

# Wissenschaftliche Nachrichten

Herausgegeben vom Bundesministerium  
für Unterricht und Kunst

Nr. 67 – Jänner 1985



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.

## INHALT:

	Seite
<b>GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME</b>	
Das Problem „Entscheidung“ in seiner Aktualisierung .....	2
Buchbesprechung .....	4
<b>BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN</b>	
Über die Tücken des Artbegriffes .....	4
Kurznachrichten .....	7
<b>CHEMIE</b>	
Einfache Methoden zur chemischen Untersuchung von Regenwasser und Schnee (I) .....	11
Cluster – Eine interessante Organisationsform der Materie .....	14
Interstellares C, O .....	15
Eine zehnte Eisphase .....	15
Diamant, Graphit, Carbin .....	15
Z = 108 aus dem Schwerionenbeschleuniger UNILAC .....	16
Kurznachrichten .....	17
Erfahrungen mit einem chemischen Praktikum (III) .....	17
Buchbesprechungen .....	21
<b>EXPERIMENTALPHYSIK</b>	
Einige interessante Schulversuche .....	21
Berichtigung .....	23
<b>MATHEMATIK</b>	
Geometrie auf der Kassettendecke (I) .....	24
Das gleichflächige Tetraeder .....	27
Ein wenig bekannter Zugang zu den komplexen Zahlen .....	30
Nachtrag .....	31
Aufgabenecke .....	31
Buchbesprechungen .....	32
<b>PHYSIK, ASTRONOMIE</b>	
Die CERN-Physiker Carlo Rubbia und Simon van der Meer erhielten den Physik-Nobelpreis 1984 .....	33
30 Jahre CERN .....	33
Phasenkonjugierte Reflexion .....	33
Excitonen .....	34
Myoneneinsatz im Tiefbau .....	35
Aminosäuren überbrücken Datierungslücke .....	36
Relativistische Kinematik ohne höhere Mathematik .....	36
Einstein auf dem Prüfstand .....	39
Neues Indiz für Schwerewellen .....	40
Wieder zwei Gravitationslinsen erkannt .....	41
Die natürlichen Planckschen Maßeinheiten .....	41
Quantentheorie der Gravitation .....	42
Die Solarkonstante ist keine Konstante! .....	44
Planetoid mit 0,1 A.E. Periheldistanz .....	44
Rätselhaftes Zeta-Teilchen .....	45
Der Halley-Komet – eine Vorschau .....	45
Die Internationalen Physik-Olympiaden (IPHO) .....	46
Mitteilungen der ÖPG .....	46
Buchbesprechungen .....	47
<b>WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE, WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN</b>	
Bevölkerungswachstum .....	47
Die Ausländerfrage als Aufgabe West-Berlins .....	50
Empfehlenswerte Neuerscheinungen .....	51

## Zur Beachtung!

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

## Das Problem „Entscheidung“ in seiner Aktualisierung<sup>1)</sup>

### Die Fragestellung

Es ist üblich geworden, daß Angelegenheiten, die man allgemein für wichtig hält und sachlich als nicht ganz eindeutig gelten, von Politikern dem „Volk“ zur „Entscheidung“ vorgelegt werden. Diese Politiker, die letzten Endes für die Lösung solcher Angelegenheiten verantwortlich sind, meinen, daß der kundgetane „Wille“ des Volkes für sie selber dann eine „Entscheidungshilfe“ wäre. In Wirklichkeit fällt jetzt erst eine Entscheidung, und damit ist dieses Phänomen sehr komplex geworden.

Ein junger Mensch, der unter derartigen Gepflogenheiten aufwächst, findet solche Mechanismen bald selbstverständlich.

Angehörigen älterer Generationen, die auch um andere politische Mechanismen wissen, erwächst die Aufgabe, das Thema zu problematisieren, es sollte Klarheit über den Begriff geben.

Das Problem wird noch interessanter und drängender, