Wohl hatte man bereits aus verschiedensten kohlenstoffreichen Rohstoffen, wie Mischungen aus Anthrazit, Zucker- oder Holzkohle mit Bindemitteln (Zuckersirup, Teer, Pech), künstliche Kohlen hergestellt und auch ihre teilweise Graphitierung beobachtet, aber wirtschaftlich war erst das Verfahren von Acheson, das Elektrographitierungsverfahren. Das zu graphitierende Material bildet dabei den thermisch und elektrisch isolierten Heizkern eines elektrischen Widerstandsofens, der durch direkten Stromdurchgang auf 3000 °C aufgeheizt wird. Die bei dieser Temperatur ablaufende Graphitierung führt zu weitgehender Ordnung im intrakristallinen Bereich der Kokskörper und des Bindemittels. Die außergewöhnlich gute Kombination von hervorragenden chemischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen führte zu weiter Anwendung (Elektrodenmaterial, Gießformen und Auskleidungsmaterial, chemischer Apparatebau, Reaktorbau, Raketentechnik, Kleinmaterial der Elektrotechnik). In den letzten Jahren wurden jedoch andere, grundsätzlich verschiedene Verfahren entwickelt, die zu Materialien mit erstaunlichen Eigenschaften führten.

Eigenschaften des Graphiteinkristalls

Graphit kristallisiert in einem hexagonalen Schichtgitter. Innerhalb der Schichten ist jedes Kohlenstoffatom mit drei Nachbaratomen durch eine sehr starke kovalente sp^2 -Bindung verbunden. Der C-C-Abstand beträgt 1,415 Å. Dagegen ist die π -Bindung zwischen den Schichten nur sehr schwach, der Abstand zweier Schichten beträgt 3,3539 Å. Daher sind die Eigenschaften des Graphiteinkristalls sehr stark richtungsabhängig (Tabelle 1):

Tabelle 1

	parallel zu Schichtebenen	senkrecht zu Schichtebenen
Dichte (g/cm ³)	2,266	
Elastizitätsmodul (kp/cm ²)	1.10 ⁷	3,5.10 ⁵
spez. elektr. Widerstand (Ohm mm ² /m)	0,5	1.10 ⁴
Wärmeleitfähigkeit (kcal m ⁻¹ h ⁻¹ grad ⁻¹)	>350	<7
Wärmeausdehnungskoeffizient (20—200 °C) grad ⁻¹	—1,5.10 ⁻⁶	+28,6.10 ⁻⁶

Parallel zu den Schichtebenen ist Graphit ein guter elektrischer Leiter, vergleichbar mit Metallen; senkrecht zu den Schichtebenen verhält sich Graphit wie ein Halbleiter.

Die starke Anisotropie der Eigenschaften von Graphiteinkristallen kommt in den verschiedenen Formen des Elektrographits praktisch nicht zur Auswirkung, da sie durch die verschiedene Orientierung der Kristallite aufgehoben wird. Wohl wird hingegen die starke Richtungsabhängigkeit von Eigenschaften in einigen Werkstoffen neuer Art ausgenutzt, z. B. dem Pyrographit, den Graphitfolien und hochfesten Kohlenstoffäden.

Pyrokohlenstoff und Pyrographit

Die Abscheidung von Kohlenstoff aus gasförmigen Verbindungen ist wohl schon lange bekannt, doch erst seit ungefähr 10 Jahren ist es möglich, Pyrokohlenstoff als Schutzschichten und in Form kompakter selbsttragender Körper unter kontrollierten Bedingungen und damit gezielt variierten Eigenschaften herzustellen.

An heißen Graphitunterlagen werden geeignete Verbindungen (Methan, Äthan, Propan, Acetylen, Benzol und Tetrachlorkohlenstoff) bei 800—2800 °C zersetzt. Die Eigenschaften der Pyrokohlenstoffsicht hängen vor allem von der Zersetzungstemperatur, dem Druck, der Verweilzeit und Art des Gases ab. Die Variationsbreite ist sehr groß, sie reicht von nahezu isotropen über granulare bis zu den hoch anisotropen laminaren Strukturen.

So werden Brennstoffteilchen (coated particles) für Kernreaktoren mit Pyrographit beschichtet. Meist handelt es sich dabei um Mehrfachschichten mit verschiedenem mechanischen und Bestrahlungsverhalten sowie gutem Spaltstoff-Rückhaltevermögen. Elektrographit erhält durch Beschichtung eine sehr glatte Oberfläche und wird weitgehend gasdicht, ebenso wird seine Widerstandsfähigkeit gegen Oxydation und Erosion erhöht.

Kompakte Pyrographitformkörper werden bei konstanter Temperatur und konstantem Druck mit möglichst geringer Aufwachgeschwindigkeit hergestellt. Durch thermische Nachbehandlung bis 3000 °C können Ordnungsprozesse eingeleitet werden, die zu so starker Anisotropie der Eigenschaften führt wie bei Graphiteinkristallen. Wegen dieser starken Anisotropie können Pyrographitformkörper nur in begrenzter Dicke hergestellt werden (Plattenmaterial bis 10 mm), andererseits ist ihre erhöhte Resistenz gegen erosive und oxydative Beanspruchung, verbunden mit dem hohen Sublimationspunkt des Kohlenstoffs wichtig für den Einsatz als Raketendüsen, Wiedereintauchspitzen von Raumfahrzeugen, Rumpfspitzen und Flügelkanten vom Raumgleiter und als Schutzschild. Durch die hervorragende Leitfähigkeit parallel zu den Schichtebenen wird die Wärme gut über die Oberfläche verteilt, die Abstrahlung und Ablation erfolgen auf der gesamten Oberfläche. Da jedoch die Wärmeleitfähigkeit senkrecht zu den Schichtebenen sehr viel kleiner ist, werden Konstruktionsmaterial und Inneres thermisch gut abgeschirmt.

Kohlenstofffolien und -membranen

Bekanntlich können zwischen den Schichten gut geordneter Graphitkristalle Fremdatome eingelagert werden, wobei die Graphiteinlagerungsverbindungen entstehen: Graphitkalium, Graphithydrogensulfat oder Graphitoxid.

Bereits 1890 wurde gefunden, daß Graphitoxid thermisch auf mehr als das hundertfache Volumen expandiert werden kann. Ein neues Verfahren zur Herstellung von Graphitfolien beruht darauf, daß das Expandat komprimiert wird. Als Ausgangsmaterial dient reiner Naturgraphit. Er wird mit rauchender Salpetersäure oder einem

Schwefelsäure-Salpetersäuregemisch oxidiert und anschließend hydrolysiert: zwischen den Kohlenstoffschichten befinden sich Sauerstoff und Hydroxylgruppen. Erhitzt man nun das Graphitoxid nach dem Trocknen auf etwa 1000 °C, so zerstört es sich explosionsartig. Die freiwerdenden Gase weiten das Schichtgitter senkrecht zu den Netzebenen um mehr als das Hundertfache aus. Durch mechanisches Zusammenpressen werden daraus die gasdichten, flexiblen und stark anisotropen Kohlenstofffolien mit einer Dichte von 1,1 g/cm³ erhalten. Flexible Graphitfolien werden mit einer Stärke von 0,1 bis 0,3 mm gefertigt. Sie sind in inerter oder reduzierender Atmosphäre bis über 3000 °C beständig. Folien werden mit carbonisierenden Kunstharzbindemitteln auch zu Laminaten (Schichtstoffen) verarbeitet, die jedoch wegen ihrer größeren Dicke — bis zu einigen mm — nicht mehr so flexibel sind. Sowohl Folien wie auch Lamine verwendet man zur Herstellung korrosionsbeständiger Dichtungen für sehr tiefe und sehr hohe Temperaturen, da sie sehr gut Wärme ableiten, wartungsfrei, dicht und selbstschmierend sind, weiter zur Auskleidung von Preß- und Gießformen, als Strahlungsschirme in Hochtemperaturöfen, in der Elektrochemie und Elektrotechnik als Flächenheizleiter, als Auskleidungen für Chemieapparaturen. Auch selbstklebende oder mit Kunststoffen kaschierte Graphitfolien sind im Handel sowie Kohlenstoffmembranen für die Meerwasserentsalzung.

Glasartiger Kohlenstoff

Dreidimensional vernetzte Kunstharze zersetzen sich bei höheren Temperaturen ohne zu schmelzen und werden auch bei Erhitzen auf 2800 °C nicht graphitiert. Die Kristallite bleiben klein (30—70 Å), der Schichtabstand beträgt 3,44 Å, gegenüber 3,354 Å bei Graphit. Dieser Kohlenstoff weist in seiner Struktur kleine Bereiche graphitähnlicher Schichten auf, die über zahlreiche Vernetzungsstellen miteinander verbunden sind. Der große Anteil vernetzender Kohlenstoffatome ist die Ursache dafür, daß dieser Kohlenstoff nicht graphitierbar ist. Er ist sehr hart und ähnelt sowohl in der Dictheit wie auch im Bruchverhalten dem Glas. Trotz seiner geringen Dicthe, nur ungefähr 1,5 g/cm³, ist er außerordentlich gasdicht und ähnelt darin Silicatgläsern. Glasartiger Kohlenstoff ist wesentlich fester und steifer als Graphit, seine elektrische und thermische Leitfähigkeit ist mit der von Kunstkohlen vergleichbar.

Aus glasartigem Kohlenstoff werden Platten, Rohre, Tiegel, Schiffchen usw. hergestellt. Da sein Ausdehnungskoeffizient dem von Borosilicatgläsern ähnlich ist, besteht auch die Möglichkeit, beide Materialien dauerhaft miteinander zu verbinden. Da glasartiger Kohlenstoff von den meisten Metallschmelzen nicht benetzt wird, kann er auch in der Metallurgie verwendet werden.

Schaumkohlenstoff

Aus mikrokristalliner Cellulose lassen sich durch Carbonisieren Kohlenstoffkörper herstellen, die bis zu 75% ihres Volumens aus offenen Poren bestehen. In erster Linie dienen sie für Elektrodenmaterialien für Brennstoffzellen.

Auch offenporige Kunstharzsäume können carbonisiert werden, die Endprodukte besitzen ein noch viel größeres Porenvolumen. Schaumkohlenstoff ist außerordentlich leicht (0,05 g/cm³), in Inertgas oder im Vakuum bis 3000 °C beständig. Ganz hervorragend ist sein Wärmedämmvermögen. Er übertrifft das von Schamotte um das Dreißigfache und wiegt dabei nur etwa 1/20. Bezogen auf das gleiche Gewicht ist das Wärmedämmvermögen von Schaumkohlenstoff somit sechshundertfach besser. Allerdings ist seine Druckfestigkeit relativ gering, doch durch Imprägnierung z. B. mit Pyrokohlenstoff, kann sie erhöht werden. Dadurch sinkt jedoch das Wärmedämmvermögen etwas ab.

Verwendet wird Schaumkohlenstoff für Isolation bei sehr hohen Temperaturen, als Filter- und Frittenmaterial und als Träger für Katalysatoren.

Kohlenstofffasern

Edison gelang es als erstem, 1880, Kohlenstofffäden aus verkochter Cellulose für die neu entwickelten Glühlampen herzustellen. Sie besaßen aber nur eine sehr geringe mechanische Festigkeit und waren nicht flexibel.

1959 gelang es, aus Cellulose flexible Kohlenstofffäden und Gewebe im Laboratoriumsmaßstab herzustellen. Seit 1961 wurde auch Polyacrylnitril carbonisiert, und man

erhielt hervorragend feste Kohlenstofffasern. Daneben wurden auch Versuche gemacht, aus anderen Ausgangsmaterialien, wie tierischen Fasern, Polyvinylacetat, Polyvinylalkohol, Polyvinylchlorid usw., Fasern mit guten Eigenschaften zu erhalten. Wichtig ist, daß die Ausgangsstoffe nicht schmelzen, sondern ihre Form erhalten bleibt, die Kohlenstoffketten dieser Verbindungen leicht zu graphitähnlichen Strukturen sich umwandeln können und bei der Pyrolyse keine zu großen Anteile flüchtiger Kohlenstoffverbindungen verloren gehen. Die Carbonisierung von Cellulose wird durch Zugabe von Phosphaten, Boraten oder Vanadaten durchgeführt, welche eine Dehydratisierung fördern. Im Mittel erhält man aus jeder Celluloseeinheit vier Kohlenstoffatome, die durch Aromatisierung schließlich graphitähnliche Schichten bilden. Wird Polyacrylnitril als Ausgangsmaterial verwendet, muß zunächst mit Sauerstoff bei 200—300 °C vorbehandelt werden. Dabei treten durch thermischen Abbau Vernetzungen und Cyclisierungen auf. Bei 350 °C beginnt die Abspaltung von Ammoniak und Cyanwasserstoff, oberhalb 600 °C tritt unter Dehydrierung weitere Vernetzung zu großflächigen, graphitähnlichen Schichtmolekülen („Leiterpolymere“) ein.

Nicht nur Fäden, sondern auch andere Textilien, wie Gewebe und Filze lassen sich durch eine entsprechende Temperaturbehandlung in Kohlenstoff umwandeln. Nur in besonderen Fällen werden Kohlenstoffgewebe durch Verweben von Kohlenstofffäden hergestellt: Die Temperaturbehandlung von Textilien erfolgt wieder in drei Stufen: 1. Vorverkokung (bis 300 °C, Zusätze verhindern Erweichen und Schmelzen), Verkokung (bis 1000 °C, Abbau zu elementarem Kohlenstoff), Graphitierung (bis über 2500 °C). Je nach Ausgangsmaterial und Art der Carbonisierung lassen sich die verschiedenartigsten Kombinationen von Dichte, Wärmeleitfähigkeit, Zugfestigkeit und Reißdehnung erreichen. Vor allem werden Filze zur thermischen Isolation verwendet. Sie lassen sich mit Messer oder Schere zuschneiden und mit Kohlenstofffäden zusammen nähen, sind daher zu allen gewünschten Formen leicht verarbeitbar. Ihre große Korrosionsfestigkeit bietet weitere Einsatzmöglichkeiten als Filtermaterial, Träger für Katalysatoren, Auskleidungen, Elektroden in Akkumulatoren und Brennstoffzellen. Die elektrischen Eigenschaften der Kohlenstoff- und Graphitfilze gestalten einzigartige und neue Wege der Widerstandsheizung: flexibler als feinste metallische Leiter, Emissionsvermögen schwarzer Körper, sehr gute Wärmeabstrahlung, große Leistungsdichten, geringe Wärmekapazität, schnelles Aufheizen und Abkühlen. Wegen der geringen Neutronenabsorption finden Kohlenstofffilze auch Anwendung in der Kerntechnik.

Kohlenstofffilze, -gewebe und gewöhnliche -fäden besitzen im allgemeinen keine sehr große mechanische Festigkeit. Durch Verstreckung bei der Fertigung (bei ca. 1500—2500 °C) um 50% wird eine weitgehende Orientierung der Graphitgitterebenen parallel zur Faserachse erreicht, dabei steigt die Zugfestigkeit und der Elastizitätsmodul. Tabelle 2 gibt einen Vergleich von mechanischen Eigenschaften von Kohlenstofffäden und einigen anderen Werkstoffen.

Tabelle 2

	Zugfestigkeit (kp/cm²)	Elastizitätsmodul (10³ kp/cm²)	Reißlänge (km)
Fäden und Drähte			
Kohlenstoff	21 000	4 200	110
Kohlenstoff, hochfest	30 000	2 300	170
Asbest	60 000	1 900	240
Glas	28 000	700	110
Stahl	42 000	2 100	53
Aluminium	1 700	700	6
Werkstoffe:			
Kohlenstoffaser/Kunstharz-Verbundkörper	8 400	2 100	54
Glasfaser/Kunstharz-Verbundkörper	9 000	500	50
Stahl	14 000	2 100	18
Graphitwhisker	200 000	7 000	

Kohlenstofffäden besitzen eine außerordentliche Zugfestigkeit und hohe Steifigkeit, die im Vergleich zu Metallen noch deutlicher wird, wenn die spezifischen Werte verglichen werden. So ist der spezifische Elastizitätsmodul eines Kohlenstofffadens achtmal so groß wie der eines Metalldrahtes. Kohlenstofffäden mit diesen Eigenschaften werden in erster Linie zur Herstellung von Verbundwerkstoffen verwendet.

Graphitwhisker sind harzförmige Kristalle aus Kohlenstoff mit einigen Zentimeter Länge, aber nur sehr geringen Dicke ($0,5-5 \mu\text{m}$). Da mit sinkendem Durchmesser bei Fäden und Drähten die Festigkeitswerte generell ansteigen — Abnahme der Fehlstellen! — werden mit diesen Kohlenstoffwhiskern die höchsten Festigkeitswerte überhaupt erreicht. Heute gehen Verfahren zu ihrer Herstellung von gasförmigen Kohlenstoffverbindungen aus. Bei sehr eng begrenzten Bedingungen scheidet sich Pyrokohlenstoff in Form von Whiskern ab. Leider sind alle Verfahren noch mit so großen Schwierigkeiten verbunden, so daß sie nur im Laboratoriumsmaßstab durchgeführt werden. Wegen ihrer hervorragenden Eigenschaften werden in Zukunft sicher Kohlenstoffwhisker für extrem beanspruchte Werkstücke verwendet werden, obwohl sie sicher kostspieliger als Kohlenstofffäden bleiben werden.

Um die Eigenschaften dünner Fäden oder Whisker auch auszunützen, werden sie mit Matrixmaterialien zu Verbundwerkstoffen verarbeitet. Die Festigkeit solcher Verbundwerkstoffe ist etwa dem Volumanteil der parallel zur Beanspruchungsrichtung ausgerichteten Fasern proportional. Kohlenstoff-Endlosfäden lassen sich ähnlich wie Glasfasern nach einem Wickelverfahren mit Volumanteilen über 50% in eine Kunstharzmatrix einbetten. Man verwendet Epoxidharze, Polyester- und Phenolharze. Ein solcher Verbundkörper ist ebenso steif wie ein Stahlkörper gleicher Abmessungen, der spezifische Elastizitätsmodul beträgt jedoch das Fünffache des Wertes von Stahl. Das bedeutet, daß ein Bauteil aus Verbundwerkstoff nur ein Fünftel der Verformung wie ein vergleichbares Stahlstück zeigt.

Solche Verbundwerkstoffe werden daher vor allem dort eingesetzt werden, wo hohe Festigkeit und hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht benötigt werden: schnell rotierende Bauteile (Turbinenschaufeln, Zentrifugen, Spinn- und Webereimaschinen), Flugzeug- und Fahrzeugbau (Kanten von Tragflächen, Düsengehäuse, Böden in Flugzeugen, Sportwagenkarosserien), Bergsteigerausrüstungen, Maste von Segelbooten.

Die begrenzte Wärmebeständigkeit der heute verwendeten Matrixmaterialien läßt nur eine beschränkte Einsatzmöglichkeit zu. Man kann erwarten, daß bei Verwendung von hitzebeständigen Materialien, z. B. Gläsern, Metallen oder gar Kohlenstoffkörpern, auch ihr Anwendungsbereich wesentlich erweitert werden wird. Versuche in dieser Richtung werden bereits gemacht.

Literatur: Neuartige Kohlenstoffe. O. Vohler et al., Angew. Chem. 1970/11/401.

Kurznachrichten

Eine RNS-abhängige DNS-Polymerase wurde in RNS-haltigen Tumormeren gefunden. Damit scheint eines der Grundprinzipien des genetischen Informationsflusses $\text{DNA} \rightarrow \text{RNS} \rightarrow \text{Protein}$ durchbrochen zu sein. Das RNS-haltige Virus, Mäuseleukämie-Virus und Rous-Sarkom-Virus, erzeugt in der Wirtzelle ein Enzym, welches die genetische Information der viralen RNS in DNA transkribiert, die allem Anschein nach in die Chromosomen des Wirtsorganismus aufgenommen wird und auf diese Weise die maligne Entartung verursacht. Das sog. DNA-Provirus, das in der Wirts-DNA integriert wird, kann aber auch wieder zur Synthese von Virus-RNS dienen. Dieser Befund scheint eine weitreichende Bedeutung für die Carcinogenese durch Tumormeren und für Fragen der genetischen Transkription zu besitzen.

Literatur: Nachr. Chem. Techn. 1970/14/285.

Synthetische Diamanten bis zu einem Karat Gewicht und in Schmuckqualität wurden im Forschungszentrum der General Electric hergestellt. Dazu mußten Drücke zwischen 55000 und 60000 at bei Temperaturen um 1450°C über mehrere Tage aufrechterhalten werden.

Einige der aus Graphit erzeugten Diamanten waren klar und fehlerfrei. Durch Variation der Herstellungsbedingungen sollte es möglich sein, Diamanten zu erzeugen, die den natürlichen überlegen sind. Allerdings sind natürliche Diamanten gleicher Größe wesentlich billiger.

Literatur: Nachr. Chem. Techn. 1970/14/285.

Gallenfarbstoffe sind nicht nur Abfallprodukte beim Abbau des Hämoglobins, sondern haben bei Pflanzen und niederen Tieren als Chromoproteide (Biliproteide) spezifische Funktionen. Neuere Untersuchungen der Chemie und Biochemie brachten neue Erkenntnisse. Bei Pflanzen und niederen Tieren kommen häufig Gallenfarbstoffe vor, ohne daß diese Organismen Hämoglobin oder andere Porphyrinverbindungen in entsprechenden Mengen enthalten. Spezifische Funktionen können sein: Schutzfärbung bei Insekten, photosynthetische Aktivität bei Algen, Photo-regulation von Wachstum und Entwicklung bei höheren Pflanzen.

Literatur: Angew. Chem. 1970/14/527.

Galvanisierte Kunststoffe verbinden viele Vorteile von Kunststoffen und Metallen: niedriges Gewicht und einfache Formgebung, Glanz, Härte und elektrische Leitfähigkeit. Um eine fest haftende Metallschicht auf einem Kunststoff aufzubringen, sind einige Verfahren entwickelt worden. Wesentlich ist dabei eine Vorbehandlung des Kunststoffes, die in seiner Oberfläche die Bildung von Kavernen verursacht, die zur Verankerung des Metalls nach dem Druckknopfprinzip geeignet sind. So wird z. B. ein Formstück aus ABS-Kunststoff (Pfropfpolymerat aus Acrylnitril-Butadien-Styrol) bei 65°C mit Chromschwefelsäure gebeizt. Dadurch wird die Oberfläche des Polymeren hydrophil, die Butadieneinheiten werden abgebaut und es entstehen Kavernen. Im nächsten Verfahrensschritt wird in einem Reduktionsbad eine stromlose Metallabscheidung, Kupfer oder Nickel, durchgeführt, wodurch die Gegenstände leitend gemacht werden. Im Gegensatz zur Silberverspiegelung, die in Silbersalz-Formaldehyd-Lösungen spontan verläuft, sind die Kupfer- und Nickelabscheidung stark gehemmt und setzen nur in Gegenwart katalytisch wirkender Keime ein. Als Keime sind besonders Edelmetalle gut geeignet, es wird also der Gegenstand vorher noch „aktiviert“ durch Eintauchen in Lösungen von $\text{Sn}(\text{II})$ -Chlorid und nach Abspülen in AgNO_3 -, PdCl_2 - oder AuCl_3 -Lösungen. Neuerdings sind auch Verfahren entwickelt worden, die diese Aktivierung durch Edelmetallionen gleichzeitig mit der Beizbehandlung mit Chromschwefelsäure koppeln. Ist der Kunststoff-gegenstand einmal durch den Metallüberzug leitend gemacht, so kann jedes beliebige galvanisch abscheidbare Metall aufgebracht werden. Durch Wahl des geeigneten Elektrolyten lassen sich die Unebenheiten, die durch die Vorbehandlung entstanden sind, vollkommen ebnen. Kunststoffgalvanisieren hat bisher in der Automobil-industrie, Radio- und Phonoindustrie, Uhren-, Foto-, Geschenkartikel-, Haushaltwaren- und Möbelindustrie Eingang gefunden.

Literatur: Angew. Chemie 1970/11/412.

Herbizide in Vietnam. Mit dem erklärten Ziel, das Leben amerikanischer Soldaten zu retten, haben die Amerikaner bis Mitte 1969 eine Fläche von insgesamt 2 Mio Hektar mit Defolianten besprüht. Zu Beginn der Operation sollten nur die Bäume entlang der Straßen und Wasserwege entlaubt werden, dann wurden aber auch feindliche Reisfelder vernichtet und weite Waldgebiete, in denen man Militär- und Versorgungslager des Feindes vermutete. Zu dem Zeitpunkt, als die Operationen begannen, hatte man überhaupt keine Daten über die ökologischen Auswirkungen von Entlaubungsoperationen im großen Stil. Untersuchungen ergaben jetzt, daß der Herbiziden-einsatz die Flora Vietnams drastisch beeinflußte, über Auswirkungen auf die Tierwelt liegen noch keine genauen Angaben vor, doch dürfte auch sie schwer geschädigt sein. Besonders anfällig zeigten sich Mangrovenwälder, bei denen man annehmen muß, daß ihre Regeneration 20 Jahre benötigen wird, vielleicht an manchen Stellen der Wald nie mehr nachwachsen wird.

Drei Arten von Herbiziden wurden verwendet:

Orange: 50% 2,4-Dichlor-phenoxyessigsäure-n-butylester + 50% 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure-

n-butylester zur Entlaubung von Wäldern, Buschwerk, breitblättrigen Kulturpflanzen.

White: Triisopropanolamin. +2,4-Dichlorphenoxyessigsäure-butylester; Triisopropanol +3,5,6-Trichlor-4-aminopicolinsäure zur Entlaubung von Wäldern, wenn lang anhaltende Wirkung erwünscht ist.

Blue: 27,7% Natriumkakodylat +4,8% freie Kakodylsäure + Kochsalzlösung für schnelles, kurzfristiges Entlauben, für Gras- und Reiskulturen.

Über die Toxizität der Herbizide gibt es widersprüchliche Angaben. Einige Komponenten sind für Fische giftig, doch auch Kühe wurden krank oder gingen ein, nachdem sie mit Herbizid behandelte Pflanzen gefressen hatten. Man fand, daß auch schon für die Pflanze subletale Dosen zu einer Anreicherung von Nitriten im Pflanzengewebe führen, die durch die Verdauungsvorgänge in den Tieren zu giftigen Nitriten reduziert werden. Andererseits fand man auch, daß Trichlorphenoxyessigsäure in Ratten und Mäusen schon in solchen Dosen teratogen wirkt, die von den Menschen in Vietnam aufgenommen werden.

Literatur: Nachr. Chem. Techn. 1970/13/267.

Das „anomale Wasser“ beschäftigt weiterhin eine Vielzahl von Forschern, doch mehren sich zunehmend die Befunde, welche seine Nichtexistenz beweisen sollen. So konnten genaue theoretische Berechnungen nach einem Verfahren, welches für gewöhnliches Wasser sehr gute Resultate liefert, zeigen, daß die geforderte starke Dreizentren-Bindung O-H-O überhaupt nicht stabil sein kann. Sehr sorgfältige Analysen des nach den angegebenen Verfahren erhaltenen „Polywassers“ zeigten einen großen Gehalt an Natrium, ferner auch Ca, K, Cl. Auch durch Raster-Elektronenmikroskopaufnahmen wurden Verunreinigungen im anomalen Wasser nachgewiesen, die auf einen Hydrosol hindeuten.

Literatur: Nachr. Chem. Techn. 1970/10/189.

Polykohlenstoffmonofluorid (CF)_n, das unter korrosiven Bedingungen und bei hohen Temperaturen ausgezeichnete Schmiereigenschaften besitzt, wird jetzt zu einem Preis von 40 Dollar für 5 g angeboten. Versuche mit (CF)_n-Schmierfilmen zeigen, daß sie haltbarer wie solche aus Graphit oder MoS₂ sind und der Reibungskoeffizient an den von MoS₂ heranreicht. Die obere Grenze für seine Anwendung liegt bei 400° C.

Literatur: Nachr. Chem. Techn. 1970/10/190.

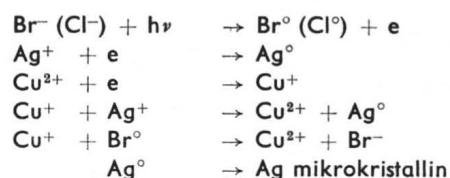
Das stickstoffixierende Enzym Nitrogenase aus dem Bakterium Azotobacter vinelandi konnte in Form größerer, gut ausgebildeter Kristalle erhalten werden. Das Enzym, ein Eisen und Molybdän enthaltendes Protein, soll durch Röntgenstrukturanalyse aufgeklärt werden.

Literatur: Nachr. Chem. Techn. 1970/10/190.

Phototropes Glas wurde zuerst als Brillenglas, das seine Durchlässigkeit für sichtbares Licht proportional zur Einstrahlung des Sonnenlichtes variieren kann, verwendet. Heute wird es auch in Lasern verwendet (q-switch), bei Bildwandlern, in der Holographie und Elektrotechnik bis zur elektronischen Datenverarbeitung, Verwendung für Autowindschutzscheiben als Fensterglas usw. werden bereits diskutiert.

Als Phototropie bezeichnet man die durch Photonen hervorgerufene reversible Änderung zwischen Zuständen unterschiedlicher Absorption. Ein Sonderfall ist die Photochromie, bei dem mindestens einer dieser Zustände sichtbares Licht absorbiert. Die Phototropie ist ein photochemischer Vorgang, bei dem nur das von der phototropen Substanz absorbierte Licht wirksam ist. Bei fortgesetzter Belichtung ändert sich die Farbe solange, bis ein Gleichgewicht zwischen Hin- und Rückreaktion erreicht ist. Wird die Lichtquelle abgeschaltet, kehrt das System in seinen ursprünglichen Zustand zurück. Art der Substanz und Temperatur bestimmen die Wellenlänge des wirksamen Lichtes und die Geschwindigkeit der Gleichgewichtseinstellung. In Lösung zeigen viele anorganische Substanzen phototropes Verhalten, wie Verbindungen des Quecksilbers, Chroms, Molybdäns und Wolframs. 1964

wurde zum erstenmal über ein Borosilikatglas mit Silberhalogeniden als phototrope Komponente berichtet. Diese Silberhalogenidpartikel in der Größenordnung von etwas über 50 Å zersetzen sich ähnlich wie beim photographischen Prozeß bei Lichteinfall. Nach einigen Sekunden Belichtungsdauer ist maximale Lichtdurchlässigkeit eingetreten, die Regeneration dauert ebenfalls nicht länger. Bei der Herstellung phototropen Glases werden dem Glasgemenge bei einer Schmelztemperatur zwischen 1250 bis 1450° C Silbersalze und Halogenide zugemischt. Nach einer anschließenden Wärmebehandlung erhält das Glas phototrope Eigenschaften. Die Ausscheidungen von Silberhalogeniden, die im ursprünglich homogenen Glas durch die Wärmebehandlung entstehen, bestimmen die Eigenschaften. In allen phototropen Gläsern ist neben der silberhalogenidreichen Phase auch eine Phasentrennung im Grundglas zu beobachten. Die Zusammensetzung phototroper Gläser kann in weiten Bereichen schwanken, im allgemeinen enthalten sie: SiO₂, B₂O₃, Al₂O₃, Na₂O, immer CuO, Ag₂O, Cl, Br, F, häufig K₂O, PbO, ZrO₂, BaO, MgO, P₂O₅. Unbelichtetes phototropes Glas hat einen leicht grünlichen Farbton, der beim Belichten verschwindet. Dann wird der Farbeindruck durch die Silberausscheidungen hervorgerufen, die zu mikrokristallinem Ag zusammenwachsen:



Es konnte beobachtet werden, daß die bei konstanter Belichtung bei verschiedenen Gläsern sehr unterschiedliche Schwärzung von der Kristallitgröße, dem Fehlgrad und der Fremdstoffkonzentration der Silberhalogenidausscheidung, abhängt, wobei kurze Temperzeiten zu Ausscheidungen mit mehr Fehlstellen und damit größerer Lichtempfindlichkeit führen. Auch Versuche zur Sensibilisierung, z. B. mit Ag₂S oder durch den Einbau von zweiwertigen Ionen, Ca²⁺ und Cd²⁺, wurden gemacht. Die Anwesenheit von Cu²⁺-Ionen muß aber als notwendiger Sensibilisator für den phototropen Prozeß angesehen werden.

Literatur: Angew. Chemie 1970/11/421.

Plasmaersatz durch hochmolekulare Stoffe: Seitdem erkannt wurde, daß der Schock nach großen Blutverlusten hauptsächlich auf den Flüssigkeitsverlust zurückzuführen ist, wird für die erste Hilfe Blutplasma verwendet. Nun besteht immer ein gewisses Infektionsrisiko (Hepatitis) bei Verwendung von Frischplasma, tiefgefrorenem oder auch gefriergetrocknetem Plasma. Die Suche nach geeigneten Plasmaersatzstoffen brachte auch bereits günstige Ergebnisse. Die wichtigste Anforderung an einen Plasmaersatz betrifft die kolloid-osmotischen Eigenschaften, außerdem soll die Lösung genügend lange haltbar und in technischem Umfang preiswert herstellbar sein.

Dextrane: Eine bereits im vorigen Jahrhundert in Zuckerfabriken gemachte Beobachtung, das „Verschleimen“ von Zuckerlösungen, ist auf eine Infektion mit Dextran bildenden Bakterien (Streptococcus) zurückzuführen. Heute wird mittels eines besonderen Bakterienstammes und Zugabe eines Dextrans bestimmter Molekülgröße als Starter Saccharose einer bakteriellen Polymerisation unterworfen:



Dextrane bestehen aus Glucosemolekülen, die in α -1,6-glucosidischer Bindung verknüpft sind. Natives Dextran bildet mit Wasser hochviscose, strukturierte Lösungen, die selbst mit Wasser nur schwer mischbar sind. Klinisch verwendetes Dextran besteht aus fadenförmigen Molekülen aus 200–300 Glucoseeinheiten, die 15–30 Verzweigungspunkte aufweisen. Der größte Teil einer durch Infusion zugeführten Dextransmenge wird durch die Nieren ausgeschieden, ein Teil wird zu CO₂ abgebaut.

Gelatine: Reine Gelatinelösungen sind für Infusionszwecke ungeeignet, die Gelatine muß teilweise abgebaut

werden. Durch thermischen Abbau erhält man Polypeptide mit einer durchschnittlichen Masse von 12000—15000, die anschließend mit Diisocyanat quervernetzt werden. Vom Organismus wird wieder ein Teil unverändert durch die Nieren ausgeschieden, ein Teil durch körpereigene Enzyme abgebaut.

Polyvinylpyrrolidon: Schon zu Beginn des 2. Weltkrieges wurden zahlreiche synthetische Polymere im Hinblick auf eine Verwendung als Plasmaersatz untersucht, und Polyvinylpyrrolidon (PVP) ist seit dieser Zeit in Verwendung. Die Ausgangssubstanz ist 2-Pyrrolidon, welches nach Reppe vinyliert und anschließend polymerisiert wird. Die fadenförmigen Moleküle liegen in wässriger Lösung als Knäuel mit einem mittleren Durchmesser von 100 Å vor. Da erst nach drei Tagen 80% des infundierten PVP durch die Nieren ausgeschieden wird und auch im Gewebe J-131 markiertes PVP nachgewiesen wurde, ist seine Verwendung heute etwas in den Hintergrund getreten, vor allem, da Bedenken wegen irreversibler Schädigung des Organismus durch gespeicherte Hochpolymere bestehen. Abgebaut wird PVP im Organismus offenbar überhaupt nicht.

Hydroxyäthylstärke: Wegen des sehr raschen Abbaus durch die α -Amylase des Blutserums ist native Stärke als Plasmaersatz nicht geeignet. Unter den Stärkederivaten hat sich 6-Hydroxyäthylstärke bewährt. Als Ausgangsmaterial dient das stark verzweigte Amylopektin der Stärke von Mais, Hirse und Getreide. Durch Züchtung bestimmter Mais- und Hirsearten konnte deren Gehalt an Amylopektin von 75% auf über 90% gesteigert werden. Das gereinigte Amylopektin wird mit verd. HCl partiell abgebaut und das neutralisierte Gemisch solange mit verd. NaOH und Äthyleneoxid behandelt, bis etwa 90% der Glucoseeinheiten substituiert sind.

Der therapeutische Erfolg der Plasmaersatzmittel spricht für sich: die Zahl der Menschen, die einer solchen Lösung ihr Leben verdanken, ist nicht mehr abzuschätzen.

Angew. Chem. 1968/18/719

Organische Laser: Einer amerikanischen Arbeitsgruppe der IBM unter der Leitung von P. Sorokin gelang im Zusammenhang mit Untersuchungen über die Raman-Spektren organischer Farbstoffe die Entdeckung, daß auch solche Verbindungen fähig sind, Laser-Licht zu emittieren.

Ein besonderes Charakteristikum dieser neuen Laser ist, daß die Strahlung über einen sehr weiten Spektralbereich abstimmbar ist. Farbstoffe vom Phtalocyanintyp, substituierte Cumarine oder auch Rhodamin 6G zeigen Fluoreszenz beim Übergang vom niedrigsten angeregten Singulett-Zustand in den Grundzustand. Diese Fluoreszenz besitzt jedoch eine ziemlich große Bandbreite, entsprechend der Kombination des Elektronenanregungszustands mit dem Schwingungsspektrum des Moleküls. Einige Schwingungszustände besitzen nun ein genügend hohes Energieniveau, so daß sie normalerweise nicht besetzt sind. Wird durch Zufuhr von Pumpenenergie, z. B. aus einem Rubin-Laser, die Besetzung solcher Zustände erreicht, so ist die Voraussetzung — die Besetzungsinversion höherer Energienzustände — zur Emission von Laser-Licht gegeben. F. P. Schäfer und seinen Mitarbeitern (Univ. Marburg) gelang als ersten die Frequenzverschiebung dieser Laserstrahlung einfach durch Änderung der Farbstoffkonzentration oder der Länge des Laser-Resonators. Im allgemeinen ist der spektrale output eines Farbstoff-Lasers diffus, entsprechend einer ziemlich großen Bandbreite, doch läßt sich durch eine einfache Vorrichtung diese Bandbreite drastisch verschmälern: anstelle eines Spiegels befindet sich ein reflektierendes Gitter, welches um seine vertikale Achse drehbar ist. Durch Feineinstellung und damit Auswahl der reflektierten Frequenz konnten Linien mit einer Bandbreite von nur 1—2 Å erhalten werden. Mit dieser Vorrichtung läßt sich ein Farbstoff-Laser über einen Bereich von 300—400 Å abstimmen.

Scientif. Amer. 1969/2/30

Kristallisierte t-RNS: In letzter Zeit wurden aus Cambridge, Uppsala und Göttingen erfolgreiche Versuche gemeldet, RNS zu kristallisieren. Es konnten mikrokristalline Sphärolithe, Nadeln und sogar Einkristalle von 0,15 mm Länge erhalten werden. Für eine Röntgenstrukturanalyse sind allerdings diese Kristalle noch zu klein. Alle bis jetzt in ihrer Sequenz aufgeklärten t-RNS lassen sich zu einer kleeblattförmigen Sekundärstruktur zusammenfalten. Nach verschiedenen Vorschlägen können auch abgewandelte Kleeblattstrukturen in Frage kommen, die Entscheidung wird wohl durch Röntgenstrukturanalysen gefällt werden.

Nachr. Chem. Techn. 1969/24/428

EXPERIMENTALPHYSIK

Prof. Richard Lederer

Das Phywe-Computermodell

Wenn man Kurse über Datenverarbeitung absolviert, lernt man tagelang, was ein Computer alles kann und wie er eingesetzt wird, man erfährt aber nichts darüber, wie er das alles tut. Steht man dann schließlich vor der Anlage, sieht man rotierende Magnetbänder, flackernde Lämpchen und einen rasend schnell arbeitenden Drucker. Und fragt man schließlich, wie es denn da drinnen eigentlich aussieht, dann erhält man die Antwort: „Das interessiert nur den Servicetechniker.“

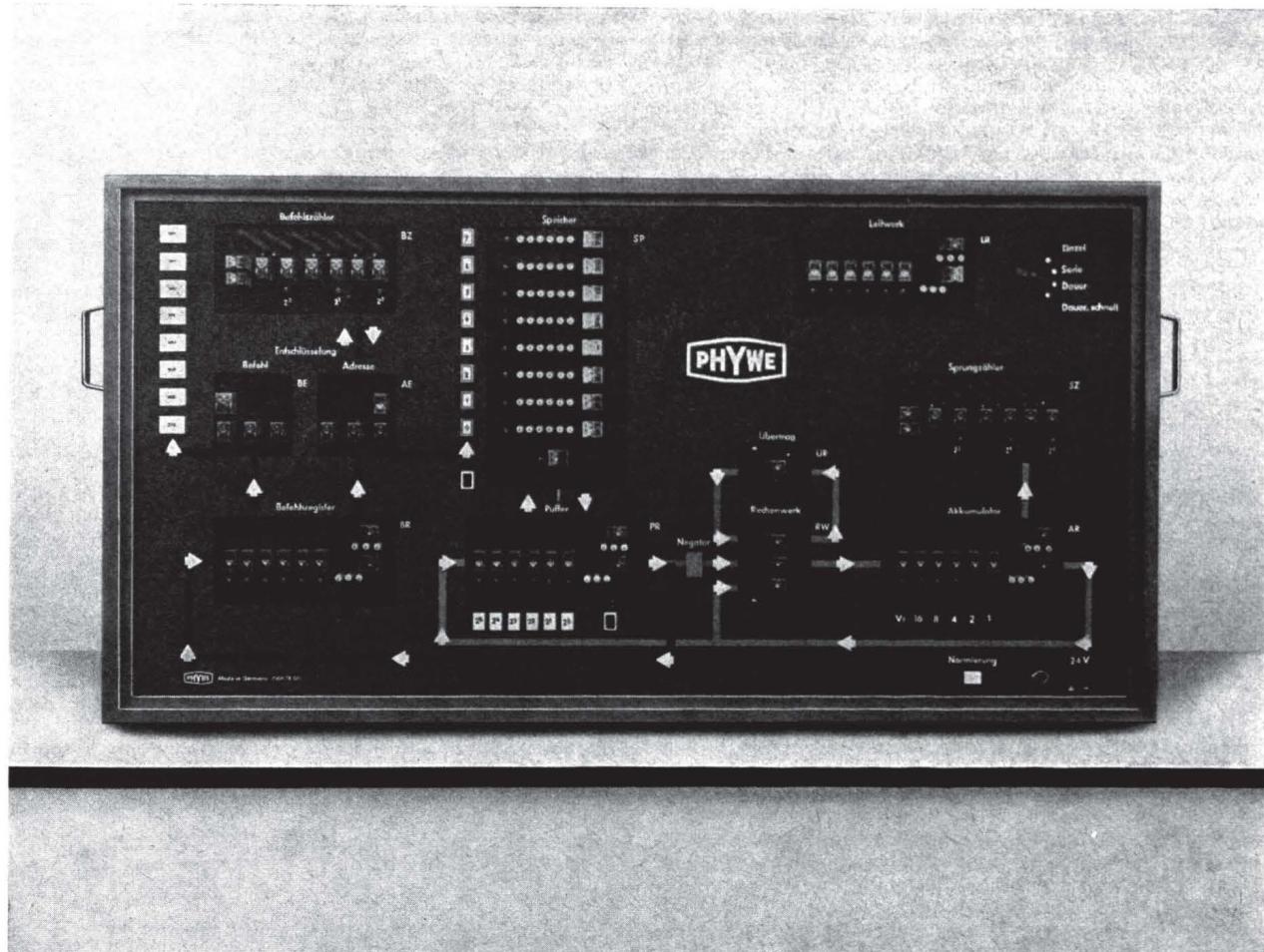
Nun müssen sich die Kursteilnehmer mit dieser Antwort zufriedengeben, schließlich absolvieren sie den Kurs meist wegen des beruflichen Aufstiegs und der besseren Verdienstmöglichkeit. Anders ist die Lage aber in der Schule, in der wir weniger Kenntnisse eindrillen als Einsicht vermitteln wollen. Jeder echte Lehrer möchte auf die Frage „Wie geht es vor sich?“ auch eine befriedigende Antwort geben können.

Wir verdanken es vier Schülern eines Frankfurter Gymnasiums und ihrem Lehrer Horst Blüm, ein überaus anschauliches Modell einer Digitalrechenanlage vorführen zu können. Die bekannte Firma PHYWE hat den serienmäßigen Nachbau übernommen, und ihre österreichische Vertretung, Firma Lorber in Wien, bemühte sich trotz großer Schwierigkeiten, ein Gerät zur praktischen Erprobung zur Verfügung stellen zu können und übernahm auch alle Transportkosten. Inzwischen konnten viele Kollegen anlässlich der Fortbildungswoche in Wien und des Phywe-Seminars in Salzburg das Gerät in Betrieb sehen,

weshalb sich eine genauere Darstellung erübrigen könnte. Wenn hier trotzdem kostbare Zeilen verwendet werden, um über das Computermodell zu berichten, dann deshalb, um zwei Punkte ganz besonders herauszustreichen.

Zunächst einmal mögen alle jene beruhigt sein, die fürchten, eine drückende Bürde aufgelastet zu bekommen, weil sie nun zu einem monatelangen Studium der Computertechnik gezwungen wären. Zu dem Gerät wird eine programmierte Anleitung mitgeliefert, deren Durcharbeiten wohl zwei volle Nachmittage beansprucht, dann aber beherrscht man die Vorführung des Gerätes.

Das Modell mit nach Hause zu nehmen, um zwischen Kochen und Geschirrspülen daran studieren zu können, wird allerdings etwas schwierig sein, denn es ist fast zwei Meter lang! Diese Größe gewährleistet aber gute Überschaubarkeit aller Teile für die Demonstration auch vor großen Klassen. Acht Speicher, unbedingte Sprungbefehle, bedingte Sprungbefehle (insgesamt 8 Befehle), die Umschaltmöglichkeit auf Einzelschritt, Serie und Dauerarbeit und die anschauliche Anzeige durch Glühlämpchen ermöglichen die anschauliche Heranführung der Schüler zu dem Punkt, an dem man mit der praktischen Arbeit an einer programmierbaren Tischrechenmaschine anknüpfen kann. Die Grundrechnungsarten, Folgen und Reihen, Quadrate und Wurzeln können erarbeitet werden, wobei die Notwendigkeit, letztlich alle Operationen auf die Addition zurückzuführen, interessante mathematische Erörterungen auslöst, die aber auch von mathematisch schwach begabten Schülern nicht als trocken empfunden werden.



Zweitens soll auf einen Umstand hingewiesen werden, der im Verlauf von Vorführungen des Modells oft zu wenig beachtet wird. Es wurden nämlich Schaltplatten mit Steckteilen geschaffen, mit deren Hilfe einige Vorgänge im Computermodell erklärt werden können. Negation, Speicherung einer Information, Schieberegister, Impulsgenerator, Decodierung, Halb- und Volladdierwerk und die Axiome der Schaltalgebra können unter Verwendung von maximal 4 Schaltplatten erläutert werden. Die Schaltplatten sind relativ klein und manche Schaltungen wirken ein wenig unübersichtlich. Für diese erläuternden Versuche wird die Vorbereitung viel länger dauern als für das Computermodell, aber man kann die Schaltplatten leicht mit nach Hause nehmen und sich in Ruhe damit auseinandersetzen.

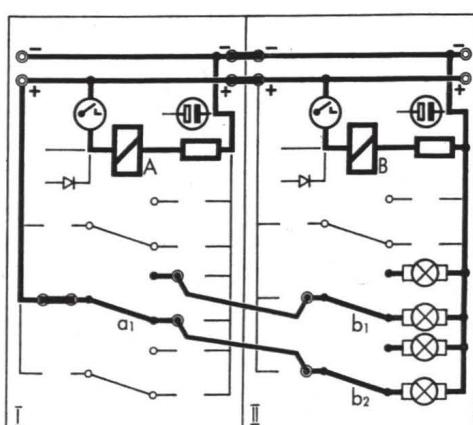
Ein noch zu lösendes Problem wird die Anschaffung des Computermodells sein. Für jede Schule ein eigenes Modell zu beschaffen, wäre Verschwendug, weil man das Gerät nicht oft braucht und es meist nur im Weg stehen würde. Wegen der Größe kann man es aber nicht selbst von Schule zu Schule transportieren. Es wäre also erforderlich, von den Stadtschulräten den Transport des Geräts zu erwirken, denn daß ganze Schulklassen oftmals zu einer bestimmten Schule pilgern, ist wohl auch nicht der richtige Weg! Dieses Transportproblem läßt sich nach den bisherigen Forschungen z. B. in Wien nicht lösen. Hier muß offenbar für den Vorrang der Bildung noch einiges geändert werden!

Analogrechnen in der Schule

In der populären Literatur wird stets darauf hingewiesen, daß es zwei Arten von Computern gibt: Digitalrechenanlagen, bei denen alle zu verarbeitenden Größen durch Zahlen dargestellt werden müssen, wobei die Anlage nur eine bestimmte endliche Anzahl von Informationszuständen besitzt (z. B. die Anzahl der Zähne an den Zahnrädern einer Handkurbelrechenmaschine), und die Analogrechner, die mit kontinuierlich veränderlichen Größen arbeiten (Musterbeispiel ist der Rechenschieber).

Nach dieser oberflächlichen Unterscheidung kommen wir aber auf einen prinzipiell viel wichtigeren Unterschied: Es ist das Arbeitsprinzip der Physik, alle physikalischen Vorgänge mathematisch zu beschreiben. Der Analogrechner geht gerade den umgekehrten Weg: Hier werden mathematische Zusammenhänge durch physikalische Vorgänge nachgebildet. Beim elektronischen Analogrechner verwendet man ein elektrisches Netzwerk, das den mathematischen Zusammenhang in einem elektrischen Vorgang nachbildet, wobei die Lösung stets als elektrische Spannung erscheint und als unabhängig Veränderliche die Zeit verwendet wird.

Für die Schule gibt es schon relativ viele Geräte zum Kapitel Digitalrechner, aber fast nichts zur Einführung in die Probleme des Analogrechnens. Das liegt natürlich



Mit ausdrücklicher Genehmigung der Firma Phywe-AG Göttingen

Wenn man die im ausführlichen Anleitungsbuch enthaltenen Kapitel entsprechend ausbaut und noch einiges dazunimmt (z. B. Halbleiterprobleme), hat man genügend Stoff für eine physikalische Arbeitsgemeinschaft mit dem Thema „Elektronisches Rechnen“.

daran, daß eine Einführung in das Digitalrechnen zunächst nur die Kenntnis des Dualsystems und der Grundrechnungsarten erfordert, während man beim Analogrechner sehr schnell in den Gefilden der Infinitesimalrechnung landet. Man sollte aber in den Oberstufen der höheren Schulen nicht den Eindruck bestehen lassen, daß der Computer nur ein schnell arbeitender Addierer ist. In der technischen Forschung ist ebenso wichtig der Analogrechner, der durchaus kein Idiot mit Spezialbegabung ist, sondern die Lösung von Differentialgleichungen ermöglicht, die in geschlossener Form mit Bleistift und Papier nicht lösbar sind!

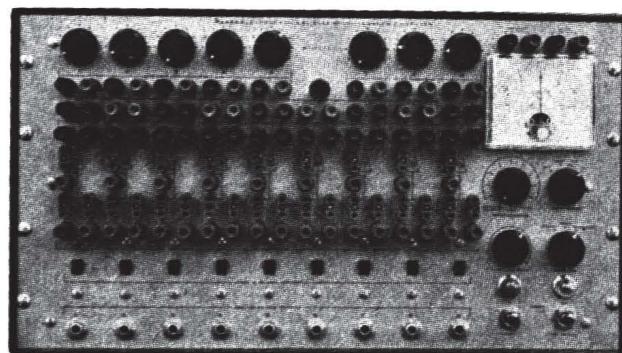
Selbstverständlich kann die Schule nur eine kleine Einführung in das riesige Spezialgebiet des Analogrechnens geben, aber diese Einführung sollte unbedingt und besonders für die Schüler gebracht werden, die im späteren Leben mit technischen Problemen nicht mehr in Berührung kommen. Wir Naturwissenschaftler sind es nämlich oft, die im Bestreben, alles auf einfache prinzipielle Erscheinungen zurückzuführen, den oft angeborenen Hochmut der Alphilologen und Juristen noch fördern. Vielleicht läßt sich etwas Bescheidenheit anmerken, wenn man bewußt macht, daß es Dinge gibt, die ein aufs Memorieren gedrilltes Hirn nie begreifen wird!

Die wichtigsten Bauteile

Wir wollen uns nun mit den wichtigsten Einrichtungen eines Analogrechners befassen, die an jedem Gerät zu finden sind. Die speziellen Angaben (Spannungen, Anzahl der Bauelemente) beziehen sich auf den von der Österreichischen Lehrmittelanstalt beziehbaren Schulanalogrechner, der eine Reihe von Vorteilen besitzt: Er ist das einzige Gerät dieser Art, das wegen seines zwar nicht niedrigen, aber doch vertretbaren Preises überhaupt in Betracht kommt, er ist kompliziert genug, um in die Technik des Analogrechners einführen zu können und ist anderseits doch nicht so umfangreich, daß leicht schreckbare Gemüter in sicherer Entfernung zu bleiben wünschen.

Es wurde schon erwähnt, daß die abhängige Veränderliche stets durch eine Spannung repräsentiert wird. Die von dem stabilisierten Netzteil gelieferte und damit belastungsunabhängige Spannung ist die „Maschinenspannung“, die in unserem Fall 60 V beträgt. Um beliebige Spannungen (unter 60 V) bereitzustellen zu können, braucht man „Koeffizientenpotentiometer“, die den Abgriff jeder Spannung von 0 bis 60 V ermöglichen. Der Schulanalogrechner besitzt für die Maschinenspannung drei Buchsenpaare, die bereits mit Koeffizientenpotentiometern (ganz oben rechts) kombiniert sind, wodurch drei voneinander unabhängige regelbare Spannungen zur Verfügung stehen. Außerdem besitzt das Gerät noch 5 freie Potentiometer (oben links), mit denen von außen zugeführte Spannungen geregelt werden können.

Wir haben nun die Maschinenspannung und die Koeffizientenpotentiometer kennengelernt. Das Herz jedes Analogrechners wird von seinen Operationsverstärkern gebildet. Mit ihnen müssen wir uns nun ausführlich beschäftigen.

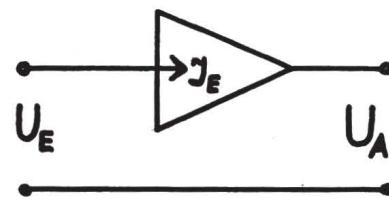


Operationsverstärker

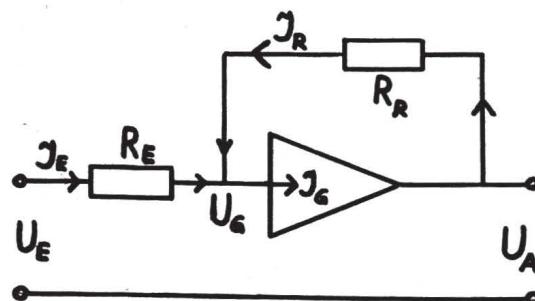
Der Operationsverstärker ist ein invertierender (das Vorzeichen umkehrender) Verstärker mit zwei besonderen Eigenschaften: Der Verstärkungsfaktor V soll möglichst groß sein (in unserem Gerät 10000, sonst bis 10^7), und der in den Verstärker fließende Gitterstrom I_G soll vernachlässigbar sein. Früher konnte man winzige Eingangsströme nur mit Elektronenröhren verwirklichen, daher

handelt es sich auch bei unserem Schulanalogrechner um ein Röhrengerät. Heute gibt es schon integrierte Transistor-Verstärker mit dem Faktor $V=100000$. Unser Röhrengerät hat den Vorteil, daß die Ausgangsspannungen im Bereich bis 60 Volt liegen, weshalb ein Unimeter mit 50-V-Meßbereich das geeignete Anzeigegerät ist. Für die feinen Ausgangsspannungen der integrierten Schaltungen fehlen der Schule die Anzeigegeräte!

Das Symbol für den Operationsverstärker ist ein liegendes gleichschenkeliges Dreieck, an dessen Basis der Eingangstrom (Gitterstrom) I_E zugeführt wird, während an der Spitze die Ausgangsspannung U_A abgegriffen wird. Alle Spannungen werden gegen die unten gezeichnete Bezugssleitung gemessen, die bei den folgenden Schaltbildern weggelassen wird.



Wir fügen in den Schaltplan noch zwei Widerstände ein (Eingangswiderstand R_E und Rückkopplungswiderstand R_R) und haben es nun mit drei Spannungen und drei Strömen zu tun: Der zugeführte Eingangsspannung U_E , der am Gitter wirksamen Spannung U_G , der Ausgangsspannung U_A ; der durch die Eingangsspannung über den Widerstand R_E verursachte Strom heißt I_E , der in das Gitter fließende Eingangsstrom I_G und der vom Ausgang über R_R zurückfließende Rückkopplungsstrom I_R .



Für die Ströme gilt die Knotenpunktregel (Summe der zufließenden ist gleich Summe der abfließenden Ströme): $I_E + I_R = I_G$. Nun wird I_E durch die Spannungsdifferenz $U_E - U_G$, I_R durch die Spannungsdifferenz $U_A - U_G$ verursacht. Daher gilt nach dem Ohmschen Gesetz:

$$I_E = \frac{U_E - U_G}{R_E} \quad I_R = \frac{U_A - U_G}{R_R}$$

Dies setzen wir in Knotenpunktregel ein, beachten die Vernachlässigbarkeit von I_G ($I_G = 0$) und benutzen anschließend die Gleichung für die Spannungsverstärkung $U_A = V \cdot U_G$, um U_G zu eliminieren:

$$\frac{U_E - U_G}{R_E} + \frac{U_A - U_G}{R_R} = 0$$

$$\frac{U_E - \frac{U_A}{V}}{R_E} + \frac{U_A - \frac{U_A}{V}}{R_R} = 0.$$

Wenn der Verstärkungsfaktor V sehr groß ist (und das war Voraussetzung), darf man die Brüche mit dem Nenner V vernachlässigen und erhält:

$$\frac{U_E}{R_E} + \frac{U_A}{R_R} = 0$$

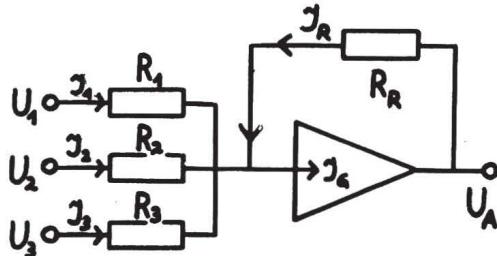
$$U_A = - \frac{R_R}{R_E} \cdot U_E$$

Die Eingangsspannung wird also mit dem Faktor $\frac{R_R}{R_E}$ multipliziert. Diesen Faktor wählen wir mit 0,1 oder 1 oder 10, indem wir stets $R_R = 1 \text{ M}\Omega$ wählen und für R_E entweder $10 \text{ M}\Omega$ oder $1 \text{ M}\Omega$ oder $100 \text{ k}\Omega$ einstecken. Es sind dem Gerät genügend Einstektwiderstände beigegeben. Die dekadischen Faktoren werden also durch

die beiden Widerstände eingestellt, andere Faktoren können mittels eines Koeffizientenpotentiometers eingestellt werden, das dem Eingang vorgeschaltet wird und die Eingangsspannung entsprechend abschwächt.

Die Summation

Die zu summierenden Spannungen werden über Eingangswiderstände laut Skizze an den Eingang des Operationsverstärkers geschaltet.



Die Knotenpunktregel ergibt wegen $I_G=0$ die Gleichung

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 + I_R &= 0 \\ \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \frac{U_A}{R_R} &= 0 \\ U_A &= -U_1 \cdot \frac{R_R}{R_1} - U_2 \cdot \frac{R_R}{R_2} - U_3 \cdot \frac{R_R}{R_3}. \end{aligned}$$

Durch Wahl eines passenden Eingangswiderstandes kann jede Eingangsspannung mit 0,1 oder 10 multipliziert werden, andere Faktoren erreicht man wieder durch vorherige Abschwächung mittels Potentiometers, die so eingerichteten Spannungen werden summiert und das Vorzeichen der Summe invertiert.

Subtraktion

Soll eine Spannung subtrahiert werden, muß man lediglich ihr Vorzeichen umkehren, dazu führt man sie vor der Summation einem invertierenden Operationsverstärker zu, der gemäß den vorangegangenen Erklärungen mit $R_E = R_R = 1 \text{ M}\Omega$ beschaltet ist.

Integration

Für einen Kondensator gilt die Beziehung $Q = C \cdot U$. Wir schalten in den Rückkopplungsweg einen Kondensator, für den als Spannung die Ausgangsspannung U_A des Operationsverstärkers dient (wie die Ableitung zeigte, verschwindet wegen des großen Wertes für V die Spannung U_G , sie kann stets vernachlässigt werden).

$$Q = C \cdot U_A \quad \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dU_A}{dt}.$$

Die Änderung der Kondensatorladung bewirkt den Rückkopplungsstrom I_R .

$$I_R = C \cdot \frac{dU_A}{dt}.$$

Die Knotenpunktregel ergibt wieder $I_R + I_E = 0$.

$$\begin{aligned} C \cdot \frac{dU_A}{dt} + \frac{U_E}{R_E} &= 0 \\ \frac{dU_A}{dt} &= -\frac{1}{R_E \cdot C} \cdot U_E \end{aligned}$$

$$U_A = -\frac{1}{R_E \cdot C} \cdot \int_0^t U_E dt + c.$$

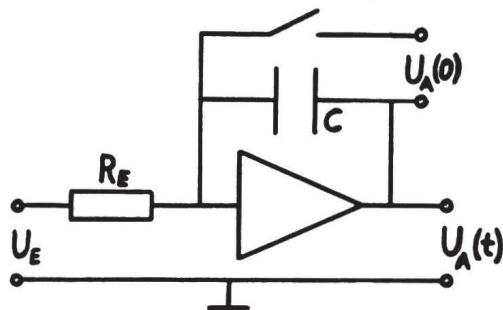
Die Integrationskonstante ergibt sich für $t=0$ als Anfangsbedingung für U_A :

$$c = U_A(0).$$

Die Gleichung für U_A zeigt uns, was für die praktische Ausführung der Integration alles zu tun ist:

1. Die Anfangsbedingung $U_A(0)$ muß dem Kondensator zugeführt werden. Die Integration wird zunächst dadurch verhindert, daß die Anfangsspannung U_A über einen geschlossenen Kontakt am Kondensator liegt, wodurch der Kondensator an einer festen Spannung liegt und kein Rückkopplungsstrom fließen kann.

2. Im Augenblick der Kontaktunterbrechung beginnt unsere Gleichung wirksam zu werden, dieser Augenblick bedeutet $t=0$ und die Integration beginnt.



3. Wie man aus dem Schaltbild erkennt, darf die Anfangsspannung $U_A(0)$ keine geerdete Spannung sein. Man braucht also unbedingt für jede Anfangsbedingung eine anfangsfreie Spannungsquelle! Die Eingangsspannung dagegen ist mit einem Pol geerdet.

4. Das in der umrahmten Gleichung auftretende Produkt $R_E \cdot C$ hat eine wichtige Bedeutung. Wenn $U_A(0)=0$ ist und U_E eine konstante Spannung ist, folgt aus der umrahmten Gleichung

$$U_A = -\frac{1}{R_E \cdot C} \cdot U_E \cdot t.$$

Wir stellen die Frage, nach welcher Zeit $U_A = -U_E$ ist. Wie man sofort erkennt, gilt das nach der Zeit $t = R_E \cdot C$. Wir nennen das Produkt $R_E \cdot C$ die Zeitkonstante. Mit $C = 1 \mu\text{F}$ und $R = 1 \text{ M}\Omega$ ist die Zeitkonstante gleich 1, das bedeutet natürlichen Zeitablauf. Wir können aber mit $R = 0,1 \text{ M}\Omega$ die Zeit raffen (Zeitkonstante 0,1) oder mit $R = 10 \text{ M}\Omega$ dehnen. Große Zeitkonstanten sind möglichst zu vermeiden (den Grund dafür erfahren wir später).

Ausgabemöglichkeiten

Wie kann die Ausgangsspannung nach einer bestimmten Zeit festgestellt werden? Ist es möglich, die Funktion U_A in Abhängigkeit von der Zeit graphisch darzustellen? Diesen Fragen wollen wir uns widmen, wobei wir mit den einfachsten Mitteln beginnen und zu komplizierteren Methoden weiterschreiten.

1. Der Schulanalogrechner hat ein Voltmeter eingebaut, das für viele Funktionen schaltbar ist. Es kann auch an den Ausgang der Operationsverstärker geschaltet werden und ermöglicht dann die Ablesung der jeweiligen Ausgangsspannung. Allerdings muß man dabei vor dem Meßgerät stehen.

2. Will man die Ausgangsspannung einem größeren Kreis sichtbar machen, kann man ein Demonstrationsvoltmeter (z. B. ist das Unimeter mit dem Meßbereich 50 V = gut geeignet) dem eingebauten Meßinstrument parallel schalten. Allerdings besitzen große Instrumente auch eine große Trägheit, die sich störend auswirken kann.

3. Empfehlenswert ist die Anzeige durch ein Digitalmultimeter. Besonders die größere Type besitzt eine sehr geeignete Einrichtung: Man kann nämlich einen Schalter anschließen, bei dessen Betätigung der augenblickliche Spannungswert angezeigt und festgehalten wird. Damit kann man eine Funktion punktweise aufnehmen und anschließend zeichnen.

4. Der Schulanalogrechner bietet die Möglichkeit, die Integration repetierend ausführen zu lassen, und zwar mit einer Frequenz, die von 0,1 bis 15 Hz stetig einstellbar ist. Mit der höheren Frequenz und einer zeitraffenden Zeitkonstante kann man die Kurve geschlossen auf den in unseren Schulen vorhandenen Oszillosgraphen darstellen. Allerdings ist die Schaltung ein wenig kompliziert und wird später bei den Anwendungen beschrieben.

5. Mit nachleuchtenden Bildschirmen könnte man die Kurve auch mit normaler Zeitkonstante graphisch darstellen, jedoch gibt es solche Geräte nicht an unseren Schulen.

6. Die Technik arbeitet mit automatischen Schreibeinrichtungen, die die Integralkurve selbsttätig aufzeichnen, aber solche Dinge können wir höchstens bei Exkursionen bewundern.

(Fortsetzung folgt)

MATHEMATIK

Dr. Walter Kranzer

Hochschulprofessor Dr. Wilfried Nöbauer (T. H. Wien)

Algebraische Strukturen¹

Der Begriff der algebraischen Struktur (oder wie man heute auch sagt, der Algebra) gehört zweifellos zu den wichtigsten Begriffen der modernen Mathematik. Durch diesen Begriff wird nämlich eine beträchtliche Zahl von mathematischen Objekten erfaßt, welche entweder bei der Beschreibung und Untersuchung von Teilgebieten der Mathematik auftreten oder in Anwendung der Mathematik auf Probleme anderer Wissenschaften eine Rolle spielen.

Als Beispiele für das Auftreten algebraischer Strukturen bei der Untersuchung mathematischer Teilgebiete möchte ich nur erwähnen die Verwendung der sogenannten „Vektorräume“ bei der analytischen Behandlung der Geometrie oder die Verwendung der sogenannten „Booleschen Algebra“ in der Wahrscheinlichkeitstheorie. Als Beispiel für das Auftreten algebraischer Strukturen bei Anwendungen der Mathematik auf andere Wissenschaftsgebiete möchte ich einige in den letzten Jahren aktuell gewordene Fälle aufzählen: In der sogenannten „Automatentheorie“ spielen die „Halbgruppen“ eine wichtige Rolle. In der mathematischen Genetik verwendet man mit Erfolg die „Jordan-Algebren“. Für die Theorie der fehlerkorrigierenden Codes sind die endlichen Körper, die sogenannten Galoisfelder, von Bedeutung. In der Theorie der elektrischen Schaltungen sind die Booleschen Algebren ein wichtiges Hilfsmittel.

Die Anwendung der algebraischen Strukturen geht in allen Fällen letzten Endes darauf zurück, daß irgendwelche Mengen von Objekten des betreffenden (mathematischen oder anderen) Gebietes als eine Algebra von irgendeinem speziellen Typ (Gruppe, Halbgruppe, Boolesche Algebra, Jordan-Algebra usw.) aufgefaßt werden. Alle Sätze, die für die Algebren dieses Typs gelten, gelten dann also auch für die Algebra der Objekte und liefern also Sätze über das Gebiet, über das Operieren mit den Objekten und zum Operieren, also zum Rechnen in der Algebra. Die Algebra wird also dann zum „Modell“ für das betreffende Gebiet, und statt des Gebietes selbst kann man auch die Algebra betrachten, mit der man oft leichter umgehen kann. So kann man z. B. in der Wahrscheinlichkeitstheorie die Ereignisse als Elemente einer Booleschen Algebra auffassen, oder in der Theorie der elektrischen Schaltungen Reihenparallelschaltungen als Polynome über der Booleschen Algebra mit 2 Elementen usw.

Auch in den Mittelschul Lehrstoff findet der Begriff der algebraischen Struktur allmählich Eingang. Nach dem letzten Lehrplan werden derzeit jedenfalls die Algebren „Ring“, „Körper“ und „Gruppe“ schon in der Mittelschule eingeführt und auch angewendet. Mein Vortrag soll aber nicht auf die Behandlung dieser Algebren im Schulunterricht eingehen; ich möchte Ihnen vielmehr einen Einblick in einige über den Mittelschul Lehrstoff hinausgehende Aspekte aus der Theorie der algebraischen Strukturen und damit also aus der modernen Algebra geben, von denen Sie während Ihres Hochschulstudiums vermutlich nur wenig gehört haben. Vielleicht können Sie davon auch einige Anregungen für den Unterricht gewinnen. Es ist jedenfalls wesentlich, daß schon der Mittelschüler mit dem Begriff der algebraischen Struktur ein wenig vertraut wird, und man soll daher stets, wenn im Mathematikunterricht eine algebraische Struktur auftritt, darauf hinweisen.

Bevor ich die wichtigsten Typen von Algebren aufzähle und auch Beispiele erläutere, muß ich aber doch wohl die allgemeine Definition des Begriffes „Algebra“ angeben:

Unter einer n -steligen Rechenoperation in der Menge M

¹ Die Österr. Math. Ges. veranstaltet seit längerer Zeit jährlich drei Fortbildungsvorträge für die Mathematiklehrer an den Höheren Schulen. Herr Professor Nöbauer hatte die Liebenswürdigkeit, das Manuskript eines dieser Vorträge den Wiss. Nachr. zur Verfügung zu stellen. Der Vortrag wurde Anfang 1970 von ihm gehalten.

versteht man eine Abbildung von $M \times M \times \dots \times M$ in M , also eine Vorschrift ω , die jedem geordneten n -Tupel (a_1, a_2, \dots, a_n) von Elementen aus M ein neues Element $\omega(a_1, a_2, \dots, a_n)$ von M zuordnet. Unter den Rechenoperationen sind am wichtigsten die zweistelligen, eventuell auch noch die einstelligen. Bei den zweistelligen Operationen schreibt man das Operationssymbol ω (das kann + sein oder \cdot usw.) meist zwischen die beiden Elemente.

Zweistellige Operationen sind etwa die Addition oder die Multiplikation in der Menge der ganzen Zahlen. Eine einstellige Operation ist die Differentiation in der Menge der beliebig oft differenzierbaren Funktionen.

Unter einer Algebra versteht man nun eine Menge M , in der Rechenoperationen $\omega_1, \omega_2, \dots$ gegeben sind.

Ich gebe nun die wichtigsten Typen von Algebren an:

I. Gruppoide: Das sind Algebren mit einer zweistelligen Operation.

Wichtigster Spezialfall: Die Gruppe. Das ist ein Gruppoide, das folgende Gesetze erfüllt:

(α) $(ab)c = a(bc)$.

(β) Die Gleichungen $ax = b$ und $ya = b$ sind für jedes Paar a, b eindeutig lösbar.

Es gilt folgendes Kriterium (das vielfach auch zur Definition der Gruppe verwendet wird).

Ein Gruppoide ist dann und nur dann eine Gruppe, wenn gilt

1. $(ab)c = a(bc)$.

2. Es gibt e , so daß $ae = ea = a, \forall a \in G$.

3. Zu jedem a gibt es a^{-1} , so daß $a a^{-1} = a^{-1} a = e$.

Der wichtigste Spezialfall des Gruppenbegriffes ist die kommutative oder abelsche Gruppe: Das ist eine Gruppe, die auch noch erfüllt (γ) $ab = ba$.

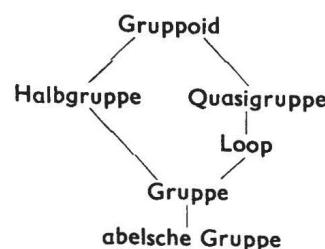
Durch Weglassen eines Axiomes in der Gruppedefinition erhält man weitere wichtige Spezialfälle von Gruppoiden:

Ein Gruppoide, das (α) erfüllt, heißt Halbgruppe.

Ein Gruppoide, das (β) erfüllt, heißt Quasigruppe.

Eine Quasigruppe, die (2) erfüllt, heißt eine Loop.

Also haben wir folgenden „Stammbaum“



Beispiele: Halbgruppe: Symmetrische Halbgruppe einer Menge, d. h. die Menge aller Abbildungen der Menge in sich mit der Abbildungsmultiplikation als Verknüpfung.

Gruppe: Symmetrische Gruppe einer Menge.

Quasigruppe: Hier gibt es kaum einfache Beispiele, die nicht gleichzeitig auch Gruppen sind. Man kann sich aber Quasigruppe und Loop selbst konstruieren.

II. Ringe: Es handelt sich dabei um algebraische Strukturen mit zwei zweistelligen Operationen, welche mit + und \cdot bezeichnet werden. Die wichtigsten Typen sind hier die assoziativen Ringe. Das sind algebraische Strukturen mit zwei zweistelligen Operationen + und \cdot , welche folgende Gesetze erfüllen:

(1) $(a + b) + c = a + (b + c)$,

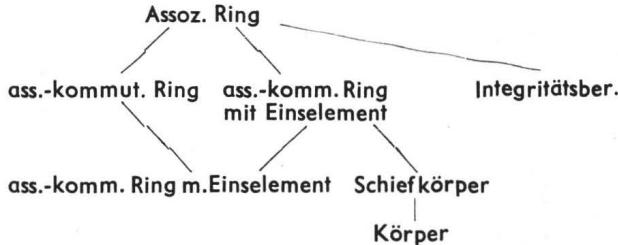
(2) Die Gleichungen $a + x = b$ und $y + a = b$ sind für jedes Paar a, b eindeutig lösbar.

(3) $a + b = b + a$,

(4a) $a(b + c) = ab + ac$,

- (4b) $(b+c)a = ba + ca$,
 (5) $a(bc) = (ab)c$.
 Ein assoziativer Ring, in dem auch noch gilt
 (6) $ab = ba$ heißt ein assoziativ-kommutativer Ring.
 Ein assoziativer Ring, in dem auch noch gilt
 (7) es gibt ein Element e , so daß $ae = ea = a$, $\forall a$, heißt ass. Ring mit Einselement.
 Ein assoziativer Ring, in dem gilt
 (8) die Elemente $\neq 0$ bilden eine Halbgruppe bezüglich \cdot , heißt Integritätsbereich.
 Ein assoziativer Ring, in dem gilt
 (9) die Elemente $\neq 0$ bilden eine Gruppe bezüglich \cdot , heißt Schiefkörper.
 Ein assoziativer Ring, in dem gilt
 (10) die Elemente $\neq 0$ bilden eine abelsche Gruppe bezüglich \cdot , heißt Körper.

Also haben wir folgenden Stammbaum:



Beispiele: Assoziativer Ring der zweizeiligen quadratischen Matrizen über den ganzen Zahlen (hat Einselement, ist nichtkommutativ und kein Integritätsbereich).

Assoziativ-kommutativer Ring: Restklassenring mod 6 (hat Einselement, ist kein Integritätsbereich).

Integritätsbereich: Ring der ganzen Zahlen (ist auch assoziativ kommutativ mit Einselement).

Schiefkörper: Der Quaternionenschiefkörper. Dieser besteht aus allen Matrizen $\begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{pmatrix}$, wo α, β komplexe Zahlen sind und $\bar{\mu}$ das konjugiert-komplexe zu μ bedeutet. $+$ und \cdot sind Addition und Multiplikation von Matrizen. Es ist leicht nachzurechnen, daß diese Matrizen einen Schiefkörper bilden, der aber kein Körper ist.

Körper: Der Körper der rationalen Zahlen. Durch Streichen von Axiomen in der Definition des assoziativen Ringes erhält man weitere Typen von Ringen:

Streicht man (3) und (4a), so erhält man einen „Rechtsfasstring“.

Beispiel: Die Menge aller reellen Funktionen mit der Funktionenaddition als $+$ und der Zusammensetzung von Funktionen als \cdot ist ein Rechtsfasstring, der aber kein assoziativer Ring mehr ist, denn es gilt wohl $[f(x) + g(x)] \cdot h(x) = f[h(x)] + g[h(x)]$, aber nicht $f(x) \cdot [g(x) + h(x)] = f[g(x)] + f[h(x)]$.

Streicht man (5), so erhält man einen „nicht notwendig assoziativen Ring“. Man betrachtet von diesen Ringen aber meist Spezialfälle, also:

Man ersetzt (5) durch eines oder mehrere andere Axiome. Die wichtigsten Fälle sind folgende:

Alternativringe: Statt (5) gilt $(aa)b = a(ab)$ und $(ba)a = b(aa)$.

Lie-Ringe: Statt (5) gilt $a^2 = 0$ und $(ab)c + (bc)a + (ca)b = 0$.

Jordan-Ringe: Statt (5) gilt $ab = ba$ und $[(aa)b]a = (aa)(ba)$.

Beispiele: Aus jedem assoziativen Ring erhält man einen Lie-Ring, wenn man die Addition beibehält und die Multiplikation \cdot definiert durch $a \cdot b = ab - ba$. Man erhält einen Jordan-Ring, wenn man die Addition beibehält und die Multiplikation \cdot definiert durch $a \cdot b = ab + ba$.

Weitere Beispiele eines Lie-Ringes: Die Vektoren des dreidimensionalen Raumes mit der Vektoraddition als Addition und dem vektoriellen Produkt als Multiplikation.

III. Verbände: Es handelt sich dabei um algebraische Strukturen mit zwei zweistelligen Operationen, welche mit \cup und \cap bezeichnet werden.

Ein Verband ist eine Algebra mit zwei zweistelligen Operationen, welche folgende Gesetze erfüllen:

- (1) $(a \cup b) \cup c = a \cup (b \cup c)$ $(a \cap b) \cap c = a \cap (b \cap c)$
 (2) $a \cup b = b \cup a$ $a \cap b = b \cap a$

- (3) $a \cup (a \cap b) = a$ $a \cap (a \cup b) = a$
 Gilt dazu noch
 (4) $a \cap (b \cup c) = (a \cap b) \cup (a \cap c)$
 $a \cup (b \cap c) = (a \cup b) \cap (a \cup c)$, spricht man von einem distributiven Verband.
 Gilt zu (1)–(4) noch
 (5a) es gibt ein Element 0, so daß $a \cup 0 = a$, $\forall a$
 (5b) es gibt ein Element 1, so daß $1 \cap a = a$, $\forall a$
 (6) zu jedem a gibt es ein a , so daß $a \cap a = 0$, $a \cup a = 1$, so spricht man von einem Booleschen Verband (oder einer Booleschen Algebra).

Wichtiges Beispiel eines Booleschen Verbandes: Gegeben sei eine Menge M . Wir betrachten die Potenzmenge $\mathcal{P}(M)$ von M , d. h. die Menge aller Untermengen von M . Wir nehmen als \cup die mengentheoretische Vereinigung, als \cap den mengentheoretischen Durchschnitt. Dann sind alle Axiome erfüllt, wir erhalten also einen Booleschen Verband.

IV. Operatormoduln: Hier handelt es sich um algebraische Strukturen mit einer zweistelligen Operation und einer zweistelligen „äußeren Operation“. Wir müssen daher zunächst definieren, was man unter einer zweistelligen äußeren Operation versteht:

Unter einer zweistelligen äußeren Rechenoperation der „Operatormenge R' mit der Menge E versteht man eine Abbildung von $R \times E$ in E , also eine Abbildung, die jedem Paar (r, e) mit $r \in R$ und $e \in E$ ein Element $re \in E$ zuordnet.

Beispiel: Multiplikation eines Skalars mit einem Vektor. Unter einem R -Modul versteht man nun eine algebraische Struktur E mit einer inneren Operation $+$ und einer äußeren Operation des Ringes R mit E , für die folgende Gesetze gelten:

- (1) $(a + b) + c = a + (b + c)$,
 (2) $a + x = b$ $y + a = b$ sind eindeutig lösbar für jedes Paar (a, b) ,
 (3) $a + b = b + a$,
 (4) $(\alpha \beta)a = \alpha(\beta a)$,
 (5) $(\alpha + \beta)a = \alpha a + \beta a$,
 (6) $\alpha(a + b) = \alpha a + \alpha b$.

Hat R ein Einselement ϵ und gilt auch noch

- (7) $\epsilon a = a$, $\forall a \in E$, dann spricht man von einem unitären R -Modul.

Einen unitären R -Modul, für den R ein Schiefkörper ist, nennt man einen Vektorraum.

Wir haben damit die wichtigsten von den in der modernen Mathematik betrachteten Klassen algebraischer Strukturen kennengelernt; außer diesen gibt es noch weitere von geringerer Bedeutung. Jede dieser Klassen umfaßt natürlich eine große Zahl von Strukturen, und mit dem Studium dieser Klasse beschäftigt sich dann ein entsprechendes Teilgebiet der Algebra, nämlich die Theorie der betreffenden Strukturen. Innerhalb der Algebra gibt es also als Teilgebiet eine Gruppentheorie, eine Verbands-theorie, eine Theorie der Lie-Ringe usw., und die meisten dieser Theorien sind schon sehr umfangreich und weit entwickelt.

Womit beschäftigt sich nun so eine Theorie? Eines der Hauptprobleme jeder Theorie ist das Klassifizierungsproblem, also das Problem, einen Überblick über alle Algebren des betreffenden Typs, also über alle Gruppen, alle Verbände, alle Lie-Ringe usw. zu bekommen (ähnlich wie z. B. in den Spezialgebieten der systematischen Zoologie, wie Ornithologie, Entomologie usw.). Um diese Aufgabe lösen zu können, muß man zunächst — genau so, wie man gleichartige Tiere in Arten zusammenfaßt und sich dann mit der Aufzählung aller Arten begnügt — gleichartige Algebren zusammenfassen; dazu muß man zuerst einmal definieren, was „gleichartig“ überhaupt bedeuten soll. Dazu führt man den Begriff der Isomorphie ein: zwei Algebren einer Theorie heißen isomorph, wenn man die Mengen ihrer Elemente aufeinander umkehrbar eindeutig so abbilden kann, daß diese Zuordnung beim Rechnen nicht gestört wird, das heißt also: Wenn ich auf Elemente eine Operation ausübe und dieselbe Operation auf die Bildelemente ausübe, entsprechen die Elemente, welche herauskommen, wieder einander. Also z. B. beim Gruppoid bedeutet das folgendes: Wenn $a \leftrightarrow a$ und $b \leftrightarrow b$, dann gilt auch $ab \leftrightarrow ab$. Isomorphe Algebren unterscheiden

sich dann nur durch die Bezeichnung ihrer Elemente, das Klassifikationsproblem ist also gelöst, wenn man von jeder Klasse isomorpher Algebren eine Algebra kennt (genau so, wie das Problem der Aufzählung aller Schmetterlinge gelöst ist, wenn man eine Sammlung hat, in der von jeder Art ein Exemplar enthalten ist).

Das Klassifikationsproblem ist erst für wenige Klassen von algebraischen Strukturen gelöst, z. B. für die endlichen abelschen Gruppen, die endlichen Körper, die endlichen Booleschen Verbände. Schon bei den endlichen Gruppen aber ist man z. B. noch weit von der Lösung entfernt, man kann aber für kleine Ordnungen (d. h. Elementzahlen) jeweils alle nichtisomorphen Gruppen der betreffenden Ordnung angeben. Für die Ordnungen bis 20 gilt z. B. folgende Tabelle:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	1	2	1	2	1	5	2	2	1	5	1	2	1	14	1	5	1	5

Ein weiteres wichtiges Problem ist die Konstruktion von neuen Algebren der betreffenden Klasse aus vorgegebenen.

Dazu hat man vor allem drei Möglichkeiten:

1. Bildung von Unteralgebren: Eine Teilmenge \mathfrak{M} einer Algebra heißt Unteralgebra, wenn die Operationen der Algebra, ausgeübt auf Elemente von \mathfrak{M} , stets wieder Elemente von \mathfrak{M} ergeben. Diese Unteralgebra braucht aber nicht der betrachteten Klasse von Algebren anzugehören (ist z. B. die Algebra der Körper der rationalen Zahlen und \mathfrak{M} die Menge der ganzen Zahlen, so ist \mathfrak{M} Unteralgebra, aber kein Körper).

2. Bildung von homomorphen Bildern: Gegeben seien zwei Algebren \mathfrak{M}_1 und \mathfrak{M}_2 . Eine eindeutige Abbildung ϑ von \mathfrak{M}_1 in \mathfrak{M}_2 heißt Homomorphismus, wenn stets gilt $\omega(a_1, a_2, \dots, a_n) = \omega(\vartheta a_1, \vartheta a_2, \dots, \vartheta a_n)$, wenn sich also daselbe ergibt, wenn ich zuerst auf Elemente eine Operation ausübe und dann das Bild des erhaltenen Elementes bei ϑ suche oder zuerst die Bilder bei ϑ suche und dann die Operation ω ausübe. \mathfrak{M}_2 heißt homomorphes Bild von \mathfrak{M}_1 , wenn es einen Homomorphismus von \mathfrak{M}_1 auf \mathfrak{M}_2 gibt. Auch das homomorphe Bild muß nicht immer der betrachteten Klasse von Algebren angehören. Ist etwa \mathfrak{M}_1 der Integritätsbereich der ganzen Zahlen und \mathfrak{M}_2 der Restklassenring modulo 6, dann ist \mathfrak{M}_2 homomorphes Bild von \mathfrak{M}_1 , aber kein Integritätsbereich.

3. Bildung von direkten Produkten: Gegeben seien zwei Algebren \mathfrak{M}_1 und \mathfrak{M}_2 . Wir bilden die Menge aller Paare (α_1, α_2) mit $\alpha_1 \in \mathfrak{M}_1$, $\alpha_2 \in \mathfrak{M}_2$ und definieren die Operationen dadurch, daß wir festsetzen, sie sollen komponentenweise ausgeführt werden (beim Grupoid hätten wir also etwa: $(\alpha_1, \alpha_2)(\beta_1, \beta_2) = (\alpha_1\beta_1, \alpha_2\beta_2)$). Die erhaltene Algebra heißt das direkte Produkt $\mathfrak{M}_1 \times \mathfrak{M}_2$, auch sie braucht nicht der betrachteten Klasse von Algebren anzugehören.

Wir haben nun eine Reihe von speziellen Klassen von Algebren kennengelernt; jede dieser Klassen kann für sich studiert werden. Es gibt aber Begriffe, die in allen diesen Klassen gemeinsam auftreten (wie z. B. die Begriffe Unteralgebra, homomorphes Bild, direktes Produkt) und Sätze, die in allen Klassen dieselbe oder eine ähnliche Gestalt haben. Man kann daher eine methodische Theorie aufbauen, die sich mit dem beschäftigt, was allen Algebren der verschiedenen Klassen gemeinsam ist, und das ist tatsächlich schon geschehen. Diese Theorie ist die sogenannte universale Algebra. Diese beschäftigt sich also mit dem Studium beliebiger Algebren, also beliebiger Mengen mit Rechenoperationen, sie steht also mit der Gruppentheorie oder Ringtheorie im selben logischen Verhältnis wie etwa die allgemeine Zoologie mit der Entomologie oder Ornithologie.

Eine typische Frage der universalen Algebra ist etwa die folgende: Wie kann man innerhalb der Klasse aller Algebren mit gegebenen Rechenoperationen, z. B. in der Klasse aller Gruppoide, spezielle Klassen von Algebren, z. B. die Klasse der Halbgruppen, definieren, und wie hängen die Eigenschaften dieser Klassen von der Art ihrer Definition ab.

Die wichtigste und am häufigsten auftretende Möglichkeit ist hier die Definition durch identische Gleichungen. Man definiert die Klasse also so: Zu der Klasse gehören genau jene Algebren, in denen die gegebenen Gleichungen für beliebige Elemente gelten. So haben wir z. B. definiert die Klasse der Halbgruppen innerhalb der Klasse

der Gruppoide, oder die Klasse der Verbände innerhalb der Klasse der Algebren mit zwei zweistelligen Operationen. Aber auch die Klasse der Gruppen haben wir so definiert, allerdings nicht innerhalb der Klasse der Gruppoide, sondern innerhalb der Klasse der Algebren mit je einer zwei-, ein- und nullstelligen Operation, und ein ähnlicher Sachverhalt gilt für die Klasse der Ringe. Anders ist es aber bei der Klasse der Integritätsbereiche und in der Klasse der Körper, hier sieht man wegen der Ausnahmestellung der 0 nicht so leicht, wie man diese Klassen durch Gleichungen definieren könnte. Eine durch Gleichungen definierte Klasse von Algebren nennt man eine Varietät. Es fragt sich natürlich nun: Wie erkennt man, ob eine nicht durch Gleichungen definierte Klasse von Algebren eine Varietät ist, also sich doch durch Gleichungen definieren läßt (also z. B., wie erkennt man, ob die Klasse der Integritätsbereiche oder die Klasse der Körper eine Varietät ist). Da gilt nun folgender wichtiger Satz: Eine Klasse von Algebren mit gegebenen Operationen ist dann und nur dann eine Varietät, wenn sie mit jeder Algebra auch alle ihre Unteralgebren und alle ihre homomorphen Bilder und mit je zwei ihrer Algebren auch ihr direktes Produkt enthält. Es sind also z. B. die Klasse der Integritätsbereiche und die Klasse der Körper keine Varietäten, lassen sich also auf keinen Fall durch Gleichungen definieren.

In den Anwendungen treten öfter algebraische Strukturen auf, die neben ihrer Eigenschaft, algebraische Strukturen zu sein, auch gleichzeitig noch andere Strukturen sind, nämlich entweder geordnete Mengen oder topologische Räume, wobei die Rechenoperationen mit der Ordnungsrelation bzw. der Topologie der betreffenden Menge in gewissem Zusammenhang stehen. Diese Strukturen werden daher dann auch genauer untersucht, und es ergeben sich neue Theorien, nämlich die Theorie der geordneten algebraischen Strukturen und die Theorie der topologischen algebraischen Strukturen, bzw., wenn man sich auf spezielle Klassen von Algebren beschränkt, entsprechende speziellere Theorien, wie etwa die Theorie der geordneten Gruppen oder die Theorie der topologischen Gruppen. Darauf kann ich aber aus Zeitmangel nicht näher eingehen.

Wie ich bereits erwähnt habe, beschäftigt sich die universale Algebra ganz allgemein mit der Theorie der Algebren. Analog beschäftigt sich die allgemeine Topologie ganz allgemein mit der Theorie der topologischen Räume. Es zeigt sich nun, wenn man diese beiden mathematischen Teilgebiete vergleicht, daß in ihnen sowie in ihren speziellen Untertheorien, wie Gruppentheorie oder Theorie spezieller Räume — und auch noch in weiteren methodischen Teilgebieten, wie z. B. der Mengenlehre — teilweise recht ähnliche Sachverhalte vorliegen. Insbesondere beschäftigt man sich in allen diesen Gebieten mit den Objekten des Gebietes — also den Algebren bzw. den topologischen Räumen bzw. den Gruppen bzw. den Mengen — aber auch mit den Abbildungen, die zwischen diesen Objekten bestehen und die jeweilige Struktur erhalten —, das sind also die Homomorphismen bei den Algebren, die sogenannten „stetigen Abbildungen“ bei den topologischen Räumen, oder die Abbildungen schlechthin bei den Mengen. Man kann deshalb das, was allen diesen Theorien gemeinsam ist, abstrahieren und dadurch eine neue, noch abstraktere Theorie gewinnen. Jener Begriff nun, der die Gemeinsamkeiten aller erwähnten Theorien erfaßt, ist der Begriff der „Kategorie“, und die gemeinsame Obertheorie also die Theorie der Kategorien. Es handelt sich dabei natürlich um ein sehr abstraktes Gebiet, und diese Theorie wurde von ihren Begründern Eilenberg und McLane selbst als „general abstract nonsense“ bezeichnet. Diejenige Theorie, welche sich mit der Anwendung kategorientheoretischer Methoden auf die Algebra beschäftigt, nennt man „homologische Algebra“, das ist ebenfalls ein ganz modernes und sehr wichtiges Teilgebiet der Algebra.

Ich möchte noch die Definition des Begriffes Kategorie geben (da dieser Begriff sicher früher oder später einmal auch in den Mittelschullehrplan aufgenommen wird):

1. Es sei \mathfrak{C} eine Klasse von Objekten A, B, C...

2. Weiter sei gegeben zu jedem geordneten Paar (A, B) von Objekten eine Menge $\text{Mor}(A, B)$, und zwar so, daß die Mengen $\text{Mor}(A, B)$ für je zwei verschiedene Paare (A, B) kein Element gemeinsam haben. Die Elemente der Mengen $\text{Mor}(A, B)$ heißen „Morphismen“.

3. Zu jedem Paar $f \in \text{Mor}(A, B)$, $g \in \text{Mor}(B, C)$ sei ein Produkt $gf \in \text{Mor}(A, C)$ definiert, und für diese Produktbildung sollen folgende Gesetze gelten:

$$h(gf) = (hg)f, \text{ wenn beide Seiten definiert sind.}$$

In jeder Menge $\text{Mor}(A, A)$ existiert eine Abbildung 1_A , sodaß gilt $f1_A = f$ und $1_Ag = g$ für alle f bzw. g , für die die linken Seiten definiert sind.

Beispiele von Kategorien sind:

a) \mathcal{C} die Klasse der Mengen, also die Objekte sind die Mengen.

$\text{Mor}(A, B)$: die Menge der eindeutigen Abbildungen der Menge A in die Menge B .

Produkt gf : Zusammensetzung der Abbildungen g und f , also: erst f , dann g .

Man stellt fest, daß die Gesetze erfüllt sind.

b) \mathcal{C} die Klasse der Gruppen

$\text{Mor}(A, B)$: die Menge der Homomorphismen der Gruppe A in die Gruppe B ,

Produkt gf : Zusammensetzung der Homomorphismen g und f .

Man stellt leicht fest, daß die Gesetze erfüllt sind.

c) \mathcal{C} die Klasse der topologischen Räume

$\text{Mor}(A, B)$: die Menge der stetigen Abbildungen des topologischen Raumes A in den topologischen Raum B .

Produkt gf : Zusammensetzung der Abbildungen g und f .

Auch hier sind die Gesetze erfüllt.

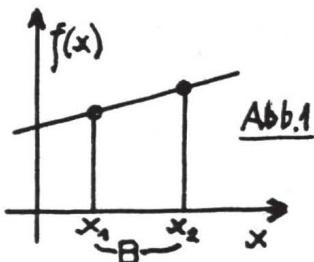
Dr. H. Brunner, Handelsakademie Mödling

Lineare Optimierung: Anwendung in der Produktionsplanung und Spieltheorie

Bevor die Grundaufgabe der linearen Optimierung allgemein formuliert wird, seien einige Bemerkungen über das Maximum (Minimum) linearer Funktionen vorausgeschickt:

Wir beginnen mit $f(x) = ax + b$, wobei a, b gegebene reelle Konstante sind, $x \in B$ gilt und B eine abgeschlossene Teilmenge von \mathbb{R} , nämlich das Intervall $x_1 \leq x \leq x_2$ ist.

Aus dem Schaubild (Abb. 1) erkennt man ohne weiteres, daß $f(x)$ das Maximum (Minimum) nur am **Rand** von B annehmen kann, falls $a \neq 0$.



Auf den soeben behandelten Fall läßt sich aber auch der allgemeine Fall $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + c$ mit $x_i \in B$ und B abgeschlossene Teilmenge des \mathbb{R}^n , zurückführen:

Es läßt sich leicht zeigen, daß $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ein Maximum (Minimum) nur am Rand von B annehmen kann, falls f keine konstante Funktion ist. Es sei $P(c_1, c_2, \dots, c_n)$ ein innerer Punkt aus B . Läßt man nun x_1 innerhalb der Ränder von B variieren, dann wird $f(x_1, c_2, \dots, c_n)$ eine lineare Funktion von x_1 allein und dafür wurde die behauptete Extremwerteigenschaft schon nachgewiesen.

Wir formulieren nun die Grundaufgabe der linearen Optimierung: Gegeben sei eine lineare Funktion

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + c$$

und ein System von Nebenbedingungen in Form linearer Ungleichungen:

$$\left. \begin{array}{l} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{array} \right\} B$$

sowie $x_i \geq 0$ für $i = 1, 2, \dots, n$.

Gesucht sind jene Punkte (jener Punkt) $P(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$, dessen Koordinaten alle Ungleichungen befriedigen und für den $f(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ ein Maximum wird.

Zunächst soll gezeigt werden, daß die Punktmenge, die das System der Nebenbedingungen erfüllt, einen **konvexen Körper** darstellt. Sind also \vec{x}' und \vec{x}'' die Ortsvektoren zweier Punkte aus B , dann gehören auch alle Punkte der geradlinigen Verbindung **zwischen** ihnen zu B . In Vektorformulierung lautet die Gleichung dieser Verbindungsgeraden: $\vec{x} = \vec{x}' + k \cdot (\vec{x}'' - \vec{x}')$, wobei die Menge der „Zwischenpunkte“ auf die Teilmenge $\{k/0 \leq k \leq 1\}$ der reellen Zahlengeraden abgebildet wird.

Faßt man die Zahlen n -tupel $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_m$ und $\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_n$ als Zeilenvektoren \vec{a}_i und \vec{x} auf, so können die Nebenbedingungen als skalare Produkte geschrieben werden:

$$\vec{a}_i \cdot \vec{x} \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

Sind \vec{x}' und \vec{x}'' zwei Ortsvektoren für den Bereich B , dann muß gezeigt werden, daß auch alle $\vec{x} = \vec{x}' + k(\vec{x}'' - \vec{x}')$ mit $0 \leq k \leq 1$ die Ungleichungen $\vec{a}_i \cdot [\vec{x}' + k(\vec{x}'' - \vec{x}')] \leq b_i$ erfüllen.

Nach Voraussetzung gilt: $\vec{a}_i \cdot \vec{x}' \leq b_i$ und $\vec{a}_i \cdot \vec{x}'' \leq b_i$. Die erste Serie von Ungleichungen multipliziert man mit $(1 - k)$ und die zweite Serie mit k :

$$\begin{aligned} (1 - k)\vec{a}_i \cdot \vec{x}' &\leq (1 - k)b_i \\ k \cdot \vec{a}_i \cdot \vec{x}'' &\leq k \cdot b_i \end{aligned}$$

Addiert man beide, so erhält man

$$(1 - k)\vec{a}_i \cdot \vec{x}' + k \cdot \vec{a}_i \cdot \vec{x}'' \leq b_i, \text{ also } \vec{a}_i \cdot [\vec{x}' + k(\vec{x}'' - \vec{x}')] \leq b_i, \text{ w. z. b. w.}$$

Es soll nun eine Anwendung aus der Betriebswirtschaft besprochen werden, an der auch eine geometrische Lösungsmethode vorgeführt wird.

Beispiel: Ein Betrieb erzeuge unter Verwendung der vier Maschinen M_1, \dots, M_4 die beiden Objektsorten A_1, A_2 . Die folgende Tabelle gibt die Bearbeitungszeiten je Mengeneinheit von A_1, A_2 an. Am rechten Rand stehen die Kapazitäten der vier Maschinen in einer bestimmten Produktionsperiode, ausgedrückt in Zeiteinheiten.

	A_1	A_2	K
M_1	3	2	3000
M_2	5	6	6000
M_3	1	2	1600
M_4	1	—	900

Die Verkaufspreise je Mengeneinheit von A_1 und A_2 seien $p_1 = 30$, $p_2 = 31$, die Erzeugungskosten je Mengeneinheit seien $k_1 = 15$ und $k_2 = 18$. Bezeichnet man mit x und y die Anzahl der Mengeneinheiten von A_1 bzw. A_2 , die in der zugrunde gelegten Periode erzeugt und verkauft werden, so wird der Gesamtgewinn gleich:

$$G = (p_1 - k_1)x + (p_2 - k_2)y - F$$

wenn F die fixen Kosten der Periode bedeutet (Kosten die von der erzeugten Menge unabhängig sind). Gesucht sind nun jene Mengen x, y für die der Gewinn ein Maximum wird. Dazu genügt es natürlich, wenn der Ausdruck

$$S = (p_1 - k_1)x + (p_2 - k_2)y = 15x + 13y$$

ein Maximum wird. Auf Grund der oben angegebenen Tabelle der Bearbeitungszeiten gelten aber noch folgende Nebenbedingungen:

$$3x + 2y \leq 3000$$

$$5x + 6y \leq 6000$$

$$x + 2y \leq 1600$$

$$x \leq 900$$

Bei Gültigkeit des Gleichheitszeichens sind dies die Gleichungen von vier Geraden, die in Abb. 2 dargestellt sind. Alle Punkte (x, y) im schraffierten Gebiet bedeuten Mengenkombinationen von A_1, A_2 , die in der betrachteten Periode erzeugt werden können, ohne daß es an einer der Maschinen zu einer Kapazitätsüberschreitung kommt. Die lineare Funktion S kann ihr Maximum nur am Rand dieses Bereichs annehmen und hier wieder nur in einem der Eckpunkte. Die Eckpunkte besitzen folgende Koordinaten:

A : $x = 900, y = 0$; B : $x = 900, y = 150$; C : $x = 750, y = 375$; D : $x = 600, y = 500$; E : $x = 0, y = 800$.

Die Werte von $S = 15x + 13y$ in den Eckpunkten lauten: $S(A) = 13500$, $S(B) = 15450$, $S(C) = 16125$, $S(D) = 15500$, $S(E) = 10400$.

Das Maximum beträgt 16125 und wird in C ($x = 750, y = 375$) angenommen.

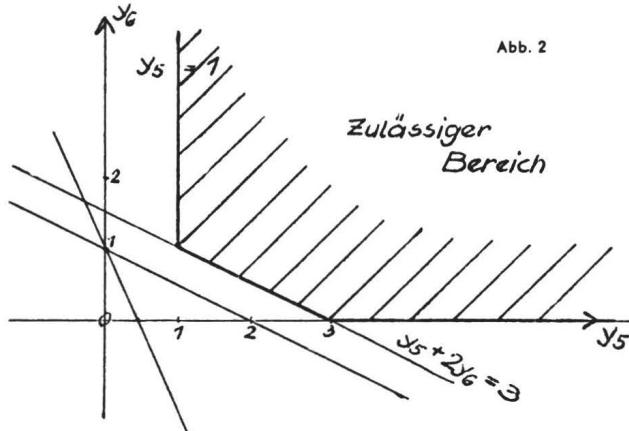


Abb. 2

Die Simplex-Methode

Es soll nun an Hand eines Beispiels eine Methode erläutert werden, die stets zur Lösung von Problemen der Linearplanung herangezogen werden kann.

Die Funktion B , $B = x_1 + 2x_2 + x_3 + 3x_4$ soll zu einem Maximum gemacht werden, wobei die Nebenbedingungen:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + 2x_3 + x_4 &\leq 10 \\ 2x_2 + x_3 + 2x_4 &\leq 15 \quad \text{alle } x_i \geq 0 \end{aligned}$$

zu erfüllen sind.

Man verwandelt zuerst die beiden Ungleichungen durch Addition je einer Hilfsvariablen u bzw. v in Gleichungen:

$$\begin{aligned} u + x_1 + x_2 + 2x_3 + x_4 &= 10 \\ v + 2x_2 + x_3 + 2x_4 &= 15 \end{aligned} \quad (1) \quad (2)$$

B stellt man in Form einer Gleichung dar:

$$B - x_1 - 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \quad (3)$$

Eine 1. Lösung (i. a. noch nicht die optimale) findet man durch Nullsetzen von x_1, x_2, x_3, x_4 . Daraus folgt: $u = 10, v = 15$.

Wir stellen nun folgende Tabelle auf:

Tabelle 1

	x_1	x_2	x_3	x_4	
u	10	1	1	2	1
v	15	0	2	1	2
B	0	-1	-2	-1	-3

Hier stehen in den Spalten unter x_1, x_2, x_3, x_4 die Koeffizienten dieser Variablen in den Gleichungen (1), (2) und (3). Neben u, v steht die vorläufige Lösung $u = 10, v = 15$; neben B steht der Wert von B für diese Lösung (wegen $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = 0$ wird $B = 0$).

Als nächstes führt man einen Austausch der Hilfsvariablen u oder v gegen eine der Grundvariablen x_1, x_2, x_3, x_4 unter Beachtung folgender Regeln durch:

1. Soll etwa x_4 ausgetauscht werden, so bildet man die Quotienten $\frac{u}{x_4}$ und $\frac{v}{x_4}$ laut Tabelle 1: $\frac{10}{1} = 10$ und

$\frac{15}{2} = 7,5$. Man tauscht nun x_4 gegen jene Hilfsvariable aus, die den kleineren Quotienten liefert. In unserem Fall ist dies die Variable v .

2. Im Schnittpunkt der auszutauschenden Variablen-Spalte und Zeile steht die Zahl 2. Sie wird als Kreuzungselement bezeichnet. Dieses Element wird durch seinen Reziprokwert $\left(\frac{1}{2}\right)$ ersetzt.

3. Alle übrigen Zahlen der v -Zeile werden durch das Kreuzungselement dividiert:

v	$\left \frac{15}{2}\right $	0	1	$\left \frac{1}{2}\right $	$\left \frac{1}{2}\right $
-----	-----------------------------	---	---	----------------------------	----------------------------

4. Alle übrigen Zahlen der x_4 -Spalte werden durch das Kreuzungselement dividiert und mit entgegengesetztem Vorzeichen versehen:

x_4	
$\left \frac{1}{2}\right $	
$\left \frac{1}{2}\right $	
$\left \frac{1}{2}\right $	
$\left \frac{3}{2}\right $	

5. Alle übrigen Elemente der Tabelle werden um einen Wert vermindert, den man folgendermaßen erhält:

Ausgehend von dem betreffenden Element denkt man sich 2 Pfeile gezogen, die in Richtung der Spalte und in Richtung der Zeile verlaufen und deren Spitzen auf ein Element der Auswahlzeile bzw. der Auswahlspalte zeigen. Letztere Elemente werden multipliziert und durch das Kreuzungselement dividiert. In nebenstehender Abbildung ist dies für das Element 10 (neben u) dargestellt:

		x_4
u	$10 \longrightarrow$	1
v	\downarrow	2
B	0	-3

↑
Auswahlspalte

(Das Kreuzungselement ist die Zahl 2 am Schnittpunkt der Auswahlzeile und der Auswahlspalte.)

Die Pfeilspitzen zeigen auf die Elemente 15 und 1. Deren Produkt ist 15. Dividiert durch das Kreuzungselement 2, ergibt $\frac{15}{2}$. Um diesen Betrag ist das Element 10 zu vermindern: $10 - \frac{15}{2} = \frac{5}{2}$.

Auf diese Weise entsteht aus der Tabelle 1 die folgende Tabelle 2, bei der v gegen x_4 vertauscht ist:

Tabelle 2

	x_1	x_2	x_3	v
u	$\frac{5}{2}$	1	0	$-\frac{1}{2}$
x_4	$\frac{15}{2}$	0	1	$\frac{1}{2}$
B	$\frac{45}{2}$	-1	1	$\frac{3}{2}$

B besitzt bei dieser Lösung den Wert $\frac{45}{2}$. In der B-Zeile kommt noch eine negative Zahl, nämlich -1 , vor. Die zugehörige Spalte ist die x_1 -Spalte. Man tauscht nun x_1 gegen die am linken Rand der Tabelle 2 verbliebene Hilfsvariable u aus, wobei man die unter 1. bis 5. angeführten Regeln anwendet:

Das Kreuzungselement ist hier die Zahl 1.

Nach Durchführung der durch 1. bis 5. bestimmten Transformation erhält man die folgende Tabelle 3:

Tabelle 3

	ü	x_2	x_3	v
x_1	$\frac{5}{2}$	1	0	$\frac{3}{2} - \frac{1}{2}$
x_4	$\frac{15}{2}$	0	1	$\frac{1}{2} - \frac{1}{2}$
B	25	1	1	2
				1

Der Wert von B ist gleich 25. Da in der B-Zeile keine negativen Elemente mehr vorkommen, hat man bereits die optimale Lösung gefunden. Die am oberen Rand stehenden Variablen u , x_2 , x_3 und v besitzen jetzt alle den Wert 0.

Die Lösung lautet somit:

$$x_1 = \frac{5}{2}, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = \frac{15}{2}, u = 0, v = 0, B_{\max.} = 25.$$

Nun sollen die Regeln der Tafeltransformation, durch welche die Simplex-Methode charakterisiert ist, an einem zwar vereinfachten, aber trotzdem allgemeinen Schema abgeleitet werden.

Das Problem lautet: Die Variablen x_1 , x_2 sollen die Nebenbedingungen

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 &\leq b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 &\leq b_3 \end{aligned}$$

erfüllen und die lineare Funktion B, $B = e_1x_1 + e_2x_2$, soll ein Maximum werden.

Durch Einführen der Hilfsvariablen x_3, x_4, x_5 verwandeln wir die Ungleichungen in Gleichungen:

$$\begin{aligned} x_3 + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 &= b_1 \\ x_4 + a_{21}x_1 + a_{22}x_2 &= b_2 \\ x_5 + a_{31}x_1 + a_{32}x_2 &= b_3 \end{aligned} \quad (1)$$

Statt $B = e_1x_1 + e_2x_2$ schreiben wir

$$B - e_1x_1 - e_2x_2 = 0.$$

Aus den Gleichungen (1) erhält man die Tafel 1

	x_1	x_2
x_3	b_1	a_{11}
x_4	b_2	a_{21}
x_5	b_3	a_{31}
B	0	$-e_1 - e_2$
		↑ Auswahlspalte

Als erste Lösung wurde dabei angenommen:

$x_1 = 0, x_2 = 0$. Dadurch erhält man:

$x_3 = b_1, x_4 = b_2, x_5 = b_3$. B hat dabei den Wert 0.

Will man B vergrößern, so muß man x_1 oder x_2 vergrößern. Wir wollen zunächst x_1 so groß wie möglich machen. Da x_2 noch den Wert 0 hat, darf man x_1 nur so groß machen, daß kein anderer x-Wert, also weder x_3 noch x_4 negativ wird. Setzt man in (1) überall für $x_2 = 0$, so erhält man

$$\begin{aligned} x_3 + a_{11}x_1 &= b_1 \\ x_4 + a_{21}x_1 &= b_2 \\ x_5 + a_{31}x_1 &= b_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Will man x_1 so groß machen, daß $x_3 = 0$ wird, so erhält man $x_1 = \frac{b_1}{a_{11}}$. Aus $x_4 = 0$ folgt $x_1 = \frac{b_2}{a_{21}}$ und aus $x_5 = 0$ folgt $x_1 = \frac{b_3}{a_{31}}$. x_1 kann aber nur dem kleinsten dieser drei Werte gleichgesetzt werden, da sonst ein x-Wert negativ würde. Wenn z. B. (2) gegeben wäre durch:

$$\begin{aligned} x_3 + 2x_1 &= 4 \\ x_4 + 3x_1 &= 12 \\ x_5 + 2x_1 &= 6 \end{aligned}$$

so erhielte man für x_1 die Werte $\frac{4}{2} = 2, \frac{12}{3} = 4, \frac{6}{2} = 3$. Mit $x_1 = 2$ würde $x_3 = 0, x_4 = 6, x_5 = 2$.

Hätte man aber $x_1 = 4$ gesetzt, so erhielte man:

$$x_3 = -4, x_4 = 0, x_5 = -1.$$

Angenommen, im System (2) wäre $x_1 = \frac{b_2}{a_{21}}$ dieser kleinste Quotient: Dann erhalten wir

$$\begin{aligned} x_3 &= b_1 - a_{11} \cdot \frac{b_2}{a_{21}} \\ x_4 &= 0 \\ x_5 &= b_3 - a_{31} \cdot \frac{b_2}{a_{21}}. \end{aligned}$$

Als neue Spaltenvariable erhalten wir also jetzt an Stelle von $x_1 = 0, x_2 = 0$ die Variablen $x_4 = 0, x_5 = 0$. Wir müssen nun im System (1) die Variable x_1 eliminieren. Dividiert man die 2. Gleichung von (1) durch a_{21} , so erhält man:

$$x_1 + \frac{x_4}{a_{21}} + \frac{a_{22}}{a_{21}} \cdot x_2 = \frac{b_2}{a_{21}}$$

und daraus:

$$x_1 = \frac{b_2}{a_{21}} - \frac{x_4}{a_{21}} - \frac{a_{22}x_2}{a_{21}}.$$

Setzt man dies in die übrigen Gleichungen von (1) ein, so erhält man das folgende System:

$$\begin{aligned} x_3 - \frac{a_{11}}{a_{21}} \cdot x_4 + \left(a_{12} - \frac{a_{11} \cdot a_{22}}{a_{21}} \right) \cdot x_2 &= b_1 - \frac{a_{11} \cdot b_2}{a_{21}} \\ x_1 + \frac{1}{a_{21}} \cdot x_4 + \frac{a_{22}}{a_{21}} \cdot x_2 &= \frac{b_2}{a_{21}} \\ x_5 - \frac{a_{31}}{a_{21}} \cdot x_4 + \left(a_{32} - \frac{a_{31} \cdot a_{22}}{a_{21}} \right) \cdot x_2 &= b_3 - \frac{a_{31} \cdot b_2}{a_{21}} \\ B + \frac{e_1}{a_{21}} \cdot x_4 - \left(e_2 - \frac{e_1 \cdot a_{22}}{a_{21}} \right) \cdot x_2 &= \frac{e_1 \cdot b_2}{a_{21}} \end{aligned}$$

Wegen $x_4 = 0, x_2 = 0$, gilt $B = \frac{e_1 \cdot b_2}{a_{21}}$.

Setzt man die Werte aus (3) wieder in eine Tafel ein, so erhält man die folgende Tafel 2:

	x_4	x_2
x_3	$\left(b_1 - \frac{a_{11}b_2}{a_{21}} \right)$	$-\frac{a_{11}}{a_{21}}$
x_1	$\frac{b_2}{a_{21}}$	$\frac{a_{22}}{a_{21}}$
x_5	$\left(b_3 - \frac{a_{31}b_2}{a_{21}} \right)$	$-\frac{a_{31}}{a_{21}}$
B	$\frac{e_1 b_2}{a_{21}}$	$-\frac{e_2}{a_{21}} + \frac{e_1 a_{22}}{a_{21}}$

Da x_1 gegen x_4 ausgetauscht wurde, ist a_{21} in Tafel 1 das Kreuzungselement. Wie man durch Vergleich von Tafel 2 mit Tafel 1 erkennt, sind tatsächlich alle Regeln der Simplex-Methode erfüllt worden. Falls der Ausdruck $-e_2 + \frac{e_1 a_{22}}{a_{21}}$ in der B-Zeile noch negativ ist, führt eine Vergrößerung von x_2 auch zu einer weiteren Vergrößerung von B und das Verfahren der Tafeltransformation wird in derselben Weise auf den Austausch der Variablen x_2 angewendet. Wenn dagegen in der B-Zeile nur mehr positive Zahlen vorkommen, kann keine Spaltenvariable mehr vergrößert werden, da ja dann der Wert von B wieder abnehmen würde!

Das duale Problem der Linearplanung

Wenn folgendes Problem gegeben ist:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq c_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq c_2$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq c_m$$

$B = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$, B Maximum, dann versteht man unter dem dualen Problem die Lösung der Aufgabe:

$$\begin{aligned}
 a_{11}y_{n+1} + a_{12}y_{n+2} + \dots + a_{1m}y_{n+m} &\geq b_1 \\
 a_{21}y_{n+1} + a_{22}y_{n+2} + \dots + a_{2m}y_{n+m} &\geq b_2 \\
 &\vdots \\
 a_{1n}y_{n+1} + a_{2n}y_{n+2} + \dots + a_{mn}y_{n+m} &\geq b_n
 \end{aligned}$$

$$C = c_1y_{n+1} + c_2y_{n+2} + \dots + c_my_{n+m}, \quad C \text{ Minimum!}$$

Das Fundamentaltheorem der Linearplanung besagt, daß das Minimum von C gleich ist dem Maximum von B . Es ist also gleichgültig, ob man die Lösung im primären oder im dualen System sucht. Wir wollen jetzt für das vorhin mit der Simplex-Methode gelöste Beispiel die duale Aufgabe formulieren:

Das primäre Problem lautete:

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_2 + 2x_3 + x_4 &\leq 10 \\
 2x_2 + x_3 + 2x_4 &\leq 15
 \end{aligned}$$

$$B = x_1 + 2x_3 + x_3 + 3x_4, \quad B \text{ Maximum!}$$

Daher lautet das duale Problem:

$$\begin{aligned}
 y_5 &\geq 1 \\
 y_5 + 2y_6 &\leq 2 \\
 2y_5 + y_6 &\leq 1 \\
 y_5 + 2y_6 &\leq 3
 \end{aligned}$$

$$C = 10y_5 + 15y_6, \quad C \text{ Minimum!}$$

Dieses Problem gestattet nun eine einfache geometrische Lösung. Bei Gültigkeit des Gleichheitszeichens erhalten wir vier Gerade in der y_5, y_6 -Ebene, die in Abbildung 3 eingezeichnet sind. Die Gleichungen dieser Geraden lauten:

$$\begin{aligned}
 y_5 &= 1 \\
 y_5 + 2y_6 &= 2 \\
 2y_5 + y_6 &= 1 \\
 y_5 + 2y_6 &= 3
 \end{aligned}$$

Jede dieser Geraden teilt die y_5, y_6 -Ebene in zwei Teile. Bei Gültigkeit der Ungleichungen $y_5 > 1$, $y_5 + 2y_6 > 2$ usw. wird jeweils jene Hälfte als unzulässig ausgeschieden, in der sich der Ursprung $y_5 = 0, y_6 = 0$ befindet.

$$C = 10y_5 + 15y_6 \text{ besitzt im Punkt (1,1) ein Minimum.}$$

Der Eckpunkt des zulässigen Bereiches von y_5, y_6 -Werten mit den Koordinaten $y_5 = 1, y_6 = 1$ ergibt die gesuchte Lösung.

$C = 10y_5 + 15y_6$ besitzt demnach das Minimum 25. Tatsächlich ist dies gleich dem Maximum der Funktion B :

$$B = x_1 + 2x_2 + x_3 + 3x_4.$$

(Fortsetzung in der nächsten Nummer)

PHYSIK, ASTRONOMIE

Dr. Walter Kranzer

Vektoren im Physikunterricht

Der Anstoß zur Einbeziehung der Vektorrechnung in den Lehrstoff der höheren Schulen entsprang neben drängenden mathematischen auch gewichtigen physikalischen Bedürfnissen. Daher eignet sich die Vektoralgebra in besonderem Maße, enge Verknüpfungen zwischen den Fächern Mathematik und Physik herzustellen, die jeder Lehrer mit Sorgfalt pflegen wird, dem nicht fachliche Scheuklappen den Blick in die Nachbarschaft verwehren. Zudem baut sich um den Vektorbegriff eine mathematische Struktur auf, deren abstraktes Gerüst mit einer Unzahl tw. höchst verschiedenartiger physikalischer Interpretationen ausgefüllt werden kann, die also geeignet ist, die logische Beziehung zwischen Struktur und Modell dem Schüler in konkreten Beispielen vor Augen zu führen.

Gleichzeitig wird in diesem Zusammenhang wieder einmal deutlich, wie wertvoll es wäre, wenn in jeder betroffenen Klasse dieselbe Person zum Träger des Mathematik- und des Physikunterrichtes gemacht werden könnte. Wir wissen natürlich, daß ein solcher Idealzustand praktisch unerreichbar ist, glauben aber, die zuständigen Schulbehörden nachdrücklich auffordern zu müssen, wo immer es geht, ihre Entscheidungen zugunsten der Ideallösung zu treffen. Wir halten auch wenig von dem seit einiger Zeit unter dem Eindruck des Lehrermangels ventilirten Schmalspurstudium, weil die Unterweisung in der Unterstufe bereits unter sorgfältiger Bedachtnahme auf die didaktischen Probleme der Oberstufe konzipiert werden muß. Ohne pädagogische Erfahrung im Oberstufenunterricht ist das aber kaum möglich. Schließlich sei noch dem Unbehagen Ausdruck verliehen, das angesichts der wachsenden Zahl von Lehramtskandidaten aufkommt, die Physik als Hauptfach und Mathematik als Nebenfach wählen. Ein Physiker ohne solide mathematische Ausbildung ist nur ein halber Physiker. Zwar verfügt er über das volle mathematische Rüstzeug, dessen er im Oberstufenunterricht bedarf, doch fehlt ihm der Überblick über die tieferen Zusammenhänge, der erst dem Unterricht den letzten Schliff verleihen kann (nicht muß!).

Doch genug der Vorbemerkungen, wenden wir uns nun dem eigentlichen Thema zu, dessen erschöpfende Behandlung aus Raumgründen auch nicht annähernd in diesem Rahmen realisierbar ist!

1. Vektoren in der Kinematik

Relativgeschwindigkeit. Die Bewegungsaufgaben unter den Textgleichungen machen verhältnismäßig selten vom Begriff der Relativgeschwindigkeit Gebrauch, obwohl sie sich mit seiner Hilfe zumeist elegant lösen ließen. Das theoretische Rüstzeug ist denkbar einfach. Sind v_1, v_2 bzw. die Geschwindigkeiten der Körper A, B, dann ist

$$\begin{aligned}
 v_2 - v_1 &\text{ die Relativgeschwindigkeit } v_r \text{ von B bzgl. A,} \\
 v_1 - v_2 &\text{ die Relativgeschwindigkeit } v_r \text{ von A bzgl. B.}
 \end{aligned}$$

Das ist alles, und wir können sofort zu konkreten Beispielen übergehen. (Soferne Bewegungen vorliegen, die auf einer einzigen Geraden ablaufen, darf v_1, v_2 geschrieben werden, da der Vektorcharakter im Vorzeichen ausreichend zur Geltung kommt.)

1. Bsp.: Zwei Züge ($v_1 = -62 \text{ km/h}, v_2 = 88 \text{ km/h}$) fahren einander von den Stationen A, B, $AB = 225 \text{ km}$, entgegen. Wann und wo begegnen sie einander, falls sie gleichzeitig starten?

$$v_r = 88 - (-62) = 150 \text{ km/h}, \quad t = 225:150 = 1,5 \text{ h.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Treffpunkt C: } AC &= 62 \cdot 1,5 = 93 \text{ km; } BC = 88 \cdot 1,5 = 132 \text{ km} = 225 - 93 \text{ km.}
 \end{aligned}$$

2. Bsp.: Zwei in entgegengesetzten Richtungen fahrende Züge begegnen einander. Wie lange dauert die Vorbeifahrt?

$$1. \text{ Zug: Länge } l_1 = 83 \text{ m, } v_1 = -54 \text{ km/h}$$

$$2. \text{ Zug: Länge } l_2 = 57 \text{ m, } v_2 = 90 \text{ km/h.}$$

Denkt man sich den ersten Zug in dem mit ihm starr verbundenen Koordinatensystem ruhend, so fährt an ihm der zweite mit $v_2 - v_1 = 144 \text{ km/h} = 40 \text{ m/s}$ vorbei. Die Vorbeifahrt beginnt, wenn sich die Frontplatte der zweiten Lok mit der der ersten auf gleicher Höhe befindet. Die Vorbeifahrt endet, wenn die Frontplatte der zweiten Lok vom letzten Puffer des ersten Zuges den Abstand l_2 hat. Daher beträgt die Dauer der Vorbeifahrt

$$\frac{l_1 + l_2}{v_2 - v_1} = 140:40 = 3,5 \text{ sec.}$$

Da sich die „Überholversion“ des 2. Beispiels in den Dienst der Verkehrserziehung stellen läßt, wollen wir auch sie anführen.

3. Bsp.: A sei ein Pkw der Länge $l_1 = 4$ m, B ein Lkw mit Anhänger der Länge $l_2 = 16$ m. Beide Fahrzeuge bewegen sich hintereinander zunächst mit derselben Geschwindigkeit $v = 80$ km/h in gleicher Richtung. Der Lenker von A will B überholen und beschleunigt A auf $v_2 = 107$ km/h. In dem Augenblick, in dem er diese Geschwindigkeit erreicht hat, liegt die Stoßstange von A 5 m hinter dem Schlußlicht von B. Wie lange dauert es, bis sich die Stoßstange von B 20 m hinter dem Schlußlicht von A befindet? (Die Wegkrümmung des Überholpfades werde vernachlässigt.) Wie lange ist die Überholstrecke?

Relative Länge der Überholstrecke bzgl. B $= 5 + 16 + 20 + 4 = 45$ m

Relativgeschwindigkeit $v_2 - v = 27$ km/h = 7,5 m/s; $v_2 = 29,7$ m/s

Überholzeit $t = 45 : 7,5 = 6$ sec

Länge des Überholweges $= t \cdot v_2 = 6 \cdot 19,7 = 180,2$ m.

4. Bsp.: Die Massenpunkte A, B bewegen sich gleichförmig mit den Geschwindigkeiten v_1, v_2 . Zur Zeit $t = 0$ sei der Vektor vom Ort von A zum Ort von B bekannt: $\mathbf{d} = \overrightarrow{AB}$.

- a) Wann haben A, B den kleinsten Abstand?
- b) Wo befinden sich A, B in diesem Augenblick?
- c) Wie groß ist der kleinste Abstand?

Mit Hilfe der Vektorrechnung ist die Aufgabe ohne Benutzung der Differentialrechnung lösbar!

Zu a) Die Relativgeschwindigkeit v_r von B bzgl. A ist $v_r = v_2 - v_1$. Bezüglich eines mit A starr verbundenen Koordinatensystems hat die Bahngeschwindigkeit von B die Gleichung

$$\mathbf{v} = \mathbf{d} + t \mathbf{v}_r$$

Im Augenblick der stärksten Annäherung von A und B muß \mathbf{v} auf \mathbf{v}_r senkrecht stehen, also gilt dann

$$\begin{aligned} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v}_r &= 0 = \mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r + t \mathbf{v}_r^2, \\ t &= -\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2}, \quad \mathbf{v}_r = |\mathbf{v}_r|. \end{aligned}$$

Zu b) A bewegt sich mit v_1 , also befindet sich A zur Zeit t im Endpunkt des Pfeiles

$$\mathbf{v}_A = -\left(\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2}\right) \mathbf{v}_1.$$

Analog ergibt sich für den Ort von B

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{d} - \left(\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2}\right) \mathbf{v}_2.$$

$$\begin{aligned} \text{Zu c) } \mathbf{d}(t) &= \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A = \mathbf{d} - (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) \frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2} = \\ &= \mathbf{d} - \left(\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2}\right) \mathbf{v}_2. \end{aligned}$$

$d_{\min} = |\mathbf{d}(t)|$ lässt sich auf zwei Arten ermitteln.

1. Methode:

$$\begin{aligned} d_{\min}^2 &= \left(\mathbf{d} - \frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2} \mathbf{v}_r\right)^2 = \mathbf{d}^2 - 2(\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r) \frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2} + \left(\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r}{\mathbf{v}_r^2}\right)^2 = \\ &= \mathbf{d}^2 - \frac{(\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r)^2}{\mathbf{v}_r^2}, \\ d_{\min} &= \frac{1}{\mathbf{v}_r} \sqrt{\mathbf{d}^2 \mathbf{v}_r^2 - (\mathbf{d} \cdot \mathbf{v}_r)^2}. \end{aligned}$$

2. Methode:

\mathbf{d} und \mathbf{v}_r spannen ein Parallelogramm auf, dessen Höhe d_{\min} ist (Abb. 1), egal, von welchem Punkt der Bahn von B aus \mathbf{v}_r abgetragen wird. Daher gilt

$$d_{\min} = \frac{\text{Fläche}}{\text{Basislänge}} = \frac{|\mathbf{d} \times \mathbf{v}_r|}{\mathbf{v}_r}$$

Die Lagrangesche Identität $(\mathbf{a} \times \mathbf{b})^2 = \mathbf{a}^2 \mathbf{b}^2 - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b})^2$ führt die beiden Ergebnisse ineinander über.

5. Bsp.: Die Punktmasse M bewege sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω auf einer Kreisbahn vom Radius r . Wie groß ist die Fliehbeschleunigung?

Die Herleitung des Ausdrückes für die Fliehbeschleunigung ist ein heikles didaktisches Problem, weil sie zu einem Zeitpunkt erfolgt, in dem die Differentialrechnung noch

nicht zur Verfügung steht, dennoch aber ein Grenzübergang unvermeidlich ist. Im folgenden ein Vorschlag, der sich wesentlich auf die Relativgeschwindigkeit stützt.

Ändert sich während der Zeitspanne t die Geschwindigkeit des Massenpunktes M von v_1 auf v_2 , so ist $v_2 - v_1$ die während der Zeit t hinzugefügte Geschwindigkeitskomponente und

$$\bar{a} = (v_2 - v_1)/t$$

die mittlere Beschleunigung im Laufe dieses Vorganges. Der Betrag w der Winkelgeschwindigkeit von M ist gegeben durch $w = v/r$. Da sich der Geschwindigkeitsvektor v von M mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit w dreht, ist für sehr kleine t -Werte $|\bar{a}| \cdot t$ nur ganz wenig von der Bogenlänge \widehat{AB} verschieden (Abb. 2). Wegen $\widehat{AB} = w \cdot t \cdot v = v^2 t/r$ gilt somit

$$|\bar{a}| \cdot t \approx v^2 t/r$$

um so genauer, je kleiner t ausfällt. Mit $t \rightarrow 0$ geht $|\bar{a}| \cdot t$ in die Momentanbeschleunigung a über und man erhält die gesuchte Formel

$$a = v^2/r.$$

Gleichzeitig ist die Orthogonalität von v und a unmittelbar evident.

6. Bsp.: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit v und Winkelgeschwindigkeit ω .

Ähnlich wie beim Drehmoment wird im Physikunterricht auch bei der Winkelgeschwindigkeit der Vektorcharakter dieser Größen viel zuwenig hervorgehoben. Da in den realistischen AHS-Typen das Vektorprodukt durchgenommen wird, ist für diese die quantitative Bestimmung von ω möglich.

a) ω hat die Richtung der Drehachse und den Betrag $w = v/r$ (Abb. 3a), wenn r den Abstand des Punktes M von der Drehachse bedeutet, also $r = |\overrightarrow{AM}| = |\mathbf{r}|$, $\mathbf{r} \perp \mathbf{v}$, gilt. Der Vektor

$$\mathbf{r} \times \mathbf{v}$$

ist zu \mathbf{r} und zu \mathbf{v} normal, hat also die Richtung von ω . Die Reihenfolge der Faktoren \mathbf{r}, \mathbf{v} ist so gewählt, daß der Drehinn und die Orientierung von ω eine Rechtsschraube bilden. Wegen $\mathbf{r} \perp \mathbf{v}$ gilt $|\mathbf{r} \times \mathbf{v}| = r \cdot v$. Um auf $w = v/r$ zu kommen, muß daher das Vektorprodukt noch durch r^2 dividiert werden. Das Ergebnis lautet

$$\omega = \frac{1}{r^2} (\mathbf{r} \times \mathbf{v}).$$

b) Umgekehrt erhält man aus ω, \mathbf{r}

$$\mathbf{v} = \omega \times \mathbf{r},$$

wobei \mathbf{r} ein beliebiger Vektor von einem Punkt der Drehachse nach M sein darf (Abb. 3b). Zerlegt man nämlich \mathbf{r} in eine zur Drehachse senkrechte und eine zu ihr parallele Komponente $\mathbf{r} = \mathbf{r}_n + \mathbf{r}_p$, so folgt wegen $\mathbf{r}_p \times \omega = 0$

$$\omega \times (\mathbf{r}_n + \mathbf{r}_p) = \omega \times \mathbf{r}_n = \mathbf{v}.$$

2. Die Reduktion von ebenen Kraftsystemen

Ein Ziel der Statik besteht darin, Kraftsysteme durch möglichst einfache gleichwertige zu ersetzen. Dabei werden zwei Erfahrungstatsachen benutzt:

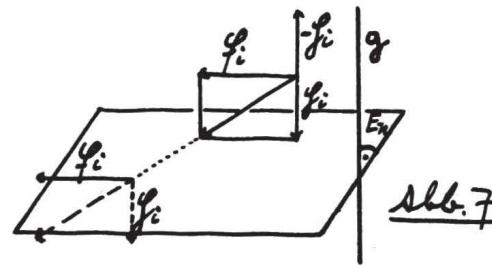
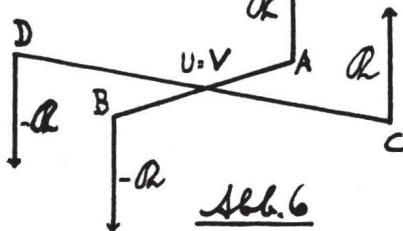
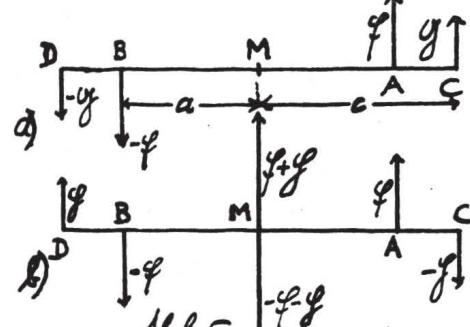
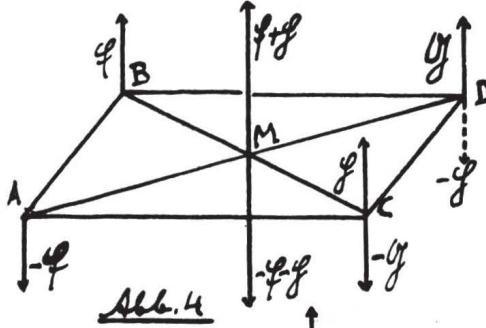
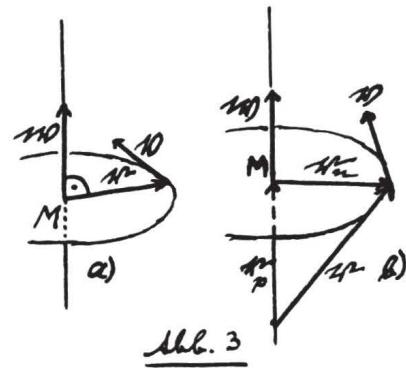
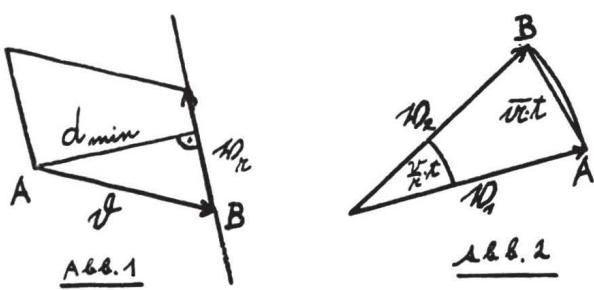
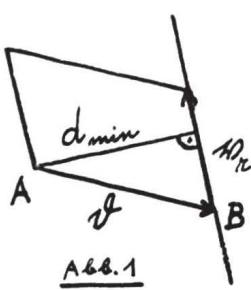
a) Kräfte mit demselben Angriffspunkt A_0 setzen sich vektoriell zusammen, d. h. sie sind einer Einzelkraft äquivalent, die in A angreift und gleich der Vektorsumme sämtlicher Systemkräfte ist.

b) Zwei inverse Kräfte $\mathbf{F}_1, -\mathbf{F}_2$ mit gemeinsamer Wirkungslinie annulieren einander. Aus a), b) folgt in bekannter Weise die Konstruktion der Resultierenden \mathbf{R} der Kräfte $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ (die alle in A_0 angreifen) als Schlußseite $A_0 A_n$ des Kraftecks $A_0 A_1 A_2 \dots A_n$, $\overrightarrow{A_{k-1} A_k} = \mathbf{F}_k : \overrightarrow{A_0 A_n} = \mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n$.

Mit anderen Worten lautet der Sachverhalt: Jedes System koinitaler Kräfte läßt sich auf eine Einzelkraft reduzieren.

Weitere Folgerungen aus a), b) sind:

Man darf eine Kraft entlang ihrer Wirkungslinie beliebig verschieben;



Zwei Kraftsysteme S, S' sind invers (d. h. sie heben einander in der Wirkung auf), wenn S' aus S (oder umgekehrt) durch Vorzeichenwechsel aller Teilkräfte hervorgeht.

Für Kräfte mit unterschiedlichen Angriffspunkten liegen die Dinge komplizierter. Es gibt Fälle, in denen das System nicht auf eine Einzelkraft, sondern auf ein Kräftepaar zurückführbar ist, dessen Elemente $\vec{F}, -\vec{F}$ verschiedene (parallele) Wirkungslinien besitzen. Der Beschreibung des Kräftepaars (=KP) dient das Drehmoment. Damit berühren wir einen wunden Punkt des Physikunterrichtes, bei dem wir nun verweilen wollen.

Die weit verbreitete Formulierung

Drehmoment = Kraft mal Kraftarm

ist, da völlig unzureichend, abzulehnen. In ihr wird nämlich der Vektorcharakter des Drehmomentes in geradezu irreführender Weise übergangen! (Genaugenommen sind Drehmoment, Winkelgeschwindigkeit und überhaupt jedes Vektorprodukt keine Vektoren, sondern schief-symmetrische Tensoren zweiter Stufe, die nur deshalb als Vektoren interpretierbar sind, weil zufällig im \mathbb{R}^3 — und nur in diesem — die Zahl der Koordinaten eines Vektors und eines antimetrischen Tensors übereinstimmt!)

Ein KP versucht den Körper, an dem es angreift, zu drehen. Daher ist die Drehachse die einzige ausgezeichnete Richtung im Raum, die einem KP zugeordnet werden kann. Die Drehachse steht auf der Ebene durch die Wirkungslinien der beiden Kräfte senkrecht, ihre Richtungsvektoren scheinen also zur Repräsentation des KP geeignet. Um den passenden Vektor \vec{M} unter den unendlich vielen Richtungsvektoren auszuwählen, wird man sich nach einem Maß für die drehende Wirkung des KP umsehen und dieses Maß als den Betrag des Vektors \vec{M} festsetzen. Allerdings führt das Programm nur dann zu physikalisch sinnvollen Ergebnissen, wenn die nachstehenden beiden Forderungen erfüllbar sind:

1. Äquivalente KP, und nur solche dürfen das gleiche Maß haben;

2. Bei Zusammensetzung von KP müssen sich die zugeordneten Drehmomentvektoren wie Vektoren addieren.

Äquivalente Kräftepaare. An Hand der Abb. 4 läßt sich erkennen, daß die Paare I ($\vec{F}, -\vec{F}$) mit den Angriffspunkten A,B und II ($\vec{G}, -\vec{G}$) mit den Angriffspunkten C,D, die durch die Schiebung $\vec{AC} = \vec{BD}$ auseinander hervorgehen, gleichwertig sind. Dabei ist es egal, ob alle beteiligten Kräfte in derselben Ebene wirken oder nicht. Der Nachweis für die Äquivalenz von I und II ist erbracht, wenn das KP I und das zu II inverse KP II' ($-\vec{G}, \vec{G}$) einander annulieren. (Natürlich gilt $\vec{F} = \vec{G} = \vec{H}$.) Die Angriffspunkte bilden ein Parallelogramm ABCD mit dem Mittelpunkt M. Die Resultierende $\vec{F} + \vec{G}$ von \vec{F} und \vec{G} greift ebenso in M an wie die Resultierende $-\vec{G} - \vec{H}$ von $-\vec{G}$ und $-\vec{H}$. Die beiden Resultierenden annulieren einander, also sind I, II' invers und I, II äquivalent wie behauptet. Das wichtige Ergebnis der Überlegung lautet:

Kräftepaare dürfen nach Belieben parallel verschoben werden.

Da auch die Komponenten eines KP entlang ihrer Wirkungslinie willkürliche Verschiebungen zulassen, existiert zu jedem KP genau ein äquivalentes, bei dem die Verbindungsline der Angriffspunkte auf der Wirkungslinie der Kräfte senkrecht steht. Aus den eben bewiesenen Eigenschaften folgt, daß irgend zwei KP, die man vergleichen will, stets durch zwei gleichwertige Paare I ($\pm \vec{F}$; Angrptke. A,B) und II ($\pm \vec{G}$; Angrptke. C,D) zu ersetzen sind, für die A,B,C,D auf derselben Normalen zu den Wirkungslinien liegen und für die M gemeinsamer Mittelpunkt der Strecken AB bzw. CD ist (Abb. 5a). In Abb. 5b ist an Stelle von II das hiezu inverse KP II' ($\pm \vec{G}$) eingetragen. I und II' sind genau dann invers, wenn die Resultierende $\vec{F} + \vec{G}$ der Kräfte \vec{F}, \vec{G} dieselbe Wirkungslinie hat wie die Resultierende $-\vec{G} - \vec{H}$ der Kräfte $-\vec{G}, -\vec{H}$. Infolge der Symmetrieeigenschaften der Anordnung von Kräften und Angriffspunkten liegen die Wirkungslinien von $\vec{F} + \vec{G}$ und von $-\vec{G} - \vec{H}$ symmetrisch zu M. Somit ist I genau dann äqui-

valent zu II' , wenn die eben erwähnten Wirkungslinien zusammenfallen, d. h. M enthalten.

Ohne Benützung von Drehmomenten läßt sich in bekannter Weise zeigen, daß die Wirkungslinie der Resultierenden $\mathfrak{R} = \mathfrak{F} + \mathfrak{G}$ zweier gleichsinnig paralleler Kräfte $\mathfrak{F}, \mathfrak{G}$ die Strecke zwischen den Angriffspunkten A,D von $\mathfrak{F}, \mathfrak{G}$ im Verhältnis

$$DM:MA = c:a = |\mathfrak{F}|:|\mathfrak{G}| = F:H$$

teilt. Daraus folgt:

Zwei Kräftepaare der Ebene sind genau dann äquivalent, wenn sie

1. im gleichen Sinn zu drehen versuchen und
2. die Gleichung $F \cdot a = H \cdot c$ erfüllen.

Daß aus den Bedingungen 1., 2. auch stets die Gleichwertigkeit der KP folgt, ergibt sich durch Verfolgen der obigen Schlußkette in umgekehrter Reihenfolge.

Das Maß für die Wirkung von Kräftepaaren ist nun gefunden: Es ist die Maßzahl des Flächeninhaltes M jenes Parallelogramms, das die Kraftpfeile $\mathfrak{F}, -\mathfrak{F}$ zu Parallelseiten hat. Um auch den Drehsinn einzubeziehen, erhält M positives oder negatives Vorzeichen, je nachdem die Drehwirkung im Gegenzeiger- (geometrisch positiven) oder im Uhrzeigersinn erfolgt. Die Additivität der signierten Maße ist für Kräftepaare einer Ebene unmittelbar einzusehen. Daher kann jedem KP der Ebene eindeutig ein zur Ebene senkrechter Vektor \mathfrak{M} vom Betrag $|M| = F \cdot a$ zugeordnet werden. \mathfrak{M} hat je nach dem Vorzeichen von M die Orientierung der z^+ - bzw. der z^- -Achse. M. a. W.: Drehsinn und Vektor \mathfrak{M} müssen eine Rechtsschraube bilden. Es gilt

$$\mathfrak{F} \times \mathfrak{a} = \mathfrak{M},$$

wobei $\mathfrak{a} = \vec{AB}$ den Vektor vom Angriffspunkt A der Kraft \mathfrak{F} zum Angriffspunkt B von $-\mathfrak{F}$ bedeutet. Wegen $(-\mathfrak{F}) \times \mathfrak{a} = \mathfrak{F} \times \mathfrak{a}$ ist es egal, welche Komponente des Paars als \mathfrak{F} gewählt wird. In genau der gleichen Weise sind auch den Kräftepaaren des Raumes eindeutig Vektoren \mathfrak{M} zugeordnet. Zu überlegen bleibt nur noch, ob auch dann die Vektorsumme der Momentenvektoren zweier nicht in der gleichen Ebene wirkenden KP gleich dem Momentenvektor des resultierenden KP ist.

Seien I ($\pm \mathfrak{F}$; Angr. A,B), II ($\pm \mathfrak{G}$; Angr. C,D) zwei KP, die verschiedenen Ebenen angehören, ferner U, V die Halbierungspunkte der Strecken AB bzw. CD. Auf Grund der oben gezogenen Schluße darf ohne Beschränkung der Allgemeinheit folgendes vorausgesetzt werden:

1. $U = V$
2. $\vec{AB} \perp \mathfrak{F}$
3. $\vec{CD} \perp \mathfrak{G}$.

Die Ebenen E_1, E_2 der beiden KP schneiden einander längs einer Geraden g . Fügt man in A,B geeignete Hilfskräfte $\pm \mathfrak{H}_1$ in Richtung von AB an, so entsteht ein zu I äquivalenter KP I', dessen Komponenten $\pm(\mathfrak{F} + \mathfrak{H}_1) = -\mathfrak{F}_1$ zu g parallel sind. Dasselbe gilt für II und II' ($\pm \mathfrak{G}_1$), $\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{H}_2 = \mathfrak{G}_1$. Dann ist auch \mathfrak{G}_1 zu g parallel. Schließlich verändern wir noch \mathfrak{F}_1 durch Verkürzen oder Verlängern der Strecke AB (u. zw. symmetrisch bzgl. U) derart, daß zwar das Drehmoment von I' erhalten bleibt, aber \mathfrak{F}_1 (entstanden aus \mathfrak{F}_1) gleich \mathfrak{G}_1 wird. Die Endkonfiguration ist in Abb. 6 wiedergegeben, in der allerdings die gleichen Kräfte einheitlich mit $\pm \mathfrak{R}$ bezeichnet sind. Die Drehmomente $\mathfrak{M}_1, \mathfrak{M}_2$ der beiden Paare sind

$$\mathfrak{M}_1 = \mathfrak{R} \times \vec{AB}, \mathfrak{M}_2 = \mathfrak{R} \times \vec{CD}.$$

Die Anwendung des Distributivgesetzes für Vektorprodukte

$$\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2 = (\mathfrak{R} \times \vec{AB}) + (\mathfrak{R} \times \vec{CD}) = \mathfrak{R} \times (\vec{AB} + \vec{CD})$$

erweist nun, daß der Momentenvektor \mathfrak{M} des durch Zusammensetzung zweier Kräftepaare entstehenden Paars gleich der Vektorsumme der Momentenvektoren $\mathfrak{M}_1, \mathfrak{M}_2$ der einzelnen KP ist

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2.$$

Ergebnis:

1. Zwei beliebige Kräftepaare (der Ebene oder des Raumes)

$$I(\pm \mathfrak{F}; A,B), II(\pm \mathfrak{G}; C,D)$$

sind genau dann gleichwertig, wenn die Gleichungen

$$\mathfrak{M}_1 = \mathfrak{F} \times \vec{AB} = \mathfrak{M}_2 = \mathfrak{G} \times \vec{CD}$$

erfüllt sind.

2. Bei Zusammensetzung von Kräftepaaren addieren sich die Drehmomente wie Vektoren.

3. Kräftepaare und ihre Momentenvektoren dürfen im Raum nach Belieben verschoben werden.

Kehren wir zum Ausgangsthema dieses Abschnittes, der Reduktion von **ebenen** Kraftsystemen, zurück, so können wir abschließend sagen:

Ebene Kraftsysteme lassen sich stets entweder auf eine Einzelkraft oder auf ein Kräftepaar reduzieren. Ein Kraftsystem befindet sich dann und nur dann im Gleichgewicht, wenn sowohl die Vektorsumme aller Kräfte als auch die Vektorsumme aller Drehmomente der Systemkräfte bezüglich eines beliebigen Punktes der Nullvektor ist.

Eine wichtige, leicht einzusehende Folgerung, die in Abschnitt 3 von Nutzen sein wird, lautet:

Ein ebenes Kraftsystem ($\mathfrak{F}_1, \mathfrak{F}_2, \dots, \mathfrak{F}_n$) ist genau dann der Einzelkraft $\mathfrak{R} = \mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2 + \dots + \mathfrak{F}_n$ äquivalent, wenn $\mathfrak{R} \neq 0$ gilt. Ist hingegen $\mathfrak{R} = 0$, dann herrscht entweder Gleichgewicht oder das reduzierte System ist ein Kräftepaar.

3. Die Reduktion von räumlichen Kraftsystemen

Von Interesse sind natürlich nur jene Systeme, bei denen die Einzelkräfte in verschiedenen Punkten angreifen. Im Falle eines gemeinsamen Angriffspunktes reduziert sich nämlich das System auf eine Einzelkraft, die die Schlußseite des von den Kraftvektoren gebildeten Polygonzuges ist, der vom Angriffspunkt ausgeht.

Wir legen also ein Kraftsystem $S(\mathfrak{F}_1, \mathfrak{F}_2, \dots, \mathfrak{F}_n)$ mit mindestens zwei verschiedenen Angriffspunkten zugrunde und nehmen vorerst an, daß die Vektorsumme \mathfrak{R} der Kräfte

$$\mathfrak{R} = \mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2 + \dots + \mathfrak{F}_n$$

ungleich 0 sei. Ferner möge g eine Gerade parallel zu \mathfrak{R} sein, deren Lage erst etwas später genau festgelegt werden soll. Jede Systemkraft \mathfrak{F}_k läßt sich in eine zu g parallele Komponente \mathfrak{G}_k und in eine zu g senkrechte Komponente \mathfrak{N}_k zerlegen

$$\mathfrak{F}_k = \mathfrak{G}_k + \mathfrak{N}_k.$$

Es gilt

$$\mathfrak{G}_1 + \mathfrak{G}_2 + \dots + \mathfrak{G}_n = \mathfrak{R},$$

$$\mathfrak{N}_1 + \mathfrak{N}_2 + \dots + \mathfrak{N}_n = v.$$

Wegen $\mathfrak{R} \neq 0$ besitzen die parallelen Kräfte \mathfrak{G}_k eine Wirkungslinie ihrer Resultierenden \mathfrak{R} , in die wir die oben noch unvollständig definierte Gerade g verlegen wollen. Die Angriffspunkte jener Kräfte \mathfrak{F}_i , die nicht normal zu g wirken, lassen sich längs der jeweiligen Wirkungslinie bis zu deren Durchstoßpunkt mit einer Normalebene E_n von g verschieben. Ist jedoch \mathfrak{F}_i parallel E_n , dann wird durch Hinzufügen zweier zu g paralleler Hilfskräfte $\pm \mathfrak{H}_i$ die Wirkungslinie von $\mathfrak{F}_i + \mathfrak{H}_i$ zu E_n geneigt verlaufen, also E_n durchstoßen (Abb. 7). Daher darf ohne Beschränkung der Allgemeinheit von Haus aus vorausgesetzt werden, daß das Teilsystem $N(\mathfrak{N}_1, \mathfrak{N}_2, \dots, \mathfrak{N}_n)$ ein ebenes System ist. Wegen $\mathfrak{N}_1 + \mathfrak{N}_2 + \dots + \mathfrak{N}_n = 0$ ist N entweder einem KP in der zu g senkrechten Ebene gleichwertig oder es befindet sich im Gleichgewicht. Im ersten Fall hat der Momentenvektor \mathfrak{M} des resultierenden KP die Richtung von \mathfrak{R} oder $-\mathfrak{R}$. Im letzten Fall gilt $\mathfrak{M} = 0$, das reduzierte System ist die Einzelkraft \mathfrak{R} .

Um auch den Sonderfall $\mathfrak{R} = 0$ zu erledigen, wählen wir eine Gerade g , die zu keiner Systemkraft parallel ist, sowie eine zu g senkrechte Ebene E_n . (Die Existenz solcher Geraden folgt aus der Endlichkeit der Anzahl der Kräfte von S .) Nun werden die Angriffspunkte aller Kräfte in Punkte von E_n verschoben und die \mathfrak{F}_k in zu g parallele und zu g normale Komponenten \mathfrak{G}_k bzw. \mathfrak{N}_k zerlegt. Die \mathfrak{N}_k bilden ein ebenes Kraftsystem, das wegen $\sum \mathfrak{N}_k = 0$ entweder einem KP mit dem Momentenvektor \mathfrak{M}_1 gleichwertig oder im Gleichgewicht ist. Die Parallekomponenten \mathfrak{G}_k sind tw. wie \mathfrak{G}_1 orientiert, tw. wie $-\mathfrak{G}_1$. Jede der so erklärten Komponentenklassen besitzt eine Einzelkraft \mathfrak{G} bzw. $-\mathfrak{G}$ zur Resultierenden. $\pm \mathfrak{G}$ bilden bei verschiedenen Angriffspunkten ein KP mit dem Momentenvektor \mathfrak{M}_2 , bei gleichem Angriffspunkt befinden sie sich im Gleich-

gewicht. Somit reduziert sich das System auf ein KP mit Momentenvektor $\mathcal{M} = \mathcal{M}_1 + \mathcal{M}_2$ oder es herrscht Gleichgewicht.

Ergebnis:

Ein beliebiges räumliches Kraftsystem ist äquivalent

- einer Einzelkraft $\mathcal{R} \neq 0$, $\mathcal{M} = 0$ oder
- einem Kräftepaar $\mathcal{R} = 0$, $\mathcal{M} \neq 0$ oder
- einer Einzelkraft und einem KP, dessen Momentenvektor zum Vektor der Einzelkraft parallel ist (Kraftschraube) $\mathcal{R} \neq 0$, $\mathcal{M} \neq 0$, $\mathcal{M} \parallel \mathcal{R}$ oder
- es herrscht Gleichgewicht $\mathcal{R} = \mathcal{M} = 0$.

Neubestimmung der Gravitationskonstante G

Trotz der Wichtigkeit einer möglichst genauen Kenntnis von G für die Himmelsmechanik, die Raumfahrt u. v. a. stehen der Bestimmung der Gravitationskonstante auch heute noch erhebliche Schwierigkeiten im Wege, die in der Geringfügigkeit der gravitativen Wechselwirkung begründet sind. Vor kurzem noch galt als bester Wert

$$G = (6,670 \pm 0,015) \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

der immerhin mit 0,2% Fehler behaftet war. Das neue in diesem Beitrag erläuterte Meßverfahren von R. D. Rose und Mitarbeitern verbessert bereits in der Testphase G auf

$$(6,674 \pm 0,012) \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

$0,012 \cdot 10^{-11}$ sind drei Standardabweichungen, d. h. die Wahrscheinlichkeit für einen außerhalb des Intervallumfangs liegenden Wertes von G beträgt nur 0,3%. (Dieser Prozentsatz darf nicht mit dem oben angeführten Fehlerprozentsatz verwechselt werden!)

Rose und seine Kollegen verwendeten zwar wie Cavendish zwei kongruente Kugelmassen als Wirkungsquellen, schlossen jedoch aus der Winkelbeschleunigung des das Gerät tragenden Drehtisches auf G. Die Beschleunigung wurde von der Schwerkraft in der nachstehend geschilderten Weise über einen Servomechanismus hervorgerufen.

Da die Idee dieser Meßmethode durchaus einfach ist, möchte ich darauf hinweisen, wie zweckmäßig es wäre, im Unterricht der Oberstufe an Hand des Roseschen Verfahrens das Thema Gravitationsgesetz abzuwickeln. Hier bietet sich nämlich die Gelegenheit, ohne mathematische Zutaten ein ganz modern arbeitendes Gerät zu beschreiben und so einen Beitrag zur Modernisierung des Physikunterrichtes zu leisten. In der Elektrizitätslehre wird ja auch schon von sehr neuartigen Dingen gesprochen. Warum nicht auch in der Mechanik, zumal hier die beschleunigende Wirkung eines konstanten Drehmoments an einem praktischen Beispiel zur Sprache kommen kann?

Die weitere Erklärung möge an Hand der Abb. 8 erfolgen. R ist ein mit He von 1 at gefülltes gasdichtes Rohr, dessen Mantelfläche den Lichtstrahlen e, r durch das Fenster F den Durchtritt gewährt. Die Deckfläche von R trägt einen 33 cm langen, 0,025 mm dicken Quarzfaden Q, der seinerseits einen vertikalen zylindrischen Stab mit dem fix montierten Spiegel S hält. Am unteren Stabende befindet sich der waagrecht angeordnete Zylinder Z. Stab und Zylinder bilden das „kleine Meßsystem“. Seine Masse ist 4,1 g. Z ist aus einer Al-Legierung hergestellt, hat $3,8100 \pm 0,0005$ cm Länge und $0,3175 \pm 0,00005$ cm Radius. R sowie die bzgl. R symmetrisch angeordneten Wolframkugeln W von 5,08 cm Radius sind mit dem Drehtisch T fest verbunden. Die Kugelmassen sind nahezu gleich, nämlich

$$M_1 = (10,48998 \pm 7 \cdot 10^{-5}) \text{ kg}, M_2 = (10,49025 \pm 7 \cdot 10^{-5}) \text{ kg}.$$

Jede Kugel hat von der Rohrachse, die zugleich Drehachse ist, 12 cm Abstand und ist so genau gearbeitet, daß die Entfernung der geometrischen Kugelmittelpunkte von den zugeordneten Massenmittelpunkten geringer als $7 \mu\text{m}$ ist! Der Drehtisch T darf mit 100 kg belastet werden. G ist ein Gegengewicht zum optischen System am rechten Teil des Tisches. a bezeichnet die Achse des waagrechten Zylinders Z. Die wesentlichen Teile des optischen Systems sind die Lichtquelle L und die Photodioden P, R, W, G und

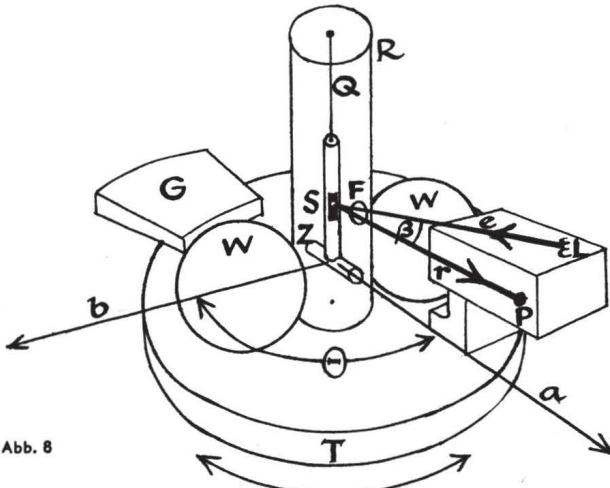


Abb. 8

das optische System sind — wie schon z. T. gesagt — fest auf dem Drehtisch montiert. Der Lichtstrahl e kommt von L, fällt auf den Spiegel S und wird dort zu den Photodioden P zurückgeworfen. Die Temperatur wird auf einen halben Grad konstant gehalten.

Nach Beschreibung des Geräteaufbaus wenden wir uns nun seiner Arbeitsweise zu. Wenn der Winkel θ zwischen Zylinderachse a und der Verbindungsleitung der beiden Kugeln 0° oder 90° ist, herrscht Symmetrie, die Kraftwirkungen der Kugeln auf den drehbaren Zylinder Z heben einander auf, ebenso die von den Kugelmassen verursachten Drehmomente. Jede andere Einstellung von θ bedingt ein Drehmoment, das zur Auslenkung von Z (und des Spiegels S) führt. Der an S reflektierte Lichtstrahl r wandert aus und verändert so den Output der Photodioden. Das optisch-elektronische System reagiert darauf mit dem Einschalten eines unter dem Drehtisch angebrachten Motors, der den Drehtisch dem auswandernden Lichtstrahl r nachzudrehen versucht. Dieses Nachführen hört aber nicht auf, weil dabei der Winkel θ erhalten bleibt und mit ihm das die Drehung auslösende Drehmoment. Es ist so, als ob man einem Wagen nachlaufen würde, den man beim Laufen mit der ausgestreckten Hand weiterschiebt. Auch der Winkel β zwischen e und r bleibt konstant, u. zw. mit $\pm 1^\circ$ Genauigkeit! Unter dem Einfluß des konstanten Drehmomentes beginnt das gesamte System gemäß den Gesetzen der Dynamik mit konstanter Winkelbeschleunigung zu rotieren. Aus der gemessenen Winkelbeschleunigung ergibt sich rechnerisch der Wert für die Gravitationskonstante G.

Die außerordentliche Geringfügigkeit der Winkelbeschleunigung (für $\theta = 45^\circ$ beträgt sie nur $4,5 \cdot 10^{-6}$ rad · sec $^{-2}$; für die erste volle Drehung um 360° werden daher ca. 30 min benötigt) erfordert natürlich die weitgehende Ausschaltung von Reibungseffekten. Auch die Zeitmessung war höchst präzise. Sie erfolgte mit Hilfe von Quarzuhrn, deren Fehler $1 \mu\text{sec}$ nicht übersteigt. Trotz der langen Dauer der ersten Umdrehung des Systems begnügte man sich nicht mit dieser, sondern beobachtete mehrere. Wie leicht nachzurechnen ist, wird erst nach 2 Stunden eine Winkelgeschwindigkeit von 0,5 Umdrehungen pro Minute erreicht.

Anfang 1970 befand sich die Vorrichtung noch im Zustand des Testens. Dennoch waren schon die ersten Ergebnisse recht vielversprechend, und man erhofft, den Wert der Gravitationskonstante in absehbarer Zeit um 2 Größenordnungen verbessern zu können. Für die Erreichung dieses Ziels plant die Forschungsgruppe, den Quarzfaden durch eine frictionsfreie magnetische Aufhängung zu ersetzen. Auch der Drehtisch soll später auf einem Luftpolster gelagert werden, um auch diese Ursache von Reibungsverlusten auszuschalten.

Vielelleicht hat die Angabe der vielen Dezimalen bei den Daten von Geräteteilen Verwunderung hervorgerufen. Dies geschah jedoch mit der bewußten Absicht, eine quantitative Vorstellung von der märchenhaften Präzision der Vorbereitungsarbeiten und den Fähigkeiten der modernen Technik zur Realisierung solcher extremer Genauigkeitsanforderungen zu vermitteln, die allein erfolgreiche Messungen mit den angestrebten Toleranzen durchzuführen gestatten. Es genügt nicht, den Schüler über die Versuchsidee einschließlich der mathematischen Grundlage zu

informieren. Es muß immer wieder an suggestiven Beispielen aus der Wirklichkeit aufgezeigt werden, welcher ungeheure Aufwand an Forschung, Mühe, Unverdrossenheit und handwerklicher Virtuosität allein dazu bereitgestellt werden muß, um die Voraussetzungen für die spektakulären Leistungen der modernen Naturwissenschaften zu schaffen!

Literatur: Phys. Rev. Lett., 22. 9. 69, S. 655, R. D. Rose et al., Determination of the Gravitational Constant.

Die experimentelle Suche nach Tachyonen

Die Wiss. Nachr. haben sich schon vor geraumer Zeit näher mit der Frage befaßt, ob die Existenz von Teilchen, die sich vom Augenblick des Entstehens an bis zu ihrem Zerfall (oder ihrer Absorption) ständig mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen, mit dem Ideengefüge der spez. Relativitätstheorie verträglich sei. (S. Wiss. Nachr. Nr. 19, Dez. 68, S. 29, Tachyonen, Teilchen schneller als Licht?) Der Artikel stützte sich auf die umfangreiche Originalarbeit von G. Feinberg vom 25. 7. 67 in der Zeitschrift Phys. Rev. Lett. Feinbergs Analyse beantwortete die Frage positiv, wobei sich ergab, daß der Wert c eine Geschwindigkeitsbarriere festlegt, die weder von Partikeln mit $v < c$ nach oben noch von solchen mit $v > c$ nach unten durchschritten, ja nicht einmal erreicht werden kann. Mit allem Nachdruck werde auch auf das Ergebnis der Feinbergschen Überlegungen hingewiesen, daß eine Signalübermittlung durch Tachyonen mit Überlichtgeschwindigkeit grundsätzlich unmöglich ist.

Naheliegenden Einwänden gegenüber werde folgendes zu bedenken gegeben. Auch Photonen werden bereits mit Lichtgeschwindigkeit „geboren“, die sie während ihres ganzen Daseins unverändert beibehalten, obwohl materiellen Teilchen das Erreichen von c versagt bleibt. Die Photonenruhmasse ist eben Null, was allein schon jede Spekulation über Photonen mit Unterlichtgeschwindigkeit ausschließt. Warum sollten sich Tachyonen nicht ähnlich verhalten? Sie könnten doch aus Partikelreaktionen hervorgehen, ohne erst vorher von Unter- auf Überlichtgeschwindigkeit gebracht werden zu müssen! Wie Feinberg zeigte, wäre Tachyonen eine imaginäre Ruhmasse zuzuschreiben, was ihre Existenz für $v < c$ physikalisch ausschließt.

Der Gedankengang Feinbergs, den namhafte Physiker durchaus ernst nehmen, ist andererseits natürlich nicht unwidersprochen geblieben. So reichte die Absicht, dem Problem experimentell auf den Leib zu rücken und im Falle eines gelungenen Nachweisverfahrens eine endgültige Entscheidung herbeizuführen. Dazu ermutigte die Erinnerung an die Entdeckung des Positrons durch Anderson auf Grund der rein theoretischen Prognose Diracs, deren physikalische Interpretation der Positronen als „Löcher im Vakuum“ um vieles spektakulärer war als die Annahmen über Tachyonen.

Der Nachweis völlig unbekannter Objekte ist keine einfache Sache, denn auf welche Weise könnte man Partikeln, über die nichts außer den Ergebnissen von sehr abstrakten theoretischen Überlegungen bezüglich ihrer vermutlichen Kinematik bekannt ist, zwingen, in meßbarer Form in Erscheinung zu treten? In diesem Zusammenhang verdient noch festgehalten zu werden, daß erfolglose Suchexperimente die Nichtexistenz einer hypothetischen Wesenheit stets nur innerhalb der den verwendeten Geräten anhaftenden Fehlergrenzen zu erweisen vermögen. Negative Resultate veranlassen lediglich Verfeinerungen der Apparatur, ohne für ein endgültiges Nein auszureichen. Dazu sind allein logisch begründete Unmöglichkeitsexperimente imstande.

Dem Scharfsinn einiger Physiker der Universität Princeton sowie der Columbia-Universität gelang es, zwei Möglichkeiten für einen Tachyonennachweis aufzustöbern. Leider blieb der erwartete Effekt im Zuge der experimentellen Realisierung der Ideen aus, so daß keine endgültige Entscheidung gefallen ist.

1. Versuch. Die Princeton-Gruppe (T. Alväger, M. N. Kreisler) dachte bei dem schon 1968 ausgeführten Versuch an die Cerenkovstrahlung von geladenen Tachyonen.

Zum weiteren Verständnis sei daran erinnert (s. den eingangs zitierten Aufsatz in den Wiss. Nachr.), daß die

Energie von Tachyonen mit wachsender Geschwindigkeit monoton gegen Null abnimmt (jedoch bei abnehmender Geschwindigkeit unbeschränkt wächst, also — falls c erreicht werden könnte — für $v = c$ unendlich werden würde (weshalb eben c für Tachyonen unerreichbar ist). Das bedeutet aber, Tachyonenproduktion ist an keine Energieschwelle gebunden!

Wir kennen seit 1932 die Paarerzeugung bei der Wechselwirkung von Gammaquanten mit Materie (Elektron-Positron). Daher wäre auch die Produktion von Tachyon-Antitachyon-Paaren durch Photonen denkbar, zumal keine energetischen Zusatzbedingungen zu erfüllen sind. (Bei gewöhnlichen Teilchen darf hingegen das Massenäquivalent der Photonenenergie die Ruhmasse des Paars — das ist das Doppelte der Ruhmasse des Einzelteilchens — nicht unterschreiten.)

Der Cerenkoveffekt ist die Emission von Licht durch geladene Teilchen, die stets stattfindet, wenn Partikeln ein Medium mit Geschwindigkeiten v durchqueren, die größer sind als die Phasengeschwindigkeit c/n (n = Brechungsindex des Mediums) des Lichtes in diesem Medium. Der Winkel α zwischen der Flugrichtung des Teilchens und der Richtung des Cerenkovlichtes ist gegeben durch die einfache Beziehung

$$\cos \alpha = c/nv,$$

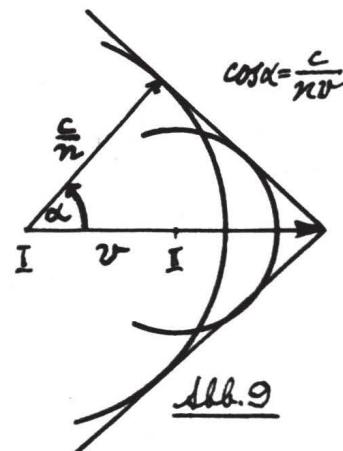
die man mühe los aus dem Huygensschen Prinzip ableitet. (Ich würde sogar vorschlagen, die höchst elementare Erklärung in den Physikunterricht aufzunehmen, weil hiemit eine unschätzbare Errungenschaft der modernen messenden Physik ohne jedwede Schwierigkeit dem Schüler verständlich gemacht werden kann!) Abb. 9 zeigt für den Zeitpunkt $t=1$ sec den Querschnitt durch die beiden Kugelwellen, die das Teilchen in den Positionen I, II in den Zeitpunkten $t=0$ sec, $t=1/2$ sec gemäß dem Huygensschen Prinzip ausgelöst hat. Die Einhüllende der „Elementarwellen“ ist die Wellenfront der Cerenkovstrahlung, die senkrecht zur Wellenfront fortschreitet.

Nun bewegen sich Tachyonen stets mit $v > c$, während das Licht auch im Vakuum keine höhere Phasengeschwindigkeit als c besitzt. Somit müßten geladene Tachyonen im Vakuum Cerenkovstrahlung erregen, dabei Energie einbüßen und — gemäß ihrer Kinematik — immer schneller dahinfliegen. Der Abstrahlwinkel α wird, wie aus der Figur ersichtlich, festgelegt durch die Gleichung

$$\cos \alpha = c/v.$$

Bei unendlicher Geschwindigkeit eines Tachyons wäre seine Energie Null und der Abstrahlwinkel α wäre 90° . Wie die Rechnung ergibt, könnte Cerenkovstrahlung von Tachyonen (im Vakuum) im sichtbaren Bereich des Spektrums infolge der mit der Emission verbundenen Energieeinbuße nur längs recht kurzen Strecken von weniger als 1 mm Länge erfolgen. Danach könnte nur mehr Infrarot- und Radiostrahlung abgegeben werden. Die Beobachtung des Vakuums hat noch einen großen Vorteil. Es wird verhindert, daß Effekte auftreten, die ansonsten von irgendwelchen Verhaltensweisen gewöhnlicher Materie stammen könnten und die Beobachtungsergebnisse verfälschen.

Alväger und Kreisler benützten instabiles Cs als Gammaquelle. Die Gammaquanten fielen auf Blei, wo Tachyonen entstehen sollten. Das Blei schirmte außerdem den Detektor gegen die Gammastrahlung wirkungsvoll ab. Hinter der Bleiplatte befanden sich zwei untereinander und zur



Bleiplatte parallele Elektroden im Hochvakuum, zwischen denen ein elektrisches Feld aufgebaut war. Allfällige Tachyonen mußten alle drei Platten senkrecht durchsetzen. Da sie inzwischen schon längst nicht mehr sichtbar emittieren konnten, mußte ihnen wieder so viel Energie zugeführt werden, daß im Gebiet zwischen den Elektroden sichtbare Abstrahlung möglich wurde. Diese Aufgabe fiel dem elektrischen Feld zu, dessen Parameter natürlich in der passenden Weise zu wählen waren. (Auch in zyklischen Beschleunigungsanlagen werden die elektromagnetischen Strahlungsverluste durch Zufuhr von Energie aus elektrischen Feldern kompensiert.) Ein Photovervielfacher sollte das allfällige Cerenkovlicht registrieren. Er war so montiert, daß der Raum zwischen den Elektroden von ihm eingesehen werden konnte.

Das Versuchsergebnis war enttäuschend: Die Wahrscheinlichkeiten für die Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren und von Paaren geladener Tachyonen-Antitachyonen verhalten sich bestenfalls wie 10000:1. Über ungeladene Tachyonen gibt der Versuch keine Auskunft.

2. Versuch. Neben der Ungewißheit bezüglich ungeladener Tachyonen enthält das Experiment der Princeton-Gruppe keine Hinweise über andere mit Energieverlust verbundene Prozesse, die möglicherweise das Auftreten von Cerenkovleuchten verhindern. Deshalb erschien es dem Team Ch. Baltay, G. Feinberg, R. Linsker, N. K. Yeh der Columbia-Universität angebracht, auf ein Verfahren zurückzugreifen, dem die Teilchenphysik u. a. die Entdeckung einiger neutraler Partikeln (z. B. des neutralen Eta-Mesons) verdankt. Das Verfahren erfreut sich seit Jahren unter dem Namen Defektmassenmethode großer Beliebtheit.

Die Erhaltungssätze für Energie und Impuls geben uns die Mittel zur Erstellung von Massenbilanzen für die einzelnen Reaktionen in die Hand (wobei natürlich auch die relativistischen Massenäquivalente der kinetischen und Photonenenergien in Rechnung zu stellen sind). Sobald die Ruhmassensummen der Reaktionspartner vor und nach der Kollision verschieden ausfallen, müssen unbeobachtete Teilchen im Spiele sein. Da Photonen und geladene Partikeln immer erfaßt werden (Szintillationen, Nebel-, Blasen-, Funkenspuren, Spuren in Photoemulsionen u. a.), sind etwaige Massenmanko neutralen Teilchen oder fehlerhaften Beobachtungen zuzuschreiben.

Der Beobachtung (und Messung) sind Energie E und Impuls p zugänglich. Aus ihren Werten ergibt sich das Quadrat der Teilchenmasse gemäß

$$m^2 = (E^2/c^2) - p^2.$$

Da Tachyonen imaginäre Ruhmasse besitzen, ist für sie m^2 zwar reell, aber negativ. Das folgt aus der Gleichung

$$E = mc^2/\sqrt{1 - (v/c)^2}, \quad v > c.$$

Die Columbia-Gruppe machte sich auf Grund derartiger Gedankengänge daran, mit eigens konstruierten Defektmassen-Spektrometern Prozesse auf Bilanzen mit negativen Massenquadraten zu prüfen, bei denen Verdacht auf Tachyonenbildung bestand.

Niemand weiß, wie viele Tachyonen je Reaktion entstehen. Das läßt sich aber leicht ermitteln. Entstünde nämlich genau eines, dann hätte das Quadrat der fehlenden Masse stets denselben negativen Wert. Produktion mehrerer Tachyonen ergäbe hingegen alle möglichen negativen Zahlen. Man sieht, die Defektmethode ist aufschlußreicher, als zu erwarten wäre.

Das Columbia-Team untersuchte zwei Reaktionen, ohne auf negative Massenquadrat zu stoßen. Zunächst hatte es allerdings den Anschein, als ob Tachyonen entstünden, denn unter 6000 Ereignissen befanden sich 101 mit $m^2 < 0$. Leider trügte der Schein.

Die erste Reaktion war die Wechselwirkung von negativen, in einer Wasserstoff-Blasenkammer zur Ruhe abgebremsten Kaonen mit Protonen, bei der ein neutrales Lambda-Teilchen entsteht, das infolge seiner Kurzlebigkeit noch im Bereich der Blasenkammer in zwei entgegengesetzte geladene Teilchen zerfällt. Außerdem entstand noch sekundär ein neutrales Pion, dem sich gelegentlich ein Photon zugesellte. Wegen der Möglichkeit einer unvollständigen Bremsung der Kaonen, könnten diese (und auch die Sekundärteilchen) zusätzliche kinetische Energie mitbekommen, die — da sie bei Annahme ruhender Kaonen unberücksichtigt bleibt — negative Massenquadrat vorstellt. Also schied man alle 78 Ereignisse aus, bei denen

die Flugrichtung der einfallenden Kaonen und der sekundären Lambdapräztkeln weniger als 60° einschlossen. Nochmalige Überprüfung der Meßdaten der 23 übriggebliebenen Prozesse entlarvte in jedem der 23 Fälle Fehlerquellen, die ein echtes negatives Massenquadrat ausschlossen.

Analoge Versuche mit Protonen und Antiprotonen (Paarvernichtung) endeten ebenfalls negativ. Damit ist die Existenz von Tachyonen — nach dem Urteil von Feinberg selbst — ziemlich in Frage gestellt. Dennoch wird man sich hüten, ein endgültiges Urteil auszusprechen, böse Erfahrungen mit voreiligen Prognosen haben den Physiker vorsichtig gemacht.

In den Tachyonen begegnet uns eine vierte Art hypothetischer Partikeln, die nach den heutigen Auffassungen der Theoretischen Physik existieren könnten, weil sie in keinem Widerspruch zu den bekannten Naturgesetzen stehen. Weder das intermediaire W-Boson (das hypothetische Quant der schwachen Wechselwirkung), die Quarks (als Urkonstituenten von Mesonen und Baryonen) noch die magnetischen Mono-Pole sind bisher trotz angestrengter Bemühungen gefunden worden. (Über die Quarkspuren, von denen das australische Team unter McCusker berichtete, ist noch nicht das letzte Wort gesprochen, man muß zuwarten, ob sich die Interpretation als richtig erweist.) Dennoch geht die erregende Jagd bis zur restlosen Klärung unverzagt weiter, egal, wie lange sie uns noch in Atem hält.

Literatur: Phys. Rev. Lett. Februar 70, S. 69, G. Feinberg, Particles That Go Faster than Light.

Eine neue Navigationsmethode

Die Beantwortung der beiden navigatorischen Grundfragen „Wo bin ich?“, „Welcher Kurs bringt mich direkt zum Ziel?“ fällt mitunter recht schwer, was zur Folge hat, daß viele Unglücksfälle durch Navigationsfehler verursacht werden. Daher waren von allem Anfang an Flugsicherungseinrichtungen, die der besseren Orientierung dienen, eng mit dem Ausbau des Flugverkehrs verbunden. Die ältesten Hilfsmittel, nämlich Uhr, Kompaß, Himmelskörper zusammen mit nautischen Jahrbüchern sind kaum mehr dem modernen Flugbetrieb gewachsen. Die Verkehrsdichte sowie die hohen Reisegeschwindigkeiten erschweren immer stärker die Kontaktnahme der Flugzeuge mit den Bodenstellen, ohne die eine Orientierung nur in seltenen Fällen möglich ist, weil kein Bordgerät die Windgeschwindigkeit ohne Unterstützung durch ein bodenfestes Bezugssystem (Funk- oder Leuchtfieber, Landerradar usw.) feststellen kann. Für reaktorgetriebene U-Boote, die wochenlang in gefauchtem Zustand die Weltmeere durchpflügen — man erinnere sich an die langen Untereisfahrten amerikanischer U-Boote in der Arktis —, fallen mit Ausnahme der Bussole alle übrigen der oben angeführten Hilfsmittel fort, elektromagnetische Wellen werden vom Meerwasser schon auf kurzen Strecken absorbiert. Überdies versagt der Kompaß in hohen geographischen Breiten.

Die ersten schon vor Jahrzehnten in Übung gekommenen Abwehrreaktionen gegen die unerträglich werdende Überlastung des Navigators, namentlich wenn er zugleich Flugzeugführer ist, bestanden in der Übergabe einiger Führungsfunktionen an Automaten: Der künstliche Horizont informierte auch in Nacht und Wolken über die Fluglage, das eng verwandte Gyroskop (1914 erfunden von E. A. Sperry) sorgte in Form der automatischen Kurssteuerung für geradlinigen Horizontalflug, Radiomarkierungen von Landepfaden erleichterten das Landen, Rotationsfunkfeuer ermöglichen Standortbestimmungen auch unter schlechten Bedingungen. Sobald aber die Schallgeschwindigkeit überschritten wird, wie dies heute schon oft der Fall ist, wechseln die Standorte derart rasch, daß die menschliche Reaktionsfähigkeit damit nicht mehr Schritt halten kann. Geringfügige Navigationsfehler geben zu verhängnisvollen Kursabweichungen Anlaß, da letztere mit der Geschwindigkeit anwachsen.

Der rasante technische Fortschritt zwang also dazu, über Geräte nachzudenken, die vom Start bis zur Landung auf Grund von Trägheitsreaktionen in einem Inertialsystem die sichere Orientierung im Verkehrsmittel selbst ermöglichen.

lichen. Die unbekannte Größe „Wind“ ist dann ihres störenden Einflusses beraubt, ebenso Wolken und Nacht, der Ausfall des Funkkontakte ist keine Katastrophe mehr.

Um eine solche Meßvorrichtung zu schaffen, bedarf es der Lösung dreier Hauptprobleme: 1. Muß ein Inertialsystem vorhanden sein, auf das sich die Messungen beziehen; 2. sind relativ zu diesem System die Beschleunigungskomponenten laufend festzustellen und 3. muß ein Rechenautomat existieren, der aus den eingegebenen Beschleunigungswerten durch Integrationen den zurückgelegten Weg ermittelt.

1. Das **Inertialsystem** wird durch drei Gyroskope realisiert. Gyroskope sind im wesentlichen Stabilisierungskreisel, denen Elektromotoren eine hohe Drehzahl erlauben. Sie sind cardanisch aufgehängt und paarweise senkrecht orientiert. Das ist nötig, weil sich Flugzeuge im dreidimensionalen Raum bewegen und der Beschleunigungsvektor nur komponentenweise zu erfassen ist. Die Gyroskope legen eine invariante Ebene fest, deren Orientierung bei noch so „wilden“ Flugbewegungen keine Änderung erfährt.

2. Die drei Beschleunigungsmesser sind mit den Gyroskopen gekoppelt, u. zw. ist jedem Gyroskop ein Beschleunigungsmesser zugeordnet, so daß jede der drei Beschleunigungskomponenten registriert wird. Das erfolgt durch Messung des Ausschlags eines Pendels, dessen träge Masse die geringfügigsten Geschwindigkeitsänderungen in Form elektrischer Signale anzeigen. Die Signale besorgen gleichzeitig die Rückführung des Pendels in die Ausgangslage durch Ingangsetzen des zuständigen Mechanismus.

3. Die Signale werden dem Computer zugeleitet, der in zwei Integrationsschritten Geschwindigkeit und Weg berechnet, die Daten speichert und auf Abruf jederzeit den augenblicklichen Standort in Form der geographischen Koordinaten Länge, Breite ausgibt. Obwohl die Endpunkte der zu bewältigenden Flugstrecke von Haus aus gespeichert sind, hat der Pilot die Möglichkeit, von Hand den Kurs zu ändern, den Zielort zu wechseln und Kurskorrekturen, die sich etwa auf Grund vergleichender Beobachtungen bei Bodensicht als notwendig erweisen, vorzunehmen.

Die Abmessungen der gesamten Navigationseinrichtung wurden im Laufe der Entwicklung so weit verringert, daß sie im Cockpit Platz findet. Das Gerät hat das Versuchsstadium überschritten, die Firmen General Motors Corp. und Litton Industries, Inc., haben bereits je ein Modell unter dem Namen „Karussell IV“ bzw. „LTN-51“ auf den Markt gebracht. Air-France-Transozeanflugzeuge benützen schon seit einiger Zeit die Trägheitsnavigation (=Inertialnavigation), wie diese Art der Orientierung bezeichnet wird, und Boeing 747 trifft Vorbereitungen für die Einführung der Trägheitsnavigation.

Was die Genauigkeit betrifft, so wurde Anfang 1970 nach einem zehnständigen Flug ein rechteckiger Zielraum von $32 \times 40 \text{ km}^2$ nicht verfehlt. Unglaublich, daß empfindliche und verlässliche Instrumente hergestellt werden können, die diese Wunderleistung vollbringen! Bewirkt doch ein systematischer Geschwindigkeitsfehler von nur 1 dm/sec nach zehn Flugstunden 3,6 km Kursabweichung. An die u. U. lawinenartigen Folgen der numerischen Fehlerfortpflanzung darf man gar nicht denken!

Durch Zusammenspiel mit den radiotechnischen Orientierungshilfen werden vielleicht in absehbarer Zeit Schlechtwetterlandungen mit guter Sicherheit durchführbar sein.

Literatur: *Scient. Am.*, März 1970, S. 80, C. T. Leondes, *Inertial Navigation for Aircraft*.

Weitere Indizien für Gravitationswellen

J. Weber, über dessen Versuche mit großen zylindrischen Aluminiumdetektoren zur Identifizierung von Gravitationswellen in den Wiss. Nachr. schon zweimal berichtet wurde (Nr. 19, Dez. 68, S. 36 und Nr. 22, Jänner 70, S. 29), bemüht sich nach allen Richtungen, die von ihm vertretene Interpretation der Detektoranzeigen physikalisch zu erhärten. Angesichts der extremen Geringfügigkeit der Effekte müssen die Möglichkeiten fremdartiger Störeinwirkungen gut bedacht sowie alle Gelegenheiten für ein Auftreten

solcher irreführender Ereignisse sorgfältig ausgeschaltet werden. Nachdem die Abschirmung bzw. subtraktive Elimination äußerer akustischer, elektromagnetischer oder seismischer Einflüsse geglückt war, kamen Zweifel auf, ob nicht auch die kosmische Strahlung die piezoelektrischen Kristalle des Detektors anregen und als Anzeichen von Gravitationswellen mißdeutet werden könnten.

Um Klarheit zu schaffen, stellte man knapp neben dem Gravitationsdetektor zwei Plastiksintillatoren von ansehnlicher Größe ($90 \times 67 \times 1,2 \text{ cm}^3$) auf. Sie bedeckten nahezu die Hälfte des 154 cm langen Al-Zylinders, der die „Antenne“ des Detektors darstellt (weil er durch Gravitationswellen in Schwingungen versetzt wird, auf die die Piezokristalle mit einem elektrischen Signal reagieren). Jedem Sintillator sind zwei Photovervielfacher beigegeben, denen die Lichtblitze durch Lichtleiter zugeführt werden. Beide Sintillatoren liegen in Koinzidenz, sie sprachen außerdem nur auf Teilchenschauer an, deren Partikeldichte über (120 ± 40) Teilchen je m^3 lag. Die Signale des Gravitationsdetektors einerseits und des Schauerdetektors (der Sintillatoren also) wurden getrennt registriert und verglichen. Die Kalibrierung der Sintillatoren erfolgte mit einer radioaktiven Quelle von Gammastrahlen. Da die von hochenergetischen Primärteilchen der kosmischen Höhenstrahlung ausgelösten Kaskaden sekundärer (aus der Primärenergie durch Materialisation entstandener) Partikeln (Luftschauer) schon seit vielen Jahren eingehend studiert werden, ist die Zählrate solcher Schauer sogar formelmäßig bekannt. Auf Meeressniveau beträgt die Zahl N der Schauer mit einer Teilchendichte von D Partikeln je m^2

$$N = 562 \cdot D^{-1,4} \text{ pro Stunde.}$$

Demgemäß war bei den gegenständlichen Messungen zu erwarten, daß Gr.-Detektor und Sintillator alle 70 min von einem Schauer getroffen werden, dessen Teilchendichte den Schwellwert von 100 m^{-2} übersteigt.

Werden während der Beobachtungszeit T (in Stunden) S Schauer über dem Schwellwert und G Pulse aus dem Gravitationsdetektor mit größerer als der Amplitude des Koinzidenzsignals aus den Sintillatoren festgestellt, dann lauten die Zählraten je Stunde $N_s = S/T$ für Schauer, $N_g = G/T$ für Gravitationswellen. Der wahrscheinlichkeitstheoretische Erwartungswert η für die Zahl der Koinzidenzen von Schauer- und Gravitationsereignissen pro Stunde beträgt daher (t ist die instrumentelle Zeitauflösung, d. h. die Zeit, die maximal zwischen zwei Pulsen — einem vom Gr.-Det., einem von den Szint. — liegen darf, damit die zwei Pulse noch als simultan klassifiziert werden können).

$$\eta = t \cdot N_s N_g T.$$

Beim Weberschen Experiment waren $T = 260 \text{ h}$, $t = 18 \text{ sec}$, $N_s = 0,85$, $N_g = 0,3$, somit $\eta = (33 \pm 6)$ Koinzidenzen/Stunde theoretisch zu erwarten. Die Beobachtung ergab fast den gleichen Wert, nämlich 34 ± 6 , womit der Zufallscharakter der Koinzidenzen stark unterstrichen wird.

Um ganz sicher zu gehen, nahm man in einem zweiten Experiment zwei Gr.-Detektoren, von denen einer mit einem Höhenstrahldetektor eng gekoppelt war, und beobachtete die dreifachen Koinzidenzen mit 30 sec Zeitauflösung. Während 220 h ereigneten sich 14 Koinzidenzen zwischen den beiden Gravitationsdetektoren, aber nicht eine einzige der 14 Anzeigen fiel mit einem Puls der Sintillatoren zusammen. Die Einflußnahme von durch die kosmische Höhenstrahlung ausgelösten Luftschauern auf die Zählwerte von Gravitationsdetektoren ist somit auszuschließen.

Was die Koinzidenzen zwischen den Gravitationsdetektoren der Universität Maryland und des Argonne Lab. betrifft — sie befinden sich in ca. 1000 km Abstand —, so liegt nun die volle Statistik über die Beobachtungsperiode von 300 Tagen (1. 1. bis 30. 11.) des Jahres 1969 vor. Bei gleichzeitiger Anregung der Detektoren wird die Amplitude der jeweiligen Schwingungen des Al-Zylinders gemessen. Natürlich gibt es auch Anregungen der einzelnen Detektoren, die miteinander nicht zeitlich zusammenfallen. Seien nun N_1 , N_2 die Anzahlen von Einzelanregungen pro Tag, bei denen die Amplitude des ersten bzw. des zweiten Detektors mindestens gleich ist der Amplitude bei Koinzidenzereignissen. Ferner sei t die Auflösungszeit des Gerätes und T_r die unter Berücksichtigung der Relaxationszeit reduzierte Beobachtungszeit in Tagen. Die Relaxations-

zeit ist die Zeitspanne, in der die Anregung eines Systems wieder abklingt. Während des Abklingens ist das Gerät gegen allfällige neuerliche Anregungen unempfindlich.) Die Zahl der je Tag zu erwartenden Koinzidenzen beträgt dann $\eta = 2t T_r N_1 N_2$. Das Ergebnis für 1969 lautet:

N_1	N_2	$\eta_{\text{theor.}}$	$\eta_{\text{beob.}}$
<10	<10	0,18	7
<40	<40	2,8	24
<80	<80	11	90
<100	<100	18	115

Die Verringerung der Auflösungszeit t von 0,30 sec (15. März bis 15. April) auf die Hälfte, d. s. 0,15 sec (16. April bis 16. Mai) blieb ohne Einfluß auf $\eta_{\text{beob.}}$:

N_1	N_2	$t = 0,30 \text{ sec}$	$t = 0,15 \text{ sec}$
<40	<40	$\eta_{\text{beob.}} = 1$	$\eta_{\text{beob.}} = 2$
<120	<120	$\eta_{\text{beob.}} = 9$	$\eta_{\text{beob.}} = 9$

Obwohl die Sprache dieser Zahlen kaum mehr übersehen werden kann, wurde auch ein Versuch mit verzögerter Koinzidenzschaltung zwischen den beiden Detektoren durchgeführt. Er dauerte 20 Tage, die Verzögerung betrug 2 sec. Wie die nachstehende Tabelle beweist, genügt diese geringfügige Zeitverschiebung, um Simultanereignisse auszuschließen:

N_1	N_2	$\eta_{\text{theor. mit Verzögerung}}$	$\eta_{\text{beob. mit Verzögerung}}$	$\eta_{\text{beob. ohne Verzögerung}}$
<100	<100	1,2	0	11
<200	<200	1,7	3	15
$N_1 \cdot N_2 < 6000$		3,2	3	18

In Anbetracht all dieser Versuche muß wohl die anfänglich weit verbreitete und durchaus berechtigte Skepsis aufgegeben werden, mit der das Unternehmen von J. Weber aufgenommen wurde. Die nächste brennende Frage ist die nach den Quellen und dem Erzeugungsmechanismus der Gravitationsstrahlung. Trotz der Schwierigkeiten, mit denen Richtungsbestimmungen zu rechnen haben, denkt man auch darüber schon nach. Es bestehen Anzeichen dafür, daß der Kern unserer Galaxis zeitweilig größere Massen ausstößt, wobei die Ungleichförmigkeit der auftretenden Massenbewegungen zur Schwerestrahlung führt, ganz analog dem Entstehen elektromagnetischer Wellen bei ungleichförmiger Ladungsbewegung (z. B. der Synchrotronstrahlung in ringförmigen Beschleunigungsanlagen).

Literatur:

1. Phys. Rev. Lett., 9. 2. 70, S. 276, J. Weber, Gravitational Radiation Experiments.
2. Phys. Rev. Lett., 27. 4. 70, S. 945, J. Weber et al., Insensitivity to Cosmic Rays of the Gravity Radiation Detector.

Sternbeben bei Pulsaren

Pulsare sind Himmelskörper, von denen wir in ungemein regelmäßigen Abständen kurzdauernde Pulse von elektromagnetischer Strahlung (zumeist in Form von Radiowellen) empfangen. Die bis jetzt erforschten Eigenschaften der seltsamen Objekte stützen die Hypothese, daß es sich bei ihnen um rasch rotierende Neutronensterne mit ungeheuer starken Magnetfeldern handeln könnte, die aus kleinen Bereichen ihrer Oberfläche Strahlung in einen schmalen Kegel emittieren. Wie ein Drehleuchtfieber trifft der Strahlenkegel im Laufe jeder Drehung einmal die Erde, er fegt sozusagen über sie hinweg.

Die mit der Ausstrahlung verbundenen Energieverluste des Himmelskörpers verlangsamen allmählich die Rotation, die Pulsperiode wird größer. Um so überraschender wirkte die Meldung, daß man beim Krebsnebel- und beim Vela-Pulsar eine plötzliche sprunghafte Verkürzung der Periode beobachtet hatte. Nach dem Ereignis zeigten die Periodendauern in beiden Fällen wieder dasselbe überaus langsame Anwachsen wie vorher.

Eine ziemlich einleuchtende Deutung des Phänomens gaben R. Smoluchowski und D. O. Welch (Univ. Princeton). Sie legen ihren Rechnungen ein Zweikomponentenmodell der Pulsare zugrunde, bei dem die supraflüssige

und supraleitende Zentralregion von einem festen superdichten Mantel umschlossen wird. Als physikalische Parameter des Mantels werden angesetzt:

Temperatur $T \approx 10^8 \text{ K}$ (trotzdem feste Kruste!)

Schmelztemperatur $T_s \approx 10^{10} \text{ K}$

Debyetemperatur $T_D \approx 1,5 \cdot 10^9 \text{ K}$

Dichte $\rho \approx 10^{13} \text{ g/cm}^3$

Schubmodul $\mu \approx 10^{30} \text{ dyn/cm}^2$

Mittlerer Kernabstand $\approx 5 \cdot 10^{-12} \text{ cm}$

Kubisches, raumzentriertes „metallisches“ Gitter.

Ferner lauten die verwendeten Pulsardaten für den

Krebsnebel-P.	Vela-P.
---------------	---------

Radius	14,6 km
--------	---------

Innerer Radius	unbekannt, aber kleiner als 8,4 km
----------------	------------------------------------

Masse	$0,30 \cdot M_{\text{Sonne}}$
-------	-------------------------------

Zentrale Dichte	$3,2 \cdot 10^{14} \text{ g/cm}^3$
-----------------	------------------------------------

Dzt. Winkelgeschw.	190 sec^{-1}
--------------------	------------------------

	70 sec^{-1}
--	-----------------------

Infolge der abnehmenden Winkelgeschwindigkeit vergrößern sich die Fliehkräfte, was zu starken inneren Spannungen führt. Solange diese durch Deformationen aufgefangen werden, ändert sich die Winkelgeschwindigkeit des Pulsars stetig. Einerseits verringert der Abbau der Abplattung eine Massenverlagerung gegen die Drehachse hin, verursacht also eine Verkleinerung des Trägheitsmoments und damit eine Erhöhung der Winkelgeschwindigkeit (Erhaltung des Drehimpulses!). Andererseits ruft die Energieemission den konträren Effekt hervor, die Winkelgeschwindigkeit sinkt. Da der zweite Effekt überwiegt, nimmt die Länge der Pulsarperiode zu.

Wenn aber das Krustenmaterial oder zumindest sein äußerster Teil spröde ist oder wenn die Schubspannungen einen kritischen Wert überschreiten, tritt Materialbruch ein. Der damit verbundene ruckartige Spannungsausgleich läßt sich wohl am besten (in Analogie zu den unstilligen Spannungsausgleichen in der Erdrinde) als Sternbeben bezeichnen.

Trotz der weitgehend hypothetischen Natur der verschiedenen den Rechnungen zugrunde gelegten Annahmen können doch rechnerische Abschätzungen gefunden werden, die die daran geknüpften Überlegungen eines rein spekulativen Charakters entkleiden. Durch die Anwendung der Elastizitätstheorie sahen sich die Autoren zur Auffassung gezwungen, daß die zum überwiegenden Teil plastisch deformierbare Kruste von einer dünnen und spröden Schale nach außen abgeschlossen wird, deren Temperatur um etwa eine Größenordnung die Temperatur des darunterliegenden Hauptanteiles des Mantels unterschreitet.

Wegen der Unmöglichkeit, auch nur annähernd die wahren Vorgänge im Labor zu reproduzieren, hat man das Verhalten von Metallen herangezogen und daran Analogieschlüsse geknüpft. Überträgt man das vermutete Verhältnis zwischen der (tieferen) Temperatur der spröden Krustenfläche zur Schmelztemperatur der Pulsarkruste auf gewöhnliche Metalle, so gelangt man bei den letzteren in den Bereich um etwa 10 K. Glücklicherweise ist das elastische Verhalten der Metalle Cd und Hg bis hinunter zu 2 K gut untersucht. Für Cd gilt beispielsweise:

$$T_s = 593 \text{ K}, T_D = 165 \text{ K}, \mu = 2 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Demnach besteht die Möglichkeit einer (zugegebenermaßen recht kühnen) Extrapolation. Angesichts der enormen Dichte genügen bereits plötzliche Verlagerungen von nur 1 cm oder weniger, um ein Sternbeben hervorzurufen, dessen Wirkungen über tausende Lichtjahre deutlich bis zu unserer Erde dringen.

Die Unsicherheit bezüglich der benutzten Daten macht Prognosen über die Zeitspanne zwischen sukzessiven Sternbeben schwierig. Man glaubt jedoch sagen zu dürfen, daß diese Zeitspanne für Krebsnebel- und Vela-Pulsar nicht unter einigen und nicht über hundert Jahren liegen mag. Die große Dichte bewirkt trotz der ebenso gewaltigen Fliehkräfte nur eine sehr geringfügige Abplattung der Pulsare.

Literatur:

1. Phys. Rev. Lett., 20. 4. 70, S. 923, R. Smoluchowski, Frequency of Pulsar Starquakes.
2. Phys. Rev. Lett., 25. 5. 70, S. 1191, R. Smoluchowski, D. O. Welch, Progressive Deformation of the Crust of Pulsars.

Die Strahlenkrümmung im Schwerefeld der Sonne

Zu den wenigen Effekten, die von der Allgemeinen Relativitätstheorie abweichend von den Prognosen im Rahmen der klassischen Physik vorausgesagt werden und die zugleich groß genug ausfallen, um gerade noch festgestellt werden zu können, gehört die Ablenkung elektromagnetischer Wellen in Gravitationsfeldern. Das im Vergleich zum Erdfeld rund 28 mal stärkere Schwerefeld der Sonne (der Vergleich bezieht sich natürlich auf die nahen Umgebungen der Objektoberflächen) müßte Lichtstrahlen, ebenso Radiowellen, Röntgen- und Gammastrahlen usw. ablenken, falls diese, von fernen Himmelskörpern kommend, fast streifend an der Sonnenoberfläche vorbeigehen. Die Einsteinsche Theorie errechnet den Ablenkinkel $1,77''$, etwas abweichend von der Skalar-Tensor-Theorie (Dicke-Brans), die $1,63''$ fordert.

Bis jetzt gab es nur eine Möglichkeit, die Prognose zu überprüfen: Photographie des Sternfeldes rund um die total verfinsterte Sonne und nachfolgender Vergleich mit den Aufnahmen derselben Gegend in den großen Himmelsatlanten. Totale Finsternisse sind an sich seltene Ereignisse, zudem müssen manchmal schwer zugängliche Gegenden aufgesucht werden, weil die Totalitätszone dort verläuft. Die Astronomen sind daher von dieser Methode nicht allzu begeistert.

Durch den grandiosen Aufschwung der Radioastronomie und der damit verbundenen interferometrischen Methoden hat sich ein neues Verfahren zur Bestimmung des kritischen Ablenkwinkels abgezeichnet, von dem nun zum erstenmal erfolgreich Gebrauch gemacht wurde und das den Gegenstand der weiteren Ausführungen bilden soll. Der Vorteil der Meßweise liegt im Fortfall der optischen Blendung (die Radioemission der Corona stört viel, viel weniger), also in der Aufhebung der Beobachtungseinschränkung auf die Totalitätsphasen der Sonne.

Sobald zwei punktförmige kosmische Radioquellen, etwa zwei Quasare,

- a) geringen sphärischen Abstand haben,
- b) genau lokalisierbar sind und
- c) so zur Ekliptik liegen, daß die Sonne während ihrer jährlichen scheinbaren Wanderung über den Himmel dem einen der beiden Objekte sehr nahe kommt (eventuell es bedeckt), nicht aber dem anderen,

dann läßt sich aus den Änderungen des Winkelabstandes der zwei Quasare im Verlauf der maximalen Annäherung auf den Ablenkinkel schließen. Im Oktober 1969 waren die Voraussetzungen für das Verfahren erfüllt. Die Objekte 3C273 und 3C279 entsprachen den Bedingungen a) bis c): Ihr Winkelabstand beträgt nur $9^{\circ}30'$, die Positionen sind genau bekannt, 3C279 näherte sich dem Sonnenzentrum am 7. Okt. 69 auf 1,2 Sonnenradien, während 3C273 von Z ständig weiter als 21 Sonnenradien entfernt blieb.

Die Beobachtungen erfolgten unter Benützung verschiedener Formeln durch zwei unabhängige Gruppen. Das eine Team (Seielstad, Sramek, Weiler) benützte das Radiointerferometer des Owens Valley Radio Observatory, das zweite (Muhleman, Ekers, Fomalont) arbeitete mit dem Interferometer der Goldstone Tracking Station. Beide Gruppen kamen zu ausgezeichneten übereinstimmenden Befunden. Die erste fand als Ablenkinkel $(1,77 \pm 0,70)''$, die zweite einen Wert, der sich nicht stärker als um den Faktor 1,04 vom Einsteinwert (ebenfalls nach oben) unterscheidet. Obwohl die Fehlergrenze noch nicht klein genug ist, um eine klare Entscheidung zugunsten der Einstein- oder Dicke-Brans-Theorie herbeizuführen, wird infolge der Gleichheit beider Abweichungsvorzeichen die Gültigkeit der Dicke-Brans-Theorie ein wenig unwahrscheinlicher.

A. Owens Valley Radio Observatory. Das Interferometer umfaßt zwei Antennen A, B von 27 m und 40 m Durchmesser. Der Abstand AB ist 1066,2060 m, als Arbeitsfrequenz wählte man 9,602 GHz, weil diese hohe Winkelauflösung und sehr geringen Einfluß der coronaren Radiostrahlung garantieren. Die Radiowellen von den beiden Quellen erreichen die Antennen A, B mit unterschiedlichen Phasen. Das Interferometer mißt die Phasendifferenz Δ_3 , mit der die Wellen von 3C273 in A bzw. in B einlangen, und — nach Schwenkung der Antennen auf das

zweite Objekt — auch die Phasendifferenz Δ_9 , der von 3C279 ausgehenden Radiowellen. Solange die Sonne distant ist, bleibt die Differenz D der Phasendifferenzen $D = \Delta_3 - \Delta_9$ zeitlich konstant. Zahlreiche Überprüfungen, die schon im vorangehenden Juni, aber auch in den Tagen vor und nach der stärksten Annäherung im Oktober 69 vorgenommen wurden, bestätigten diese an sich selbstverständliche Erwartung. Zwischen dem 6. und dem 9. Oktober jedoch, den Tagen des fast streifenden Vorbeiganges der Strahlen am Sonnenrand, zeigten sich wie vorausgesehen, Veränderungen des Wertes von D. Glücklicherweise hatten, das erwiesen zahlreiche Testmessungen, weder die Schwenkungen der Antennen noch die unvermeidlichen Spannungsschwankungen der Signale zur Phasenstabilisierung Einfluß auf die Größe D. Zwecks Bestimmung von D wurden die Antennen alle 7 min von einem Quasar zum anderen geschwenkt. Im Laufe von 100 Beobachtungsstunden sammelten die Astronomen von Owens Valley 900 zuverlässige D-Werte, aus denen sie nach drei verschiedenartigen Verfahren die Winkelablenkung berechneten. Mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate erhielten sie Tag für Tag eine Kurve im Phasendifferenz-Zeit-Diagramm. Sie erschien in den kritischen Tagen deutlich verschoben.

B. Goldstone Tracking Station. Die Durchmesser der beiden Antennen des Goldstone-Interferometers sind 64 m und 26 m, der Antennenabstand beträgt 21,566 km. Der Objektwechsel seitens der Antennen erfolgte ein wenig rascher, nämlich alle 5 min, u. zw. in der Reihenfolge 3C273—3C279—3C273, was von sehr günstigem Einfluß auf die Meßgenauigkeit war. Langsam veränderliche Störungen konnten nämlich kaum zur Geltung kommen. An den Beobachtungstagen, dem 2., 4., 6. und 10. Oktober, fanden die Messungen zwischen 13^{h} und 17^{h} lokaler Sternzeit statt. 88 Phasendifferenzen wurden ermittelt. Rechenziel war der Faktor γ , der das Verhältnis von beobachtetem zum Einsteinwert der Winkelablenkung angibt. Die Gedankengänge zur Bestimmung von γ unterschieden sich wesentlich von den formelmäßigen Grundlagen beim ersten Team. Die wirksamste unter mehreren Kontrollen stützte sich auf die simulierte Berechnung von γ aus bestimmten Daten, denen noch eine Gaußsche Fehlerfunktion der Störungen überlagert wurde. Mit $\gamma = 1,04 + 0,15 - 0,10$ deckt sich das Ergebnis dieser mit dem der erstgenannten Forschergruppen recht gut.

Literatur:

1. Phys. Rev. Lett., 15. 6. 70, S. 1373, G. A. Seielstad, R. A. Sramek, K. W. Weiler, Measurement of the Deflection of 9,602 GHz Radiation from 3C279 in the Solar Gravitational Field.

2. Phys. Rev. Lett., 15. 6. 70, S. 1377, D. O. Muhleman, R. D. Ekers, E. B. Fomalont, Radio Interferometric Test of the General Relativistic Light Bending Near the Sun.

Extreme Rotverschiebung bei Quasar 4C 0534

(Ergänzung zum letzten Physikartikel in Nr. 23 der Wiss. Nachr.)

Die Zeitschrift „Nature“ brachte am 9. 5. 70 (S. 532, R. Lynds, D. Wills, The Unusually Large Redshift of 4C0534) die aufsehenerregende Meldung, daß man am Kitt Peak Observatory (USA) die Rotverschiebung $z = 2,877$ anlässlich des Studiums von fünf Spektrogrammen der Radioquelle 4C0534 festgestellt hat. Das Objekt wurde kurz vorher optisch identifiziert und ist zweifelsfrei ein Quasar. Seine Koordinaten: Rektasz. 08 h 05 min, Deklination $+05^{\circ}00'$.

Sollte es sich um die Dopplerverschiebung (Hubbleeffekt!) handeln, dann entspräche auf Grund der Beziehung

$$z + 1 = 1/\sqrt{1 - \beta^2}, \quad \beta = v/c, \quad z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0,$$

dem z-Wert 2,877 die Fluchtgeschwindigkeit

$$v = 287,00 \text{ km/sec},$$

das ist um nur 10000 km/sec weniger als die Lichtgeschwindigkeit!

Eine eindeutige Distanzangabe auf Grund der Hubblebeziehung ist nicht möglich, weil diese in extremen Entfernung nicht mehr linear ist, vielmehr vom kosmologischen

schen Parameter q abhängt. Setzt man für q die Zahl 1 ein, so folgt daraus eine mit den hellsten Quasaren vergleichbare absolute Helligkeit. Die Energieemission ist natürlich frequenzabhängig. Sie beträgt für

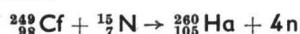
$$2500 \text{ Å} \dots 1 \cdot 10^{25} \text{ W/Hz},$$

$$500 \text{ Å} \dots 8 \cdot 10^{27} \text{ W/Hz}.$$

Vergleichsweise strahlt die Sonne im gesamten Spektralgebiet ca. $5 \cdot 10^{26}$ W ab. Für eine (sicher zu klein) angenommene Bandbreite von $3 \cdot 10^{15}$ Hz gäbe dies im Mittel lediglich weniger als $2 \cdot 10^{11}$ W/Hz. (Genaueres ist nachzulesen in „Canad. J. Phys.“, Bd. 46, S. 437, Artikel von L. E. Peterson, A. S. Jacobson, R. M. Pelling, D. A. Schwartz.)

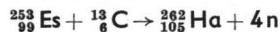
Hahnium – Element Nr. 105

Die Transuranforschung darf einen neuen großen Erfolg buchen, Albert Ghiorso und Mitarbeiter haben im LRL (Lawrence Radiation Lab.) das Element mit der Kernladungszahl $Z=105$ erzeugt und eindeutig nachgewiesen. Zu Ehren des Entdeckers der Uranspaltung Otto Hahn wurde die Bezeichnung Hahnium vorgeschlagen. Die Erzeugungsreaktion



gelang mit Hilfe des Schwerionenbeschleunigers HILAC in Berkeley, der imstande ist, Stickstoffkerne der Massenzahl 15 (also vollständig ionisierte ^{15}N -Atome) in genügender Menge auf die respektable Energie von 156 MeV zu beschleunigen. Der Name des Teamleiters Ghiorso ist längst weltbekannt, ist doch er bereits an der Entdeckung der Transurane von $Z=95$ bis $Z=104$ beteiligt gewesen. G. Seaborg, der Altmeister der Transuranforschung, verfolgte die Arbeiten mit Interesse und stand der Gruppe mit wertvollen Ratschlägen zur Seite.

Das α -instabile Nuklid ^{260}Ha hat die Halbwertzeit $\tau = (1,6 \pm 0,3)$ sec. Die Energien der bei seinem Zerfall emittierten α -Teilchen sind 9,06 MeV (bei 55% der Zerfallereignisse), 9,10 MeV (bei 25%), 9,14 MeV (bei 20%). Im Laufe der Syntheseversuche entstand ungefähr alle 10 min ein Ha-Kern. Theoretische Überlegungen geben zur Vermutung Anlaß, daß das Ha-Isotop mit der Massenzahl 262 die wesentlich höhere mittlere Lebensdauer von 1 bis 2 min hat. Die Berkeley-Leute planen daher, Einsteinum als Target zu nehmen und mittels C-Ionenbeschuß die Reaktion



einzuleiten. Sollte die Lebensdauer von ^{262}Ha tatsächlich in der Größenordnung von Minuten liegen, könnte sogar an die Untersuchung der chemischen Eigenschaften des Elementes geschritten werden.

Das Target bestand aus einer hauchdünnen Schicht von $0,3 \text{ mg/cm}^2$ ^{249}Cf vom Durchmesser 4,7 mm. Die Intensität des ^{15}N -Ionenstromes war $4 \mu\text{A}$. Die notwendige Energie- milderung der N-Ionen auf 85 MeV erfolgte durch Anbringung eines Be-Bremmers ganz nahe vor dem Target. Infolge der hohen Geschoßenergien flogen die Partner einer Ha-Reaktion sofort wieder vom Target weg. Sie gelangten — die geometrische Anordnung sorgte dafür — für eine kurze Strecke in He von 620 Torr, das von einer Pumpe abgesaugt wurde und die interessierenden Partikeln durch eine kleine Öffnung in einen mäßig evakuierten Raum eintreten ließ. In diesem Raumteil befand sich ein Rad von 45 cm Durchmesser, in dessen Umfang die Partikeln stecken blieben. Auf Grund ihrer Instabilität zerfallen sie nach einiger Zeit unter α -Emission. Jedes deponierte Nuklid läßt sich — soferne es kein Ha-Kern ist — nach der Energie der von ihm ausgesandten α -Teilchen sowie aus der Zeitabnahme seiner Aktivität einwandfrei identifizieren. Um diese Möglichkeit auszunützen, drehte sich das Rad von Zeit zu Zeit weiter, bis das eben angelegte Depot einem Si-Au- α -Detektor gegenüberlag, wo es einige Zeit verharrte. Dieser „Mutter“-Detektor verschob sich zu einem gleichartigen „Tochter“-Detektor, um aus den Anzeigen beider die Energie der α -Teilchen und daraus weiter die Natur der Nuklide auf dem Rad zu erkunden. Die interessierenden α -Energien lagen im Bereich von 6 bis 12 MeV. Man benützte einen Diskriminatoren von 512 Kanälen und konnte den Fehler mit 20 keV begrenzen. (Jedes α -Teilchen löste nur in dem Kanal ein Signal aus, der seinem Energiewert entsprach.)

Das Rad drehte sich von einer zur nächsten von 5 Positionen, die in Winkelabständen von 39° mit je 2 Mutter- und je 2 Tochterdetektoren besetzt waren. Die Signale speicherte ein PDP-Computer. Die einzigen, keinem bekannten Nuklid zuschreibbaren α -Energien waren 9,06; 9,10; 9,14 MeV. Die zeitliche Intensitätsabnahme dieser α -Emissionen entsprach 1,6 sec Halbwertzeit. Da die α -Teilchen auch von den durch weiteren Zerfall entstehenden Radionukliden stammen könnten, war eine sorgfältige, alle Möglichkeiten berücksichtigende Analyse durchgeführt worden, die keine Zweifel an der Produktion von Ha mehr zuläßt. Um sich z. B. auch von der Unschädlichkeit allfälliger Pb- oder Hg-Beimengungen zu überzeugen, beschloß man diese Elemente mit ^{15}N -Ionen, ohne eine für Ha typische Reaktion zu finden. Mit Ha wurde das 13. Transuran und das 16. künstliche Element erzeugt.

Literatur:

1. Phys. Rev. Lett., 29. 6. 70, S. 1498, A. Ghiorso et al., New Element Hahnium, Atomic Number 105.
2. Sient. Am., Juni 70, S. 48, Upward and Hahnward.

Buchbesprechung

H. Melcher, Transmission und Absorption — ein allgemeines Gesetz für ionisierende Strahlungen. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1970. 206 S., 90 Abb., 25 Tabellen.

Der Autor, Dr. habil. Horst Melcher, ist den Lesern der „Wiss. Nachr.“ von früheren Rezensionen über seine Beiträge im „Handbuch der experimentellen Schulphysik, Bd. Atomphysik“ und über sein kristallklares Buch über „Relativitätstheorie in elementarer Darstellung“ in bester Erinnerung. Nun liegt von ihm eine neue Arbeit vor, die den Durchgang ionisierender Strahlung durch und deren Absorption in Materie zum Gegenstand hat. Nach historischen Rückblicken und kritischen Diskussionen älterer sowie neuerer diesbezüglicher Arbeiten werden Begriffe erläutert, Tatsachen in Form zahlreicher Meßergebnisse anderer Forscher vor dem Leser ausgebreitet und die Unzulänglichkeiten bisheriger Ansätze teils physikalisch, teils mathematisch begründet. Die von Melcher entwickelten Gedankengänge übersteigen nicht allzusehr das mathematische Werkzeug der Abiturienten. Sie vermitteln jedoch interessante Einblicke in Methoden, die es gestatten, mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie und durch Benützen von Näherungsmethoden auch dort zu physikalisch brauchbaren Resultaten zu kommen, wo die Anwendung strenger Rechenverfahren aussichtslos ist.

Das Buch behandelt konkret Elektronen-, Alpha- und Röntgenstrahlung in Wechselwirkung mit gleichmäßig verteilter Materie, also deren Transmissionskurven, Wirkungsquerschnitte usw. sowohl theoretisch als auch im Hinblick auf das Experiment. Die Untersuchungen beschäftigen sich mit homogenen und mit inhomogenen Strahlen. Am Schluß findet sich eine Zusammenfassung, die in 23 Punkten gegliedert ist, ein Verzeichnis der verwendeten Symbole sowie ein nicht weniger als 303 Hinweise enthaltendes Literaturverzeichnis. Das Buch wird jedem Physiker, der in irgendeiner Form mit Strahlung befaßt ist, von größtem Nutzen sein. Es wäre zu überlegen, ob man in einer späteren Ausgabe nicht auch noch einige quantitative Ratschläge für Röntgenologen beifügen sollte, allerdings in einer für ihn verständlichen Form, die keine mathematischen Vorkenntnisse voraussetzt.

Walter Kranzer

Kurznachrichten

Zwei Isotope von Element 104 nachgewiesen. Der Nachweis noch unbekannter Transurane gehört zu den schwierigsten Aufgaben der experimentellen Atomphysik, weil im Gebiete höchster Kernladungszahlen die mittlere Lebensdauer der Nuklide auf wenige Sekunden, ja mitunter sogar auf Bruchteile von Sekunden sinkt. Trotzdem gelingt es dem Scharfsinn und dem Geschick der Forscher, selbst rasch zerfallende Kerne an Hand ihrer charakteristischen Zerfallsstrahlung oder derjenigen ihrer Tochterkerne zu identifizieren. Nun hat diese Methode bei dem Element mit der Kernladungszahl 104 Erfolg gehabt, indem der Nachweis von zwei Isotopen mit Sicherheit und der

eines weiteren Isotopes mit einiger Wahrscheinlichkeit gelang. Die Situation dürfte sich bei den noch höheren Kernen vermutlich allmählich günstiger gestalten, weil bekanntlich in der Nähe der Kernladungszahlen 110, 114 erheblich höhere Stabilität zu erwarten ist. Das in der Transuranforschung bereits hochbewährte Team von A. Ghiorso und Mitarbeitern hat zu Anfang 1969 das Transuran ^{249}Cf mit ^{12}C - und ^{13}C -Ionen beschossen und die Nuklide

^{259}Fm sowie ^{259}No

erzeugt. Das leichtere Isotop besitzt die Lebensdauer $(4,5 \pm 0,1)$ sec, ist α -instabil mit einem sehr komplizierten Energiespektrum (8,70; 8,78; 8,95; 9,00 MeV) der emittierten α -Teilchen. ^{259}No hat 3 sec Halbwertzeit. Das dritte, noch fragliche Isotop könnte ^{258}No sein und in (11 ± 2) msec durch spontane Spaltung zerfallen. Die auf das Target von 60 μg Masse und 21 mm^2 Fläche eingeschossenen Kohlenstoffionen kamen aus dem Schwerionenbeschleuniger HILAC (Heavy Ion Linear Accelerator) von Berkeley. Sie waren vollständig der Elektronenhülle beraubt und wirkten einige 1000 Mikroamperestunden auf das Target ein. Neben C-Ionen kamen auch Ionen ^{11}B , ^{14}N , ^{15}N , ^{16}O als Geschosse zum Einsatz. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 16, 6, 69, S. 1317, A. Ghiorso et al., Positive Identification of two α -Particle Emitting Isotopes of Element 104.)

Elementverteilung bei den Höhenstrahlteilchen. Die chemische Zusammensetzung der primären Höhenstrahlteilchen ist für Astrophysiker und Kosmologen von großer Bedeutung, denn aus ihr lassen sich manche Schlüsse ziehen, die Licht in die Problematik der Sternentwicklung und der Herkunft der kosmischen Ultrastrahlung zu bringen versprechen. Bis zur Energie von 10^{12} eV/Partikel reichten Ballonmessungen zur chemischen Identifi-

cierung aus, die mit Kernspuremulsionen vor sich ging. Unter den 10^{12} eV-Kernen befinden sich 49% Protonen, 26% He, 2% Li + Be + B, 11% Nuklide der Kernladungszahlen $6 \leq Z \leq 9$, 5% mit $10 \leq Z \leq 19$, 7% mit $Z > 20$.

Für höhere Energien als 10^{12} eV mußte aus den charakteristischen Daten der von der kosmischen Primärkomponente ausgelösten Luftschauder, also aus der Zahl, Art, Raum- und Energieverteilung der Sekundärteilchen auf die Natur der eingeschossenen Kerne geschlossen werden. Das geschah auf recht originelle Weise. Auf dem Mte. Chacaltaya nahe der bolivianischen Stadt La Paz befindet sich eine Anlage mit 15 mosaikförmig über eine Fläche von 60 m^2 verteilten Detektoren von je 4 m^2 Fläche. Bei den Detektoren handelt es sich um Szintillatoren, die mit Blei, Bleiglanz und Beton abgeschirmt sind. Sie eignen sich zur Untersuchung von sekundären Myonen und instabilen Sekundärkernen. Das Experiment läuft unter dem Namen BASJE (=Bolivian Air Shower Joint Experiment). Die Anlage ermittelte die realen Verhältnisse. Parallel mit den Messungen berechnete man die Parameter der Sekundärteilchen mittels eines Computers, der der Reihe nach mit verschiedenen angenommenen Primärverteilungen gespeist wurde. Der Vergleich von realer und simulierter Sekundärverteilung zeigte, ob das jeweilige theoretische Modell mit dem realen BASJE-Ergebnis verträglich ist. Zwei bemerkenswerte Feststellungen konnten getroffen werden: 1. Die Primärteilchen sind nicht lauter Protonen, weil weniger als 30% der für die Bildung von Nukleon-Antinukleon-Paaren verfügbare Energie hierzu verwendet wurde. 2. Ebenso wenig kann die Primärkomponente nur aus Fe-Kernen oder nur aus Nukliden mit Kernladungszahlen über $Z = 14$ bestehen. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 5, 5, 69, S. 960, S. A. Rappaport, H. V. Bradt, Chemical Composition of Primary Cosmic Rays at 10^{15} eV.)

BILD DER WISSENSCHAFT, 12 Hefte, DM 42.— plus Porto, Deutsche Verl.-Anst., 7 Stuttgart 1, Neckarstraße 121—125, BRD

DIE NATURWISSENSCHAFTEN, 24 Hefte, DM 72.— plus Porto, Die Naturwissenschaften, 69 Heidelberg, Postfach 1780, BRD

PHYSIKALISCHE BLÄTTER, 12 Hefte, DM 52.— plus Porto, Physik Verlag, D-6950 Mosbach, Baden, BRD

STERNE UND WELTRAUM, 12 Hefte, S 216.— plus Porto, Bibliograph. Institut, 6800 Mannheim 1, Postfach 311, BRD

UMSCHAU IN WISSENSCHAFT UND TECHNIK, 24 Hefte, DM 72.— einschl. Porto. Für Schulen und Lehrer DM 60.—. Für Schüler und Studenten DM 54.—. Umschau Verlag 6000, Frankfurt/Main, Stuttgarter Straße 18—24, BRD

CERN-COURIER (wahlweise in engl. oder franz. Sprache), 12 Hefte, kostenlos auf Verlangen interessierter Stellen, Publ. Inform. Office CERN, 1211 Genf 23, Schweiz

NATURE, 52 Hefte, 45 0d pro Stück, Mac Millan (Journals) Ltd., 4 Little Essex Street, London W. C. 2, GB

PHYSICS TODAY, 12 Hefte, \$ 5.—, American Inst. of Physics, 335 East 45th Street, New York, N. Y. 10017, USA

SCIENTIFIC AMERICAN, 12 Hefte, \$ 10.—, Scientific American Inc., 415 Madison Ave., New York, N. Y. 10017, USA

SKY AND TELESCOPE, 12 Hefte, \$ 9.—, Sky Publishing Corporation, 49-50-51 Bay State Road, Cambridge, Mass. 02138, USA

PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN, 12 Hefte, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln, Antwerpener Straße 6—12, BRD. Teil A: Physik und Chemie, Teil B: Biologie, Teil C: Biologie und Chemie. Jahresbezugspreis Teil A und Teil C je DM 28.80 plus Porto, für Studenten und Vertragslehrer DM 22.80 plus Porto. Jahresbezugspreis Teil B DM 20.30, für Studenten und Vertragslehrer DM 15.60

CHEMIE IN UNSERER ZEIT, 6 Hefte, DM 18.— plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 Weinheim, Bergstraße, Pappelallee 3, BRD

PHYSIK IN UNSERER ZEIT, 6 Hefte, DM 24.— plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 Weinheim, Bergstraße, Pappelallee 3, BRD

Piezokristalle als Teilchendetektoren. Wie R. Hofstadter mitteilte (Phys. Rev. Lett., 28. 7. 69, S. 184, B. L. Berger, R. Hofstadter, Generation of Mechanical Vibrations by Penetrating Particles), konnten in Blei-Zirkonat-Titanat-Scheiben von ca. 12 mm Dicke beim Einfall von Elektronenstrahlen mit Energien in der Größenordnung 1 GeV mechanische Schwingungen erzeugt werden, die piezoelektrisch zu Spannungssignalen gewandelt und durch Verstärkung erfassbar gemacht wurden. Damit zeichnet sich ein neuer Weg zur Teilchenidentifizierung ab. In einer evakuierten Kammer befand sich ein Al-Behälter, der seinerseits 4 polarisierte, zwecks gegenseitiger akustischer Isolierung an Gummifäden aufgehängte, parallel angeordnete Scheiben aus dem eben angeführten keramischen Material enthielt. Die Scheiben waren so geschaltet, daß sie dem einfallenden Elektronenstrahl die elektrisch negative Seite zuwandten. Die Eigenfrequenzen der Scheiben waren 40 kHz (radial) und 158 kHz (kompressional). Der gepulst erzeugte Elektronenstrahl ($3 \times 3 \text{ mm}^2$ Querschnitt, Pulslänge 1 μsec , Pulsintensität 10^4 – 10^6 Elektronen je Puls) gab etwa 30% seiner Energie an die Scheiben ab, die dadurch zu Schwingungen — allerdings mit nur $2 \cdot 10^{-8}$ 80% Wirkungsgrad — angeregt wurden. Die Pulse mit $4 \cdot 10^6$ e[–]/Puls und 1 GeV/Elektron führten zu Spannungssignalen von 0,125 mV. Der Mechanismus der Vorgänge ist noch nicht klar. Es könnte so sein, daß der e[–]-Strahl in den Scheiben heiße Zonen hervorruft, von denen Schockwellen ausgehen, die Schwingungen veranlassen. Merkwürdigerweise geben Strahlen von 0,2 GeV-Elektronen zu stärkeren Vibrationen Anlaß als solche mit 1-GeV-Elektronen. Vielleicht findet aber auch eine direktere Energieumwandlung statt. Noch ist es nicht möglich, einzelne Elektronen nachzuweisen, doch wird das angestrebt. Dazu wird man wohl bei tiefen Temperaturen arbeiten müssen (Reduktion des Rauschens) und durch Zerhacken des einfallenden Strahls (z. B. bei Beobachtung von Luftschaubern, die von hochenergetischen kosmischen Primärteilchen stammen) im Rhythmus der Kristalleigenfrequenz Resonanzeffekte hervorrufen. Es wird angenommen, daß auch andere Partikeln als Elektronen zu den gleichen Erscheinungen führen. (Bis jetzt diente der Mark-III-Beschleuniger von Stanford als Elektronenquelle.)

Röntgenstreuung als mögliches Mittel zur Teilchenidentifizierung. Sobald ein Teilchenstrahl Materie durchdringt, tritt elektromagnetische Strahlung als Begleiterscheinung von Brems- und Streuvorgängen auf. Die Wellenlänge und die Intensität der Streustrahlung hängen von der Natur des Targets und der Teilchen sowie von deren Energie ab. Der Streuanteil im optischen Bereich variiert mit $\log \gamma$, wobei $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$, $\beta = \frac{v}{c}$ gilt. Nähert sich die Teilchengeschwindigkeit c , geht also β gegen 1, dann unterliegt $\log \gamma$ kaum mehr größeren Veränderungen. Hingegen zeigte sich am Brookhaven Nat. Lab., daß die Intensität im Röntgenbereich proportional zu γ selbst schwankt, was eine ungleich höhere Empfindlichkeit bedeutet. (Ist d der Bruch $(c - v)/c$, dann ist $\log \gamma$ proportional zu $\log(2d)$, hingegen γ proportional zu $1/d$.) In Brookhaven ließ man 231 Al-Folien von 0,025 mm Dicke, die im Abstand von 0,3 mm parallel angeordnet waren, von Positronen mit 2 GeV Energie durchdringen. Jedes dieser Positronen erzeugt im Mittel 12 Röntgenphotonen. Der Nutzen des Effektes für die Hochenergiephysik liegt darin, daß die Masse relativistischer Teilchen ($m = m_0 \cdot \gamma$) ebenfalls linear mit γ anwächst, daß also ein Röntgenstreuendetektor der geschilderten Art ein ausgezeichnetes Gerät zur Massenbestimmung monoenergetischer Partikeln wäre. Durch Kombination mit einem Energieleßgerät, wäre die zuverlässige Massenbestimmung hochrelativistischer Teilchen möglich. Da zur Kalibrierung die 20 GeV-Elektronen des Stanford-Beschleunigers SLAC zur Verfügung stehen, könnte man bis in das Gebiet von $3,6 \cdot 10^{13}$ eV-Protonen vorstoßen. (Lit.: Phys. Rev. Lett.)

Der elektrische Widerstand von flüssigem Kupfer. Hochschmelzende Metalle setzen der Bestimmung des Widerstandes der flüssigen Phase fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen. Die Methode der „explodierenden Drähte“ hat jedoch im Falle des Kupfers doch zu brauchbaren Ergebnissen geführt, die übereinstimmen mit den theoretischen Werten, die sich aus der Modellvorstellung

nach Ziman, Percus und Ashcroft ergeben, gut übereinstimmen. Der Durchgang genügend hoher Stromdichten bringt Drähte fast augenblicklich zum Verdampfen (exploding wires). Während einer ganz kurzen Zeitspanne muß der Draht in flüssiger Form existieren, die von der Schwerkraft nicht zerstört wird, weil der Fallweg etwa in einer msec lediglich 0,005 mm beträgt. Zur Widerstandsmessung ist die Kenntnis der Drahtlänge, des Drahtquerschnittes und der Stromstärke erforderlich. Die Drahtlänge steht von Anfang an fest. Die Messung der Stromstärke bietet heute auch bei der Forderung nach höchster Zeitauflösung kein Problem — man denke an die Schaltgeschwindigkeiten für die extrem hohen Stromstärken in den modernen Beschleunigungsanlagen. Bleibt der Durchmesser des Drahtes als unbekannter Parameter übrig. Ihn findet man durch Messung des Drahtschattens, dessen Dicke bei Röntgenbestrahlung während der Explosion verfolgt wird. Das Ergebnis lautet (Dichte in der Einheit 10^{22} Moleküle/cm³, spezifischer Widerstand in Milliohm·cm):

Dichte:	3,3	3,0	2,0	1,4	1,2
Spez. Wid.:	0,2	0,4	0,8	1,6	2,8

Zum Vergleich sei daran erinnert, daß festes Kupfer den spezifischen Widerstand 0,16 Milliohm·cm hat. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 11. 8. 69, S. 289, N. Ben-Yosef, A. G. Rubin, Liquid-Copper Resistivity.)

50 Joule in 2 Pikosekunden! Die Lasertechnik schreitet von Erfolg zu Erfolg! In Albuquerque befassen sich die Sandia Laboratories mit Laserforschung, die u. a. dem Ziele der Ingangsetzung thermonuklearer Prozesse dient. In den Sandia Lab. baute man aus 5 neodym-dotierten Glasstangen einen Laser, in dem Lichtpulsketten entstehen, bei denen die einzelnen Pulse nicht länger als wenige psec (10^{-12} sec) dauern. Die Länge der Glasstangen bewegt sich zwischen 53 und 105 cm, der gesamte Lichtpfad von der total verspiegelten Endfläche der äußersten Stange bis zum Strahlaustritt ist 18 m lang. Eine Stange dient als Oszillator, den anderen fällt die Aufgabe der Verstärkung zu. Der Verstärkungsfaktor beträgt 50000 bis 150000. Der austretende Strahl hat 3,8 cm Durchmesser und 1 mrad Divergenz, d. s. ca. 3,5'. Es ist möglich, einen Einzelpuls auszusondern und zu verstärken. Der Energieinhalt eines solchen Einzelpulses war 50 J, was unter Berücksichtigung der Pulsdauer von 2 psec einer Leistung von 25 Mio. Megawatt entspricht! Man hofft, wenn diese Laserpulse auf festes LiD oder Li₂D fokussiert werden, infolge der kurzen Zeit die unerwünschte Abschirmung der Oberfläche durch die entstehenden Metalldämpfe zu verhindern und die volle Pulsenergie auf die Grenzflächenkerne zu verteilen. N. Bosov (UdSSR) glaubt sogar, auf diese Art Neutronen thermonuklear erzeugt zu haben. (Lit.: Physics Today, Juni 69, S. 60, Sandia Operates Picosecond Laser at 50 Joule Output.)

Über 2 Millionen Meteoriten gezählt. Mit Hilfe einer Radaranlage, die mit gleichen Sende- und Empfangsantennen im Abstand von ca. 400 m ausgerüstet war — die Antennen arbeiteten in jeder Raumrichtung mit derselben Empfindlichkeit bzw. Leistung —, wurden von C. S. L. Keay und C. D. Ellyett in der Nähe von Christ Church (Neuseeland) im Laufe von 31 Monaten (Februar 63 bis August 65) bei der Arbeitsfrequenz von 69,5 MHz

2304333 Meteoriten

gezählt. Die schwächsten erfassbaren Objekte hatten eine (Radio-) Helligkeit von +8,0^m. Die mittlere Anzahl der je Stunde einfallenden Objekte betrug demnach 114. Selbstverständlich war die Einfallsrate höher, wenn die Blickrichtung mit der Bewegungsrichtung der Erde übereinstimmte, niedriger, wenn die beiden Richtungen um 180° verschieden waren. Diese durch die Erdrehung täglich sich wiederholenden Variationen waren überraschenderweise im Laufe der langen Beobachtungszeit sehr verschieden. Im Vergleich zu ähnlichen, früher angestellten Zählungen erreichte der Unterschied sogar einmal den Faktor 2. Man sucht die Erklärung in Dichteschwankungen der höchsten Luftsichten, die auf solare Einflüsse zurückgehen. (Memoirs of the Royal Astron. Soc., Bd. 72, Teil 4, 1969. Sky and Tel., April 70, S. 223, News Notes: 2304333 Meteors.)

Solarkonstante. Bis vor kurzem konnte die Solarkonstante, also der von der Sonne ausgehende und im Abstand der Erde gemessene Energiefluß, nur relativ

ungenau vom Erdboden aus bestimmt werden. Die absorbierenden Einflüsse der Lufthülle sorgten für beträchtliche Unsicherheiten. Erst durch die Errichtung sehr hoch gelegener Observatorien wie dem auf dem Jungfraujoch in der Schweiz, durch Ballonbeobachtungen und mit Hilfe von Raketenflugzeugen ist ein Wandel zum Besseren eingetreten. In der Mainummer 1970 von „Sterne und Weltall“ hat A. Wittmann die folgenden 5 verschiedenen Meßergebnisse zusammengestellt:

1. Direkte Intensitätsmessungen auf dem Jungfraujoch von Labs und Neckel (Zeitschr. f. Astrophysik, Bd. 65, S. 133, 1967) ergaben für die Solarkonstante S den Wert 1365 W/m^2 .
2. Messungen an Bord des Raketenflugzeuges X-15 durch Drummond et al. ergaben 1361 W/m^2 . Flughöhe war 82 km (Nature, Bd. 218, S. 259, 1968).
3. Messungen an Bord von Düsentransportern in 12 km Höhe durch Arvesen et al. ergab $S = (1390 \pm 42) \text{ W/m}^2$. (Appl. Optics, Bd. 8, S. 2215, 1969).
4. Messungen an Bord des Flugzeuges von 3. mit anderen Geräten durch Thekaekara et al. führten auf $S = 1351 \text{ W/m}^2$ (Mitget. 1968 auf der Space Simulation Conference in Seattle).
5. Messungen an Bord der Raumsonden Mariner 6 und 7 lieferten $(1353 \pm 20) \text{ W/m}^2$.

Als Mittelwert der verschiedenen Meßdaten erhält man

$$S = 1364 \text{ W/m}^2$$

was einer Gesamtausstrahlung der Sonne (Leuchtkraft) von $3,834 \cdot 10^{26} \text{ W}$ und der effektiven Temperatur 5770 K entspricht.

Der Neptundurchmesser. Die Durchmesserbestimmung wird umso schwieriger, je weiter ein Planet entfernt ist. Deshalb bestanden bezüglich Neptun keine allzu verlässlichen Vorstellungen. Ein glücklicher Zufall ist jedoch in die Bresche unseres Wissens gesprungen und hat 1968 solide Werte geliefert. Am 7. 4. dieses Jahres ereignete sich nämlich eine Sternbedeckung durch Neptun. Der Stern war BD-17° 4388 und hatte die Helligkeit $7,8^m$. Die Messungen erfolgten unabhängig voneinander in Australien, Japan und Neuseeland tw. visuell, tw. photoelektrisch. Die Resultate schließen sich gut an die früheren Ergebnisse von Bodenbeobachtungen an und verleihen diesen nunmehr Gewicht. Von der Erde aus würde Neptun, befände er sich in der Entfernung der Sonne, also im Abstand von einer Astron. Einheit, unter $(33,9 \pm 1,8)''$ erscheinen. Demzufolge hat der Neptundurchmesser die Länge $(49200 \pm 2600) \text{ km} = 3,85 \text{ Erdurchmesser}$.

(Lit.: Sky and Tel., März 70, S. 160, Diameter of Neptune. Astr. J., Bericht Dez. 69.)

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

Das Wachstum der Erdbevölkerung als Unterrichtsthema

Didaktisch-methodische Bemerkungen

Eines der brennendsten Probleme unserer Zeit ist das der Bevölkerungsentwicklung. Manchen Menschen kam das noch nicht voll zu Bewußtsein. Andere wiederum glauben, daß sie sich mit ihm abfinden müssen, so wie etwa mit der Atombombe. Sie betrachten sich als das Produkt eines Entwicklungsprozesses und nicht auch als eine den Prozeß mitbewirkende Kraft. Dabei ist nur wenigen die Verantwortung klargeworden, eine Verantwortung, die der einzelne genauso wie die Gesellschaft trägt und die über die Generationen verläuft, denn die Entscheidungen, die heute in den Ehen über die Zahl der Kinder getroffen werden, prägen mit das Bild der Gesellschaft des Jahres 2000.

In der früheren Mittelschule wurde das Thema Bevölkerungsentwicklung in der Maturaklasse durchgenommen. Infolge Zeitmangels räumten ihm viele Kollegen nicht einmal eine ganze Stunde ein.¹ Auch das 1962 herausgekommene Lehrbuch für die 8. Klasse der ehemaligen Mittelschule widmete dem Thema nicht allzu viel Raum. Wegen dieser jahrelangen Vernachlässigung ist zu befürchten, daß auch in Zukunft das Thema nur oberflächlich „abgehandelt“ wird: im Schuljahr 1970/71 laut Lehrplan (BGBl. 53/70) in der 7. Klasse nach der Durchnahme Europas, in den Schuljahren 1971/72 bis 1974/75 in der Arbeitsgemeinschaft der 8. Klasse, wo das Thema dem Lehrplan nach (BGBl. 66/70) im Zusammenhang mit den Entwicklungsländern und dem Ernährungsproblem besprochen werden soll. Gerade in dieser Arbeitsgemeinschaft aber bietet sich die Möglichkeit, das Thema Bevölkerungswachstum mit den Schülern einmal gründlich zu

erarbeiten. Man stelle es dort an den Beginn einer Unterrichtsreihe, die sich mit der **Tragfähigkeit der Erde** beschäftigt, wobei die Tragfähigkeit der Erde nicht nur in bezug auf die Nahrungsversorgung der Menschen untersucht wird, sondern auch unter den Aspekten der vorhandenen Rohstoff- und Energiereserven, des möglichen Siedlungs- und Erholungsraumes, der zukünftigen Wasser- und Luftnutzung sowie des gesellschaftlichen und politischen Zusammenlebens! Eine solche Unterrichtsreihe, die eine Fundamentalfunktion des menschlichen Daseins — sich fortpflanzen und in privaten und politischen Gemeinschaften leben — aufhellt, könnte am Ende der AHS ein Unterrichtsvorhaben aufbauen, in welches viele im Laufe der Oberstufe in verschiedenen Fächern gewonnene Ergebnisse münden. Es wäre zudem ein Unterrichtsvorhaben, an dem die Fächertrennung beispielhaft überwunden werden kann, und das die immer wieder geforderte Integration nicht erst in den Köpfen der Schüler, sondern schon im Unterricht verwirklicht. Der vorliegende Aufsatz will eine Möglichkeit zeigen, wie man das Thema Wachstum der Erdbevölkerung in der Abschlußklasse der AHS behandeln kann. Es ist sicher nur eine von mehreren Möglichkeiten. Es werden zunächst der Unterrichtsgang sowie einige Fragestellungen und die Unterrichtsorganisation kurz skizziert.

Die **Interesseweckung** für das Thema Wachstum der Erdbevölkerung kann auf vielfache Weise erfolgen (Gegenüberstellung stark voneinander abweichender Bevölkerungsprognosen, Aufgreifen von in der Öffentlichkeit heftig diskutierten Fragen usw.).² 18jährige haben über die Bevölkerungsexplosion unserer Zeit sicher schon einiges gehört. Es gilt, zunächst dieses Wissen in Form eines Schülergesprächs freizumachen. Dabei wird sich bald zeigen, daß es ungeordnet, oft widersprechend, zum Teil oberflächlich und gelegentlich falsch ist. Daraus leitet man die Notwendigkeit zur gründlichen Information ab. Als nächstes entwirft man mit den Schülern grob den

¹ Nach dem Gordon-Helmer-Bericht werden im Jahre 2020 ca. 7 Mrd. Menschen die Erde bevölkern. Der Präsident der Weltbank, McNamara, erklärte am 21. 9. 1970, daß im Jahre 2020 15 Mrd. Menschen auf der Erde leben werden.

² MÖGeogrGes. 102/1960, S. 233.

weiteren **Unterrichtsgang**. Dieser kann sich etwa so abspielen:

1. Einholen von Informationen (statistisches Material und Literatur).
2. Stellungnahme zur Zuverlässigkeit des Zahlentextes.
3. Graphische Darstellung des Wachstums der Weltbevölkerung bis zur Gegenwart.
4. Die Ursachen des Wachstums.
5. Die weitere Entwicklung der Weltbevölkerung.
6. Die Probleme, die sich daraus ergeben.

Bei allen sechs Unterrichtsschritten sollten die Schüler möglichst viel selbst machen. Ohne Zweifel sind uns dabei durch die Zeit, durch das „Handwerkzeug“ u. a. Grenzen gesetzt. Man sollte sich aber nicht abhalten lassen, sie soweit wie möglich hinauszuschieben. Selbstverständlich kann man den 1. und 3. Schritt überspringen und den 2. Schritt mit ein paar Sätzen abtun. Man übergibt den Schülern bereits fertige Diagramme und beginnt gleich mit der Interpretation — wer dies will, braucht Seite 47 dieses Heftes nur abzulichten. Besser als ein anschaulungsloser Lehrvortrag ist dieser Weg noch immer. Allerdings verzichtet man mit ihm auf das Einüben sehr wichtiger Fertigkeiten und die Gewinnung wesentlicher Erkenntnisse. Ist es nämlich nicht auch wichtig, zu lernen, wie man wo was nachschlägt? Welch reichen Gewinn wirft ferner zum Beispiel die Beschäftigung mit dem „Demographic Yearbook“ ab. Wieviel kann man aus dem Versuch lernen, Zahlenmaterial graphisch möglichst anschaulich umzusetzen. Wissen unsere Schüler, wie eine moderne Volkszählung durchgeführt wird, was alles dahintersteht, welche Vorbereitungen getroffen werden müssen, welche Voraussetzungen notwendig sind, welche sachliche und persönliche Probleme damit verknüpft sind, welche Kosten entstehen? Man führe sie einmal in das statistische Zentralamt, bespreche mit ihnen einen Erhebungsbogen. Man beantworte ihre sicher auftretende Frage, wie die Bevölkerungszahlen für die Zeit vor den amtlichen Volkszählungen ermittelt wurden, mit einem Schülerreferat, das die Arbeiten von G. Kurth bzw. von Deevay zur Grundlage nimmt.

Im Mittelpunkt unseres Unterrichtsthemas stehen die Schritte 4 und 5. Hier lassen wir die Schüler zunächst allein nach den Ursachen raten. Dann versuchen wir, mit ihnen aus dem, was sie vorbrachten, eine Hypothese zu bilden. Anschließend gehen wir daran, diese zu überprüfen, indem wir sie mit der Bevölkerungsentwicklung mehrerer Gesellschaften unterschiedlicher Art vergleichen. Sicher werden wir nicht alle Faktoren, welche die Sterbe- und Geburtenrate beeinflussen (Wanderbewegungen lassen wir unberücksichtigt), erfassen, wesentliche Zusammenhänge zwischen sozioökonomischer bzw. soziokultureller und demographischer Entwicklung werden aber dennoch hervortreten. Wir fassen sie mit einer ausführlichen Erörterung der Zyklentheorie zusammen. Im 5. Unterrichtsschritt beschäftigen wir uns, ausgehend von einer Analyse der gegenwärtigen demographischen Welt situation, mit den verschiedenen Methoden der Voraussagen sowie ihren Ergebnissen, und zwar sowohl global als auch regional. Die sich daraus ergebenden vielfältigen Probleme in biologischer, wirtschaftlicher, sozialer und politischer Hinsicht für die Welt von morgen sollten wenigstens teilweise von den Schülern in gemeinsamer Diskussion selbst erkannt und zusammengestellt werden. Ihre Besprechung und Behandlung — eventuell unter Beziehung anderer Kollegen (R, H, Ng, Phil) — ist den weiteren Themen der Unterrichtsreihe, die sich mit der Tragfähigkeit der Erde beschäftigt, vorbehalten.

Material zum Unterrichtsthema

Die folgende Materialzusammenstellung soll die didaktisch-methodischen Ausführungen ergänzen. Sie strebt keine Vollständigkeit an. Ihre Aufgabe liegt darin, dem weniger auf das Thema eingearbeiteten Kollegen, die sachliche Vorbereitung etwas zu erleichtern. Mit Hilfe der am Schluß angegebenen, verhältnismäßig leicht erreichbaren Literatur — auch hier wird der Spezialist Lücken erkennen — ist es jedermann möglich, sich bedeutend eingehender über das Thema zu informieren.

Einige der zitierten Bücher, z. B. das Penguin-Taschenbuch, kann man auch interessierten Schülern empfehlen. Nach acht Jahren Englisch sind sie sicher in der Lage, es zu verstehen. Auf die Verwendungsmöglichkeit der Abbildungsseite, wurde schon weiter oben hingewiesen. Die Aufstellung eines Zeitplanes überlassen wir dem Ermessen jedes Kollegen. Wenn man die Schüler möglichst viel selbst machen läßt und auf tradieren verzichtet, wird man allerdings schon einige Stunden allein für das Thema Bevölkerungswachstum in Rechnung stellen müssen. All denjenigen, die dabei mit schlechtem Gewissen an den Lehrplan denken, sei tröstend gesagt: In diesem Fall wird Wissen das, was es sein soll; nicht das Ergebnis mehr oder weniger stumpfsinnigen Einpaukens von Fakten, sondern eine selbstverständliche Funktion im Prozeß des Begreifens.

Das Wachstum der Weltbevölkerung. Moderne Volkszählungen, welche die Gesamtheit der Einwohner eines Staates nach verschiedenen Merkmalen möglichst exakt erfassen, gibt es erst seit ungefähr 200 Jahren. Ausgehend vom westlichen Europa und den USA setzten sie sich in fast allen Staaten der Welt durch. Gegenwärtig werden sie meist alle 10 Jahre durchgeführt, wobei sich die Vereinigten Nationen um eine Vereinheitlichung der Termine und Verbreitung der Ergebnisse bemühen. In Österreich findet die nächste Volkszählung im Jahre 1971 statt. Ihre Vorbereitung hat, ihre genaue Auswertung wird Jahre dauern. Bevölkerungszahlen aus der Zeit vor Einführung modernen Volkszählungen beruhen auf sehr unterschiedlichen Quellen und wurden oft nach reichlich groben Methoden erstellt. Sie weisen dadurch selbstverständlich erhebliche Fehlermöglichkeiten auf. Dennoch sind Versuche nicht ausgeblieben, die Entwicklung der Weltbevölkerung wenigstens in groben Zügen bis in die Steinzeit zurückzuverfolgen (Kurth u. a.). Wegen des langen Zeitraumes und wegen der Mangelhaftigkeit der Unterlagen erfolgt die graphische Abbildung der Ergebnisse immer in einer glatten Kurve. Die durch Hungersnöte, Seuchen usw. hervorgerufenen Fluktuationen scheinen dadurch nicht auf (Abb. 1). Man erkennt an einer solchen Darstellung, daß das Wachstum der Erdbevölkerung auf insgesamt 1 Milliarde Menschen viele tausend Jahre gedauert hat. Der Anstieg von 1 auf 2 Milliarden Menschen dagegen vollzog sich schon in einigen hundert Jahren. Für das Wachstum von 2 auf 3 Milliarden Menschen indessen waren nicht einmal mehr 50 Jahre nötig. Angesichts dieser gewaltigen Beschleunigung taucht immer wieder die Frage auf: „Hat Malthus¹ doch recht gehabt?“

Das Beispiel der Bevölkerungsentwicklung von England und Wales. Sieht man von internationalen Wanderbewegungen ab, so bilden Geburten- und Sterberate² die maßgeblichen natürlichen Komponenten des Bevölkerungswachstums. Die Geburt und der Tod sind biologische Ereignisse. Sie finden jedoch in einem sozialen Milieu statt. Bei einer Untersuchung der Veränderungen dieser Komponenten wird man deshalb nicht nur biologische Aspekte, sondern auch die sozioökonomische bzw. soziokulturelle Entwicklung beachten müssen. Ein ausgezeichnetes Beispiel dafür ist England, wo zuverlässige Bevölkerungsstatistiken existieren, die bis ins 18. Jahrhundert zurückreichen; das Diagramm (Abb. 2) veranschaulicht diese demographische Entwicklung. Sie zerfällt in vier Abschnitte. Abschnitt I zeigt eine hohe Geburten- und eine hohe Sterberate. Die Bevölkerung wuchs nur sehr langsam. Im zweiten Abschnitt begann die Sterberate merklich zu sinken, während die Geburtenrate zunächst noch sehr hoch blieb. Durch die sinkende Sterberate, nicht durch eine steigende Geburtenrate, kam es zu einer starken Bevölkerungsvermehrung. Im dritten Abschnitt sank zwar die Sterberate weiter, doch vollzog sich das Absinken der nun auch zurückgehenden Geburtenrate schneller. Die Bevölkerung wuchs nur mehr mit vermindernden Raten. Im vierten Abschnitt liegen Geburten- und Sterberate

1 Malthus glaubte am Ende des 18. Jahrhunderts, aus statistischen Unterlagen und aus Kirchenbüchern errechnen zu können, daß sich die Menschheit „when unchecked“ — in geometrischer Progression vermehre (1, 2, 4, 8, 16...), die Nahrungsmittelproduktion hingegen nur in arithmetischer Reihe ansteige (1, 2, 3, 4, 5...) und daß auf diese Weise das Elend unter den Menschen zunehmen müsse.

2 Auch Geburten- bzw. Sterbeziffer genannt: Anzahl der lebend Geborenen auf tausend Einwohner bzw. Anzahl der Verstorbenen auf tausend Einwohner einer Bevölkerung in einem Jahr. Für Österreich lagen diese Zahlen 1968 bei 17,1 bzw. 13,0. Die Geburten- und Sterbezahlen für die meisten Staaten der Erde bringt auch der alljährlich erscheinende FISCHER-WELTALMANACH.

Diagramme zum Bevölkerungswachstum der Erde

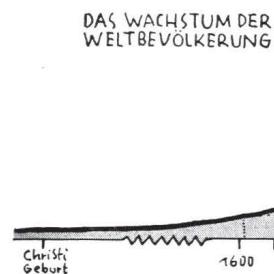


Abb. 1

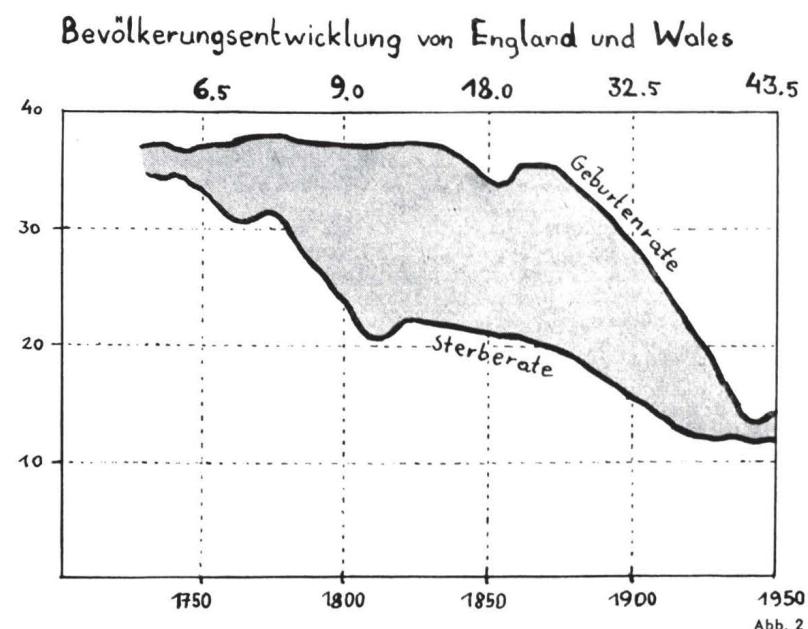


Abb. 2

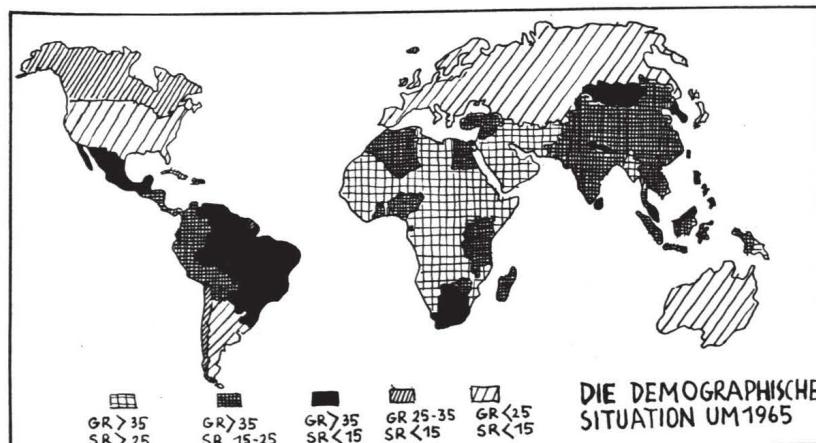


Abb. 3

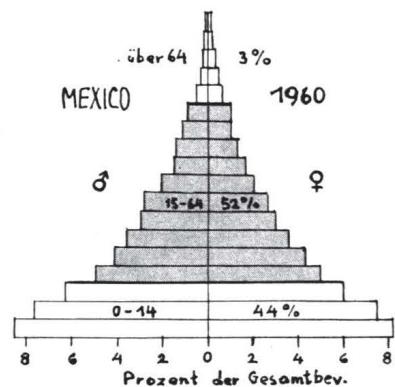


Abb. 6

DIE BEVÖLKERUNGSEXPLSION DER ENTWICKLUNGSLÄNDER

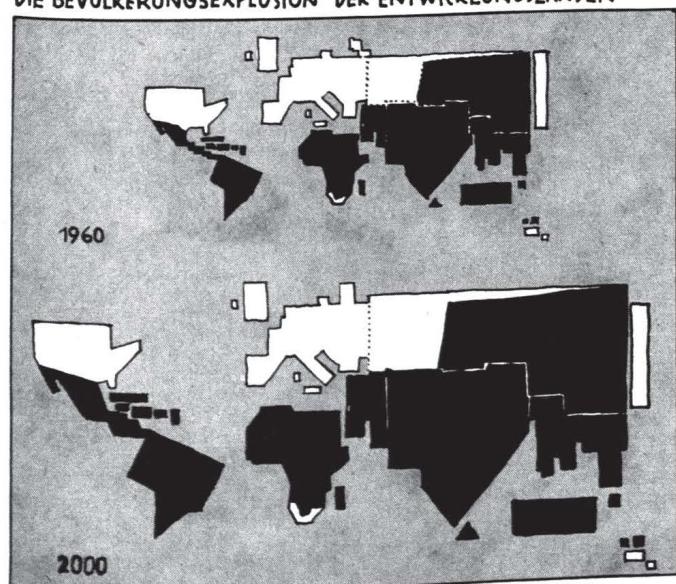


Abb. 4

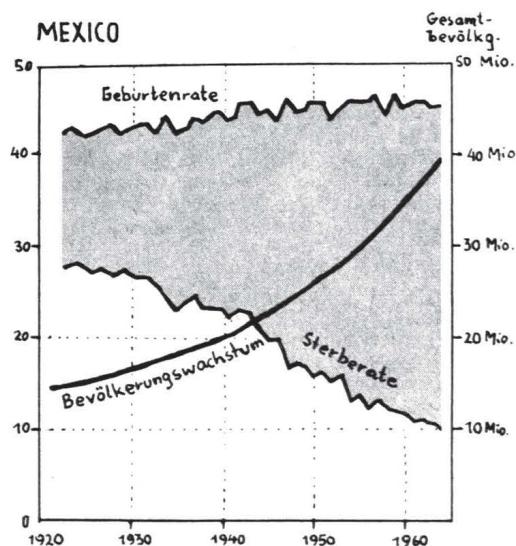


Abb. 5

wieder nahe beisammen, allerdings auf bedeutend niedrigerem Niveau als im Abschnitt I. Das Bevölkerungswachstum verläuft jetzt sehr langsam. Die Entwicklung hat sich auf einen neuen Gleichgewichtszustand eingependelt.

Abschnitt I repräsentiert die Situation der vorindustriellen Gesellschaft. Noch üben die Reste der mittelalterlichen Agrarverfassung einen entscheidenden Einfluß aus. Die Bevölkerungsvermehrung wird durch die Regulierung der Stellenzahl auf die Entwicklung des Nahrungsspielraumes abgestimmt, wobei dieser Vorgang in eine bestimmte Sozialverfassung mit rechtlichen Garantien und Abstimmung zur Religion und Sexualethik eingebettet ist. Infolge von Seuchen, Hungersnöten und Epidemien überwiegen die Sterbefälle in manchen Jahren die Geburten. In den Jahrzehnten, die diesem Abschnitt folgen, vollzieht sich in England der große in Zusammenhang mit der industriellen Revolution stehende Wandel von Gesellschaft und Wirtschaft. Noch laufen die alten generativen Verhaltensweisen eine Zeitlang weiter. Durch den Rückgang der Sterblichkeit aber wird das Bevölkerungsgleichgewicht gestört. Er ist vor allem das Ergebnis einer Verbesserung der Sozialhygiene (Abwasserbeseitigung, Trinkwasserversorgung), der Nahrungsmittelversorgung und des medizinischen Fortschritts.¹ Der große Umbruch in der Entwicklung der Geburtenrate setzte im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts ein. Er dokumentiert einen Wandel des Fortpflanzungsverhaltens in Richtung einer bewußten Beschränkung der innerehelichen Fruchtbarkeit. Von den Faktoren, die ihn bewirkten bzw. unterstützen, seien im folgenden nur einige aufgezählt: Die Notwendigkeit zur großen Nachkommenschaft, wie sie noch in der vor- und frühindustriellen Gesellschaft gegeben war, nimmt wegen des Rückgangs der Sterblichkeit und der Verbesserung der wirtschaftlichen Lage ab. Infolge der erhöhten Anforderungen der Industrie und Verwaltung an die Ausbildung und Schulung des einzelnen nimmt das durchschnittliche Heiratsalter zu. Immer mehr Eltern versuchen die Kinderzahl mit ihren ökonomischen Möglichkeiten abzustimmen. Die Frau drängt aus ihrer häuslichen Rolle in neue berufliche und gesellschaftliche Sphären. Ein Säkularisierungsprozeß löst die Gestaltung des Lebens von der bisher geltenden Sexualethik. Die industrielle Massenerzeugung von Verhütungsmitteln setzt ein. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß hinter dem Abfall der Geburtenrate im wesentlichen eine Rationalisierung des Fortpflanzungsverhaltens steht, die immer breitere Bevölkerungsschichten erfaßte.

Auf Grund der in England festgestellten Entwicklung, die auch in anderen Gesellschaften, welche von der vorindustriellen zur industriellen Lebens- und Wirtschaftsweise wechselten, beobachtet wurde, gelangte man zur Annahme, daß alle Völker der Erde im Zuge des weltweiten Industrialisierungsprozesses eine ähnliche — nur zeitlich verschobene — demographische Transformation durchmachen (Zyklentheorie). Trifft diese Theorie zu, würde das bedeuten, daß auch das gegenwärtig so explosive Wachstum der Erdbevölkerung wieder kleiner werden wird und auf einen Gleichgewichtszustand eingpendelt.

Die demographische Situation der Gegenwart. Ein Blick auf eine Weltkarte der gegenwärtigen Bevölkerungsentwicklung (Abb. 3) bzw. der Vergleich von Diagrammen mit Sterbe- und Geburtenraten verschiedener Länder (Abb. 5) scheint dies zu bestätigen. Demnach befände sich die Masse der Entwicklungsländer am Anfang oder Ende des zweiten Abschnittes. Den optimistischen Erwartungen, daß sie, ähnlich den europäischen Industrieländern, den weiteren Zyklus schnell durchlaufen werden, steht jedoch eine Reihe von ernstzunehmenden Bedenken gegenüber, darunter der Einwand, daß die heutige sozioökonomische Struktur der Entwicklungsländer sich von derjenigen der europäischen Industrieländer am Anfang der industriellen Revolution stark unterscheide. So gelang es zwar, mit Hilfe der importierten Medizin und Hygiene die Sterblichkeitsrate sehr schnell zu senken, wie das Beispiel Ceylon beweist (1940/45: GR 38 — SR 20; 1955/60: GR 37 — SR 9!), es darf jedoch nicht damit gerechnet werden, das generative Verhalten der Masse der Menschen in den Entwicklungsländern in den nächsten Jahrzehnten zu ändern. Daraus ergibt sich, daß wahr-

scheinlich gerade volksreiche Entwicklungsländer noch sehr lange im zweiten Abschnitt bleiben werden. Noch nicht ganz geklärt ist auch das Phänomen der nach dem vierten Abschnitt in manchen hochindustrialisierten Ländern wieder zunehmenden Geburtenrate: in den USA von 17 (1935—37) auf 24,4 (1955—60).² Einige Soziologen und Demographen meinen, daß Konsum-Übersättigung, Furcht vor dem Alleinsein, Lebensangst und die Sinnentleerung der modernen Gesellschaft Gründe dieses Babybooms sein könnten. Sollte diese Entwicklung allgemein werden, so bedarf die Zyklentheorie einer Erweiterung.

Die weitere Entwicklung der Weltbevölkerung. Alle Vorausberechnungen und Schätzungen der Weltbevölkerung für die nächsten Jahrzehnte können nur als annähernde Werte gelten und sind mit vielen Unsicherheitsfaktoren belastet, auch wenn sich in der jüngsten Zeit die Zählungen, Repräsentativerhebungen und Schätzmethoden stark verbessert haben. Während man anfangs die laufenden Wachstumsraten einfach in die Zukunft weiter projiziert hat — nach dieser Methode hätte man im Jahre 1920, als 1,8 Mrd. Menschen auf der Erde lebten, die Bevölkerung des Jahres 1960 auf 2,4 Mrd. geschätzt, in Wirklichkeit bestand die Weltbevölkerung in diesem Jahr schon aus 3 Mrd. Menschen —, bezieht man heute möglichst viele demographische Komponenten, die die Fruchtbarkeit und die Sterblichkeit jeweils in den einzelnen Alters- und Geschlechtsgruppen beeinflussen, in die Betrachtung mit ein. (Kindersterblichkeit, Heiratsalter, Lebenserwartung usw.).

Auf Grund vorsichtiger Berechnungen kommen die Vereinigten Nationen bei ihrer letzten Vorausberechnung auf folgende Werte:

Region	1980	1990	2000
Welt	4,147—4,551	4,783—5,690	5,449—6,997
Asien (ohne UdSSR)	2,345—2,619	2,715—3,315	3,103—4,067
Afrika	434—463	546—629	684—864
lateinamerika	362—383	446—522	532—686
Europa (ohne UdSSR)	467—492	482—526	491—563
UdSSR	269—296	297—346	316—403
Nordamerika	248—275	274—323	294—376
Ozeanien	22—23	25—29	28—35

Das entspricht folgenden jährlichen Zuwachsraten, angegeben in Prozent — zum Vergleich ist die tatsächliche durchschnittliche Zuwachsrate pro Jahr für die Zeit von 1950—1968 vorangesetzt:

Region	1950—68	1968—80	1980—90	1990—2000
Welt	1,8	1,5—2,2	1,4—2,2	1,3—2,1
Asien (ohne UdSSR)	1,9	1,6—2,5	1,5—2,4	1,3—2,0
Afrika	2,2	2,2—2,8	2,3—3,1	2,3—3,2
lateinamerika	2,7	2,5—3,0	2,1—3,1	1,8—2,7
Europa (ohne UdSSR)	0,9	0,2—0,6	0,3—0,7	0,2—0,7
UdSSR	1,5	1,0—1,8	1,0—1,6	0,6—1,5
Nordamerika	1,6	0,9—1,7	1,0—1,6	0,7—1,5
Ozeanien	2,1	1,4—1,9	1,3—2,1	1,1—1,9

Eine Reihe von Demographen befürchtet, daß die oberen Grenzwerte von der tatsächlichen Entwicklung noch übertroffen werden. Sie erklären, daß im Jahre 2000 bei Fortbestehen der gegenwärtigen Fruchtbarkeitsziffer³ mehr als 7,5 Milliarden Menschen auf der Erde leben werden, im Jahre 2020 sogar 15 Milliarden. Gleichgültig, welche Werte man akzeptiert, eines ist aus allen herauszulesen: Ausmaß und Tempo der Bevölkerungsentwicklung verlaufen in den einzelnen Erdgebieten verschieden. Das führt zu Verschiebungen im Bevölkerungsgewicht, wodurch sich auch die Bedeutung dieser Gebiete ändern wird. So wird die Zahl der Europäer, die gegenwärtig noch die Bevölkerung Lateinamerikas oder Afrikas übertrifft, im Jahre 2000 weit hinter die Einwohnerzahlen dieser beiden Regionen zurückgefallen sein. Nach den Vorausberechnungen der Vereinigten Nationen werden in diesem Jahr rund 80 Prozent der Weltbevölkerung den heutigen Entwicklungsländern angehören — 1968 lebten in ihnen nur 70 Prozent der Weltbevölkerung. Die optische Verdeutlichung des soeben Gesagten versucht das Kartogramm:

¹ In allerletzter Zeit war sie wieder rückläufig. 1964 bis 1968: 21,2 — 19,4 — 18,5 — 17,9 — 17,4.

² Zahl der Geborenen auf tausend Frauen im gebärfähigen Alter, das im Durchschnitt zwischen 15 und 45 Jahren liegt.

³ Vor der ersten wirksamen Schutzimpfung gegen Pocken (1798) starb im 18. Jahrhundert jeder fünfte Engländer an dieser, vor allem in der Kindheit auftretenden Krankheit.

Die Bevölkerungsexplosion der Entwicklungsländer (Abb. 4). Die Fläche der Länder ist auf ihm bevölkerungsproportional dargestellt.

Die Tragfähigkeit der Erde. Diese Frage wird sehr oft nur unter dem Gesichtspunkt der Nahrungsbeschaffung gesehen. Die Antworten darauf schwanken heute im allgemeinen zwischen 12 und 50 Milliarden Menschen. Baade glaubt sogar an einen noch höheren Wert. Hier hat Malthus auf jeden Fall nicht recht gehabt. Die Frage nach der Tragfähigkeit der Erde ist jedoch heute primär kein Problem der Nahrungsversorgung mehr. Viel entscheidender sind die Probleme des Wohn- und Erholungsraumes, der Wasser- und Luftnutzung, vor allem aber die Probleme der politischen und sozialen Organisation einer immer größer werdenden Menschenzahl. Wo hier die Grenze liegt, ist schwer vorauszusagen, wahrscheinlich aber unter der ökonomischen, d. h. der durch das Ernährungspotential gesetzten. Dort, wo der Mensch in der organisierten Massenhaftigkeit seine Freiheit verliert, droht auch das persönliche Leben zu verkümmern.

Literatur: Allison, A., Population Control, Penguin Books, 1970; Carr-Saunders, A. M., World Population: Past Growth and Present Trends, London 1964; Hochschule St. Gallen für Wirtschafts- u. Sozialwissenschaften, Das Wachstum der Weltbevölkerung, Zürich 1965; Kurth, G., Die Bevölkerungsgeschichte des Menschen, in: Handbuch der Biologie, Bd. IX, Frankfurt 1965; Mackenroth, G., Bevölkerungslehre, Berlin 1953; Petersen, W., Population, London 1969; United Nations, Demographic Yearbook; United Nations World Population Conference 1965, 4 Bde., New York 1967; United Nations, World Population Prospects; Withauer, K., Die Bevölkerung der Erde, Gotha 1958; Zelinsky, W., A Prologue to Population Geography, London 1966.

Wolfgang Sitte

Japans Aufstieg zur Wirtschaftsmacht

Der Aufstieg Japans zur dritten Wirtschaftsmacht der Welt neben den Vereinigten Staaten von Amerika und der Sowjetunion ist nicht mehr aufzuhalten. 1969 belief sich der Zuwachs des japanischen Bruttonsozialproduktes, also des Gesamtwertes der während eines Jahres produzierten Güter und Dienstleistungen, auf 12,5% und war damit beinahe doppelt so hoch wie die Zuwachsrate der hoch-industrialisierten westeuropäischen Staaten. Die Bundesrepublik Deutschland, die in der Wachstumsstatistik an zweiter Stelle liegt, erzielte ein reelles Wirtschaftswachstum von 7,5%, Italien und Frankreich von je 7%, während die Vereinigten Staaten nur eine dreiprozentige Steigerung des realen Bruttonsozialproduktes verzeichnen konnten.

Diese hohe Zuwachsrate des Bruttonsozialproduktes 1969 stellt keine Ausnahme dar, sondern ist vielmehr nur eine von vielen Rekordwachstumsraten, die die japanische Wirtschaft in den letzten 10 Jahren erzielen konnte. Japan steigerte sein Bruttonsozialprodukt im Durchschnitt der sechziger Jahre um jährlich rund 10%, während sich die anderen Industrienationen mit Wachstumsraten von 5 bis 6% begnügen mußten.

Im Jahre 1960 betrug das japanische Bruttonsozialprodukt nur 70% jenes der Bundesrepublik Deutschland, acht Jahre später gelang es Japan, die Bundesrepublik Deutschland vom zweiten auf den dritten Platz in der Weltrangliste zu verweisen. Nach Ansicht der Wirtschaftsprognostiker wird das Bruttonsozialprodukt Japans 1975 bereits doppelt so hoch sein wie jenes der Bundesrepublik Deutschland. 1981 wird das Bruttonsozialprodukt Japans vermutlich bereits in einer Größenordnung wie das der EWG-Staaten liegen. Ein Jahr später wird es der neuen Wirtschaftsmacht Japan gelingen, die Sowjetunion, wenn man die militärische Produktion außer Ansatz läßt, zu übertreffen, und bis 1985 wird Japan die Sowjetunion beim Gesamtwert der in einem Jahr produzierten Güter und Dienstleistungen endgültig übertroffen haben. Zu diesem Zeitpunkt wird das japanische Bruttonsozialprodukt viermal so groß sein wie jenes der Bundesrepublik Deutschland, immerhin jenes Staates, der nach dem Krieg den beachtlichsten Wirtschaftsaufschwung — abgesehen von Japan — aufzuweisen hat. Kein Wunder, daß Wirtschaftswissenschaftler angesichts dieser Entwicklung von einem japanischen Wirtschaftswunder, einem Aufschwung ohne Maß und der japanischen Herausforderung an Europa sprechen.

Japans steiler Aufstieg

Wachstum von 1967 bis 1969

	1967 (tatsächlich)	1968 (Schätzung)	1969 (Schätzung)
	in Millionen Dollar (in Klammern Zuwachs in Prozent gegenüber Vorjahr)		
Bruttonsozialprodukt	120,8 (18,0)	140,3 (16,7)	163,6 (16,6)
Bruttonsozialprodukt in Preisen von 1960	87,1 (13,2)	97,0 (11,4)	108,8 (12,1)
Private Investitionen (Bau- und Ausrüstung)	20,8 (32,6)	24,7 (19,0)	29,5 (19,2)
Öffentliche Investitionen	11,9 (14,1)	13,6 (114,0)	15,8 (16,2)
Privater Verbrauch	62,7 (14,0)	72,1 (14,9)	82,9 (15,1)
Öffentlicher Verbrauch	11,1 (13,9)	12,9 (16,6)	15,0 (15,8)
Exporte	12,8 (8,7)	15,9 (24,6)	18,6 (16,6)
Importe	12,9 (21,8)	14,5 (11,7)	17,0 (17,5)
Produktionsindex (1965=100)	140,8 (18,8)	164,2 (16,6)	191,8 (16,8)
Verbraucherpreisindex (1969=100)	110,7 (4,2)	117,1 (5,8)	122,9 (5,0)

Das Haushaltsjahr in Japan beginnt jeweils am 1. April.

Hohe Investitions- und Sparrate

Was sind nun die Gründe für diesen enormen wirtschaftlichen Aufschwung, der Japan als neue und damit zugleich dritte Wirtschaftsmacht etablierte?

Der Schlüssel für das Verständnis des japanischen Wirtschaftswunders liegt in einer Zahl, die auf den ersten Blick beinahe unglaublich erscheint: die Japaner verwenden Jahr für Jahr ein rundes Drittel ihres Sozialproduktes für Investitionen. Eine derart hohe Kapitalbildungssrate ist zumindest in den marktwirtschaftlich organisierten Ländern ohne Vorbild. In der Bundesrepublik Deutschland beträgt jener Teil des Sozialproduktes, der investiert und nicht konsumiert wird, rund 25%. Großbritannien und die Vereinigten Staaten investieren rund 17% ihres Bruttonsozialproduktes, was kaum mehr als der Hälfte der japanischen Investitionsrate entspricht. Auf den Kopf der Bevölkerung bezogen sind es im Haushaltsjahr 1969/70 ohne Einbeziehung des Wohnungsbauwesens 287 Dollar an Ausrüstungsinvestitionen, die auf den Durchschnittsjapaner entfallen. In Schweden, einem Land, das im Lebensstandard Japan bei weitem übertrifft, entfallen auf den Kopf der Bevölkerung nur 70% der japanischen Quote, nämlich 206 Dollar.

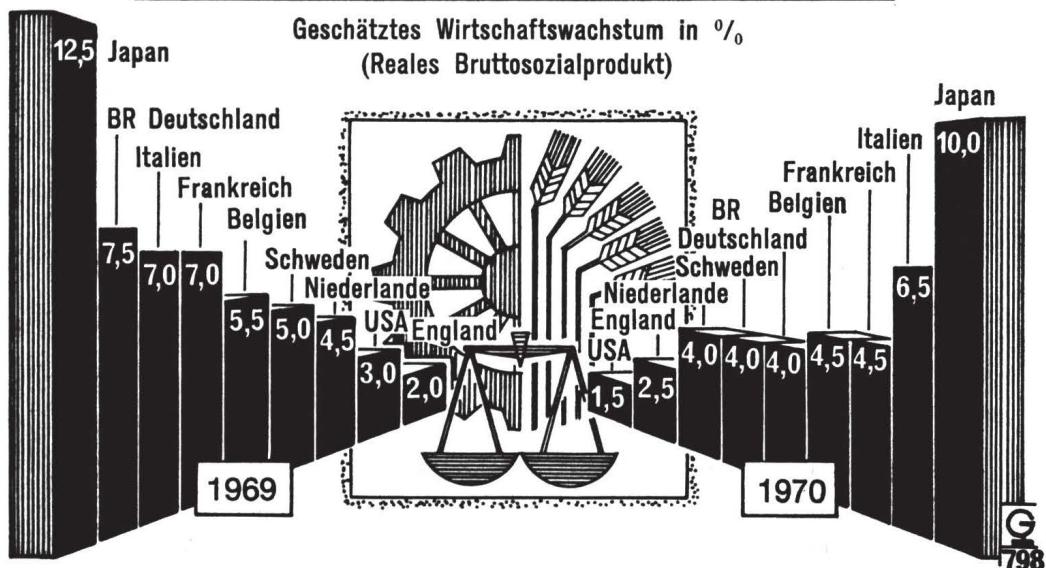
Von dieser hohen japanischen Investitionsrate entfiel der weitaus größte Teil auf private Investitionen, die unmittelbar der Industrie zugute kamen. Das liegt in dem Bemühen der Japaner, ihren Produktionsapparat ständig zu erneuern, was unter dem Schlagwort der „kreativen Destruktion“ in den europäischen Ländern bekannt wurde. Welches europäische Land könnte beispielsweise von sich sagen, keinen Schilling für überaltete Wirtschaftsstrukturen, beispielsweise im Bergbau und in der Landwirtschaft, ausgegeben zu haben und den Produktionsapparat der Industrie — in der Stahlindustrie wurde erst vor kurzem der gesamte Produktionsapparat ausgetauscht — ständig auf den neuesten technischen Stand zu halten.

Die hohe Investitionsrate Japans wurde durch eine überaus lebhafte Sparaktivität ermöglicht. Japan weist eine private Sparquote von 18% des persönlichen Einkommens auf, die gleichzeitig die höchste der Welt ist. In der BRD wird beispielsweise 12%, in Österreich 8% und in den USA 7% des persönlichen Einkommens gespart. Die Sparfreudigkeit der Japaner ist zum Teil in der fehlenden gesetzlichen Sozialversicherung zu suchen, die bedingt, daß der Japaner für sein Alter finanzielle Vorsorge treffen muß.

Der hohen Investitions- und Sparaktivität steht logischerweise ein relativ geringer privater Verbrauch gegenüber. Im Jahre 1969 wurden in den USA 59.360 S für den privaten Konsum ausgegeben, in Schweden waren es 44.590 S, in Österreich 29.470 S und in Japan 13.930 S, die für den privaten Konsum aufgewendet wurden.

Japan hat es mit anderen Worten verstanden, einen sehr hohen Anteil des Bruttonsozialproduktes für die Kapitalbildung abzuzweigen. Der Großteil dieser Kapitalien floß in den Sektor der produktiven Anlagen, was auf Kosten

DIE INTERNATIONALE KONJUNKTUR



der wachstumspolitisch zuerst weniger relevanten Infrastruktur ging.

Wesentlich für den Aufbau der japanischen Fertigwarenindustrie war die Tatsache, daß Japan lediglich 0,8% seines Bruttosozialproduktes in die Landesverteidigung investierte. Während die hervorragendsten Wissenschaftler Amerikas und der Sowjetunion jahrzehntelang für die Konstruktionen von Waffen und Raumschiffen eingesetzt wurden, hatten die Japaner die Möglichkeit, die beste Friedensindustrie der Welt aufzubauen.

Import von technischem „Know-how“ — Billige und qualifizierte Arbeitskräfte

Eine erfolgreiche Komponente stellte bei diesem Bemühen das Anwenden der neuesten **technologischen Methoden** dar, die zu einem großen Teil durch Lizenzen aus dem Ausland bezogen wurden. Pro Jahr wurden in Japan durchschnittlich 200.000 Patentierungsanträge genehmigt.

Diese Fähigkeit der Japaner, sich technisches „Know-how“ durch Lizenzen, aber auch durch Studienreisen und Fachliteratur zu verschaffen, ist oft kritisiert worden. In der Tat hat Japan die Chance, die sich ihm dadurch bot, daß es relativ spät in den Kreis der Industriestaaten eingetreten ist, dazu ausgenutzt, die modernste Technologie nachzuahmen, in anderen Ländern entwickelte Verfahren zu übernehmen und erprobte Erzeugnisse, wie beispielsweise deutsche Kamerä, einfach zu kopieren. Die europäischen Industriestaaten mußten einsehen, daß es heute nicht mehr möglich ist, den technischen Fortschritt zu monopolisieren.

Beachtliche Erfolge konnten die Japaner auch bei der **Steigerung der Produktivität**, also der Produktionsergebnisse (output) in Relation zum Einsatz (input) erzielen. Im Durchschnitt der letzten Jahre wurde die Produktivität jährlich um rund 5% gesteigert, das war doppelt so viel als beispielsweise in den USA oder in Großbritannien. In der Stahlindustrie, in der die Japaner besondere Erfolge erzielen konnten, stieg beispielsweise in den japanischen Stahlwerken an der Küste die Produktivität in den Jahren 1957 bis 1966 um 120%, während sie bei den amerikanischen Stahlwerken lediglich um 20% erhöht werden konnte.

Ein Moment, das bei der Analyse des japanischen Wirtschaftswunders immer wieder Erwähnung findet, ist die **günstige Situation auf dem Arbeitsmarkt** und die **niedrigen Lohnkosten**. Das schnelle Wirtschaftswachstum wurde sicherlich durch das reiche Angebot an qualifizierten Arbeitskräften begünstigt. Dazu kam noch eine geringe Mobilität der japanischen Arbeitskräfte und eine Loyalität der Betriebsangehörigen gegenüber dem Arbeitgeber. Das trifft zumindest für die sogenannten Stammarbeiter zu, die infolge der spezifisch gesellschafts-politischen Verhaltensnormen meist während ihres ganzen Lebens einem Unternehmen treu bleiben. Japan ist auch das Land mit den wenigsten Streiks und so darf es nicht

verwundern, daß beispielsweise die japanische Autofabrik Toyota mit nur einem Viertel der Arbeiter und der gleichen technischen Ausrüstung mehr Autos produziert hat als die British Motor Corporation. Die japanischen Arbeitskräfte waren international gesehen relativ billig. In den Jahren 1962 bis 1967 stiegen beispielsweise die Lohnkosten in der Bundesrepublik Deutschland um 24%, während sie in Japan um knapp 16% zunahmen.

Als vorteilhaft für den Wirtschaftsaufschwung erwiesen sich auch die Bemühungen der Japaner zur Zusammenarbeit und Koordinierung, die unter dem Schlagwort der „**System Industries**“ bekannt wurden. Führende Großunternehmen schlossen sich zu Informationssyndikaten zusammen, um technisches und wirtschaftliches Wissen auszutauschen und im Vertrieb zusammenzuarbeiten, ohne jedoch kapitalmäßige Bindungen einzugehen, die das japanische Antimonopolgesetz verbieten würde. Im Jahre 1969 wurden in Japan ein Forschungsinstitut für Managementprobleme, ein Komitee zur Gründung eines Gemeinschaftsunternehmens der Baufirmen und ein Informationszentrum für weitere 34 Unternehmen errichtet. Außer gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungstätigkeit sollen diese Zusammenschlüsse auch vorhandene Kapazitäten besser ausnutzen und Doppelinvestitionen vermeiden.

Die japanischen Unternehmen arbeiten mit ziemlich viel **Fremdkapital**, das die Banken der Industrie, mit der sie in Japan überaus eng zusammenarbeiten, auf dem Kreditwege zur Verfügung stellen. Die beachtlichen Finanzierungsleistungen kann der japanische Geld- und Kreditapparat durch die schon angeführte hohe Bildung an privaten Ersparnissen erbringen.

Expansive Geld- und Fiskalpolitik, restriktive Importpolitik

Die Basis für das japanische Wirtschaftswunder wurde durch entsprechende wirtschaftspolitische Maßnahmen gebildet. Fiskalpolitische Maßnahmen, wie das Schaffen billiger Kreditmöglichkeiten, haben dazu beigetragen, daß insbesondere die Science-based industries, an dessen vorderster Stelle die Computererzeugung, einen beachtlichen Aufschwung genommen haben. Da wirtschafts- und finanzpolitische Entscheidungen die Regierung gemeinsam mit den Banken und den großen Industrie-Konzernen trifft, können die japanischen Manager auf die Fortsetzung des Expansionskurses vertrauen und ruhig ihre Investitionen wie bisher zu 80% mit Fremdkapital finanzieren.

In dem letzten Jahrzehnt hat die **expansive Geld- und Kreditpolitik**, insbesondere auch die exportintensiven Wirtschaftszweige begünstigt, was dazu führte, daß in den Jahren 1968 und 1969 die japanischen **Exporte** eine Zuwachsrate von rund 24% aufwiesen. Japan vermochte damit von allen Staaten der Welt seinen Anteil am Welt-Handel am stärksten, nämlich von 3,4% 1959 bis auf 6,5% 1969 auszuweiten. Im gleichen Zeitraum sank der

Anteil der Vereinigten Staaten am Welthandel nach den Statistiken des International Monetary Fund (IMF) von 17,6% auf 15,5% und derjenige Großbritanniens von 9,7 auf 7,2%. Schätzungen zufolge wird der Anteil Japans am Welthandel bis 1975 auf 10% steigen, womit Japan nach den Vereinigten Staaten und der Sowjetunion in der Weltrangliste den dritten Platz einnehmen wird.

Japan ist jedoch nicht nur — wie ein Wirtschaftsjournalist feststellte — Weltmeister bei der Steigerung der Exporte, sondern auch im **Protektionismus**. Jeder japanische Industriezweig wurde zunächst durch hohe **Importquoten** und **Zölle** geschützt. Japan ist in der Welt führend bei der Anzahl der Importregelungen betroffenen Waren. Der Import von Fertigprodukten der Wirtschaftsmacht Japan ist kleiner als die Einfuhr Schwedens, obwohl das japanische Bruttonsozialprodukt sechsmal so hoch wie das schwedische ist.

Um nur einige Beispiele für Importrestriktiven herauszutragen: Bereits 1956 hatte Japan die größte Schiffs-tonnage der Welt, trotzdem gab es Importzölle auf Schiffe nur in einem Land der Welt — in Japan. Im Frühjahr 1969 fiel zwar der Importzoll weg, dennoch hat keine japanische Reederei jemals im Ausland arbeiten lassen. Als sich die japanische Regierung 1963 entschloß, die Importquoten für Autos abzuschaffen, wurde dafür der Importzoll auf 40% erhöht. In Schweden werden auf den Import von Autos 10% und in den USA 5% Zoll erhoben.

Dieses protektionistische Vorgehen wurde von allen Ländern der Welt heftig kritisiert. Vor allem, daß es in Japan üblich ist, daß die Wirtschaftspolitik entscheidend von der Unternehmerschaft, insbesondere den vier großen Organisationen, dem Industrieverband, dem Arbeitgeberverband, der Industrie- und Handelskammer und dem Komitee für wirtschaftliche Entwicklung, beeinflußt wird. Im krassesten Sinne des Wortes bedeutet das, daß die Werftindustrie Japans Werftpolitik gegenüber dem Ausland bestimmt, die Automobilindustrie über die Höhe der Importzölle entscheidet und die Elektroindustrie Japans Einfuhrzölle für Fernsehapparate und Tonbandgeräte festsetzt.

Japan nimmt in der Welt führende Positionen im Schiffsbau, in der Stahl- und Automobilindustrie ein

Die protektionistische Importpolitik hat Japan zwar viele Feinde auf der Welt geschaffen, jedoch auch dazu beigetragen, daß Japans Industrien stark expandierten. Welche Industriezweige sind es, in denen Japan derzeit in der Welt eine führende Position einnimmt?

An erster Stelle ist der **Weltenschiffbau** zu nennen, bei dem die Japaner bereits seit 1956 an erster Stelle liegen. Im Jahre 1968 lieferte Japan 18,1 Mio. BRT, das war rund 75% der gesamten Welttonnage. Japanische Werften bauen derzeit die größten Schiffe der Welt.

In der **Stahlindustrie** liegt Japan nach den Vereinigten Staaten von Amerika und vor der Bundesrepublik Deutschland an zweiter Stelle. Im Jahre 1968 stieg der japanische Stahlexport auf 13 Mio. Tonnen an, was einer mengenmäßigen Steigerung von 44% und einer wertmäßigen von 31% entspricht.

Die enorme Expansion der japanischen Stahlindustrie zeigt sich an Hand einiger Vergleichsdaten: Frankreich brauchte beispielsweise 10 Jahre, um seine Stahlproduktion von 15 auf 20 Mio. Tonnen zu erhöhen. Das gelang Japan in einem Jahr. Die Bundesrepublik Deutschland schaffte eine Erhöhung der Stahlproduktion von 29 auf 41 Mio. Tonnen in 10 Jahren. Japan konnte diese Steigerung in dreieinhalb Jahren verwirklichen. Als nächstes haben sich die japanischen Stahlproduzenten das Ziel gesetzt, die Stahlproduktion bis zum Jahre 1975 auf 160 Mio. Tonnen zu steigern und sich damit an die Spitze der Produzentenländer zu setzen. Bei der Erzeugung von Konverter-Stahl, auf den derzeit 79% des japanischen Produktionsvolumens entfällt, ist Japan schon jetzt in der Welt führend.

Die **japanische Autoindustrie** steht in der Weltrangliste hinter der amerikanischen an zweiter Stelle. In der Lastwagenherstellung konnte Japan die USA sogar auf den zweiten Platz verdrängen. Bei der Herstellung von **Radios, Nähmaschinen, Fahrrädern und Keramikartikeln** ist Japan in der Welt schon lange Zeit führend. Die zweite Stelle — nach den USA — nimmt Japan bei der Kunstfaserproduktion, der Zementherstellung, bei der Produktion von Fernsehgeräten, Musikinstrumenten, Baumwollgarnen und Gummi ein.

Große Zuwachsrate verzeichnet auch die **chemische Industrie** des fernöstlichen Kaiserreiches. Sie wies in den letzten Jahren eine durchschnittliche jährliche Zuwachsrate von 16% auf und lag damit weit über dem OECD-Durchschnitt.

Die Stellung Japans auf den Weltmärkten wurde gleichfalls immer bedeutender: An erster Stelle liegt wertmäßig die Ausfuhr der Stahlindustrie, gefolgt vom Schiffsbau und von der Automobilindustrie. An den folgenden Stellen der Exportliste scheinen dann auf: Metallwaren aller Art, Radioapparate, synthetische Fasern, Televisionsgeräte. Bekannt wurde Japan auch durch den Export von „Kleinigkeiten“, wie Porzellan, Schirme, Klaviere, Orgeln. Die Bedeutung des Exportes von Textilien ist wesentlich zurückgegangen. In den Fünfzigerjahren entfiel auf Textilwaren ein Drittel des Wertes der exportierten Waren, heute ist es nicht einmal mehr ein Sechstel.

Die Hauptabnehmer der japanischen Erzeugnisse sind die USA, die 31% der Exportgüter kaufen, und die südostasiatischen Länder, auf die 28% des Exportvolumens entfallen. Europa kauft wertmäßig nur 10% der japanischen Exportgüter, was mit dem langen Transportweg und den hohen Frachtkosten erklärbar ist.

Engpaß Infrastruktur

Die starke Industrialisierung brachte eine Reihe von Nachteilen mit sich, unter denen die japanische Bevölkerung und die Wirtschaft bereits jetzt zu leiden haben. Man muß nur bedenken, daß Japan, bezogen auf den Quadratkilometer, verglichen mit den USA, ein viermal so hohes Bruttonsozialprodukt erstellt. Wenn man berücksichtigt, daß Japan zu 69% mit Wald bedeckt ist, so wird die Relation noch krasser, und Japan produziert heute bereits neunmal soviel pro Quadratkilometer als die Vereinigten Staaten. Um das gegenwärtige Bruttonsozialprodukt der Vereinigten Staaten zu erreichen, müßten die Japaner pro Flächeneinheit 27mal soviel herstellen wie die USA.

Auf einer Gesamtfläche, die kleiner als Kalifornien ist, baute Japan 1968 mehr Wohnungen als die Vereinigten Staaten. Das ergibt einen 55fachen Unterschied in der Bauintensität pro Quadratkilometer. In der Anzahl der zugelassenen Kraftfahrzeuge pro Flächeneinheit hat Japan die vollmotorisierte US-Gesellschaft übertragen, einschließlich Kaliforniens, dem Staat mit der größten Kraftfahrzeugdichte der Welt. Obwohl Japan pro Quadratkilometer doppelt soviel Fahrzeuge wie die USA besitzt, entfällt in Japan ein Kraftfahrzeug auf sieben und in den USA auf zwei Personen.

Die relativ geringe Fläche, auf der sich der gewaltigste Wirtschaftsaufschwung der Welt vollzieht, brachte nicht nur steigende Grundstückspreise — seit 1958 haben sich die Grundstückspreise verelfacht —, sondern auch eine Reihe von außerwirtschaftlichen Problemen, die noch dadurch verstärkt werden, daß ein Großteil der Investitionen dem Ausbau des Produktionsapparates und nicht der Infrastruktur zugute kamen. Das wird um so spürbarer, als Japan bei der Bildung des sogenannten „social capitals“ von einer relativ niedrigen Ausgangsbasis startet.

Die Abgaswolken von den großen Industriebetrieben sind in Japan 14mal so dicht wie in Schweden. Die Luftverschmutzung ist im Durchschnitt um 50% höher als selbst in London. Das führt dazu, daß jeder 5. Einwohner Tokios im Alter von 40 Jahren Bronchitis hat. 7% aller japanischen Männer weisen Krankheitssymptome auf. 40% der Schulkinder im Bereich von Yokkaichi, dem Zentrum der petrochemischen Industrie, leiden unter Halsbeschwerden, Kopfschmerzen und Hustenanfällen. In den meisten industrialisierten Gebieten haben die Kinder Lärmschäden aller Art und wachsen langsamer als anderswo. Die Flüsse in Tokio sind zu 40% verunreinigt und können nicht zum Baden verwendet werden. 1969 wurden in Japan 1 Mio. Menschen bei Verkehrsunfällen verletzt, womit Japan in der Verkehrsunfallstatistik führt. Dazu trug noch die Tatsache bei, daß die japanischen Städte kaum Fußgängerwege haben, da die Grundstückspreise zu hoch sind.

Obwohl Japan mit imposanten punktuellen Leistungen im **Transportwesen**, wie etwa mit dem Bau des Tokio-Osaka-Expresses oder der Highways in Tokio für die Olympiade, von sich reden macht, sind die Verkehrseinrichtungen ungenügend. Während die **Kraftfahrzeugdichte** in Tokio in den letzten 10 Jahren um das Fünf-

fache zugenommen hat, ist die Länge der Straßen nur um 6% erhöht worden. Ähnlich sieht es auch im Bereich der industriellen Transport- und Verkehrseinrichtungen aus. Während Japan Tanker in der Größenordnung von 450.000 Bruttoregistertonnen baut, sind keine Hafenanlagen für die Kapazität dieser Schiffe vorhanden. Japan hat bereits schon jetzt gegen die Theorie von Kennet Galbraith verstoßen, nach der eine Gesellschaft im Überfluß Schwierigkeiten bekommt, wenn sie zwischen privatem und kollektivem Konsum bzw. zwischen privaten und öffentlichen Investitionen keinen Ausgleich findet.

Wohnungs- und Hausbau, Entwässerungs- und Wasserversorgungssysteme, Straßen und Parkplätze sind jene Investitionen, die die Industriemacht Japan in den nächsten Jahren tätig sein müssen, wenn sie sich nicht der Gefahr aussetzen will, daß die fehlende **Infrastruktur** eines Tages zu einem wirtschaftlichen Engpaß wird und damit das Ziel der Sicherung eines langfristigen Wirtschaftswachstums in Frage stellt.

Wachstumshemmende Tendenzen

Während Japan nach den USA in absoluten Zahlen über das zweithöchste Bruttonsozialprodukt der Welt verfügt, steht es — auf Grund der hohen Bevölkerungszahl — auf der Liste der Kopfquoten des Bruttonsozialproduktes erst an 18. Stelle. Der persönliche Lebensstandard des Japaners beträgt etwa 50% des Schweizers und 30% des Amerikaners. Der Durchschnittsjapane wird aller Voraussicht nach daher trachten, ein höheres Einkommen zu erreichen, wobei Lohnforderungen auf Grund des sich schon jetzt bemerkbar machenden Mangels an qualifizierten Arbeitskräften — lediglich in der Verwaltung und im Dienstleistungsgewerbe gibt es noch Reserven an Arbeitskräften — leicht durchzusetzen sein werden. Damit fallen die billigen und vielen Arbeitskräfte als Wachstumsfaktor weitgehend weg.

Auch in anderen Bereichen scheinen sich Tendenzen abzusehen, die Japans rapides Wachstum in Zukunft etwas hemmen könnten: Weil die technologische Lücke zwischen Japan und den hochindustrialisierten Staaten immer geringer wird, hat Japan künftig nicht mehr die Möglichkeit, technologisches Wissen in diesem Ausmaß aus dem Ausland zu importieren. Das Land ist daher auf eigene Forschungsergebnisse angewiesen und wird künftig einen größeren Teil des Bruttonsozialproduktes für Forschung aufwenden müssen. Auf die Dauer wird sich Japan aller Voraussicht nach auch nicht dem Druck der USA entziehen können, in Asien eine größere politische und wirtschaftliche Rolle zu spielen. Das würde bedeuten, daß sowohl die Rüstungslasten als auch die Entwicklungshilfe einen größeren Anteil im japanischen Bruttonsozialprodukt einnehmen werden, der damit für andere Ziele, wie den weiteren Ausbau der Fertigindustrie, nicht eingesetzt werden kann.

Zunehmende Internationalisierung

Neue Tendenzen ergeben sich in Japan auch dadurch, daß in letzter Zeit eine gewisse Internationalisierung der Wirtschaft festzustellen ist. Japanische Gesellschaften erschließen in Übersee **Rohstoffvorkommen**. Für das Jahr 1975 plant die Regierung, 17% ihres Bedarfes an Rohöl aus von Japan in Übersee entwickelten Rohstoffvorkommen zu decken. Im gleichen Jahr wird der Bedarf an Kupfer in der Höhe von 1,2 Mio. Tonnen zu 73% durch Einfuhr gedeckt werden müssen.

Auch die Herstellung und Montage von Fertigprodukten im Ausland mit japanischem Kapital wird zunehmend forciert. Japans Automobilfabriken haben Montagewerke in Lateinamerika und Südostasien, in Kanada, Südafrika und Australien aufgebaut. In den Entwicklungsländern werden Fabriken gegründet, für die Japan Kapital und Technologie und in den meisten Fällen auch die Rohmaterialien geliefert hat.

In steigendem Umfang stellt Japan auch Kapital für internationale Finanzierungszwecke zur Verfügung. Bei der Gründung der Asian Development Bank, der Private Investment Company for Asia und bei der Regelung der Schulden Indonesiens spielt Japan eine führende Rolle.

In Umkehr der bisherigen Tendenz gewinnt derzeit auch ausländisches Kapital in Japan größeren Einfluß. Im Fiskaljahr 1969/70 beliefen sich die Nettokäufe japanischer Aktien durch ausländische Investoren auf einen Wert von 716 Mio. Dollar und waren damit mehr als doppelt so hoch wie im Vorjahr. Das Finanzministerium kündigte

an, daß die Restriktionen beim Erwerb japanischer Wertpapiere weiter gelockert werden sollen. Das fernöstliche Kaiserreich Japan kann sich einer zunehmenden Internationalisierung der Wirtschaft auf die Dauer nicht entziehen.

Dkfm. Dr. Eva POHL

Literatur zur Fortbildung

K. Hax und Th. Wessels (Hg.): Handbuch der Wirtschaftswissenschaften. 2 Bände, 862 und 774 Seiten; 2. Auflage, Westdeutscher Verlag Köln und Opladen 1966; Studienausgabe 1. Band 36 DM, 2. Band 33 DM, beide Bände zusammen 60 DM.

Ein Großteil der Kollegen beschäftigt sich schon seit einiger Zeit mit Wirtschaftskunde und verfügt somit bereits über ein gewisses Grundwissen. Immer wieder stößt man jedoch auf Probleme, die einen etwas anspruchsvolleren Informationshintergrund erfordern. Auch bringt die Arbeit auf der Oberstufe die Notwendigkeit, sich in manche Gebiete stärker zu vertiefen. Für solche Fälle ist das vorliegende Werk eine ausgezeichnete Hilfe. Es vermittelt dem Benutzer in gedrängter Form einen Überblick über die verschiedenen Bereiche der Wirtschaftswissenschaften. Band 1 beinhaltet die Betriebswirtschaft. Nach einer Einführung in die Grundfragen folgen Darstellungen der Unternehmungsorganisation, des Personalwesens, der Fertigungswirtschaft und des Beschaffungswesens, der Absatzwirtschaft, der Finanz- und Investitionsentscheidungen sowie Abschnitte über das betriebswirtschaftliche Rechnungswesen. Band 2 beschäftigt sich mit der Volkswirtschaftslehre, mit dem Geld- und Kreditwesen, den verschiedenen Bereichen der Wirtschaftspolitik, der Finanzwirtschaft, der Statistik, der Wirtschaftsgeschichte, dem Wirtschaftsrecht und der Wirtschaftsgeographie. Die 24 Mitarbeiter (unter ihnen neben den beiden Herausgebern u. a. Rittershausen, Abel, Schmölders und Kraus) waren bestrebt, wissenschaftlich exakt und klar verständlich über ihre Spezialgebiete zu berichten, wobei sie vor allem Wert darauf legten, Grundprobleme zu erörtern und Zusammenhänge darzustellen. Die jedem Abschnitt angeschlossenen umfassenden Literaturhinweise gestalten dem Interessenten ein vertieftes Studium der jeweiligen Teilbereiche. Das Werk ersetzt eine ganze Fachbibliothek. Es kann sowohl als Lehrbuch als auch — dank des ausführlichen alphabetischen Sachverzeichnisses — als Lexikon verwendet werden. Gegenüber vielen Fachbüchern aber hat es den Vorteil, auch dem weniger Versierten verständlich zu sein. Wir empfehlen es den Kollegen, die sich ein solides wirtschaftskundliches Fachwissen für die Oberstufenarbeit erwerben wollen, und hoffen, daß es möglichst viele Lehrerbibliotheken anschaffen werden.

W. S.

Gerd Grope: Die zweitbeste Wirtschaft. Utopien und reelle Chancen in der modernen Wirtschaft. 336 Seiten, zahlreiche Diagramme; Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden 1970. 29.30 DM.

Hier hat ein bekannter Wirtschaftsjournalist ein Buch geschrieben, das modern im Stil, fesselnd, dabei aber immer wissenschaftlich fundiert, auch dem Laien die Grundfragen und Zusammenhänge der modernen Wirtschaftspolitik am Beispiel der Bundesrepublik, dass sich dazu besonders gut eignet, klar und verständlich vor Augen führt. Es will dabei nicht wertfrei sein. Wenn der Autor nach den Zielen der Wirtschaftspolitik fragt, so untersucht er sie unter dem Blickpunkt, welche Wege hat man bisher verfolgt, um diese Ziele zu erreichen bzw. stehen eventuell bessere zur Verfügung? Im zweiten Teil seiner Ausführungen setzt sich der Verf. dann ausführlich mit dem Sinn des wirtschaftlichen Wachstums auseinander, greift die Probleme der Mitbestimmung auf und versucht abschließend, die Frage zu beantworten, welche wirtschaftliche Zukunft wünschenswert und praktisch möglich ist.

Das Buch ist kein Lehrbuch. Dennoch sollten es die Kollegen, die Wirtschaftskunde unterrichten, lesen — auch wenn sie nicht in allen Ansichten dem Autor zustimmen. Neben einer Reihe von Fakten über die Wirtschaft unseres Nachbarlandes vermag man nämlich aus dem Buch zu lernen, wie man auch trocken erscheinende Themen geschickt anpacken und spannend behandeln kann. Leider wird der relativ hohe Preis manchen abschrecken, es zu kaufen.

W. S.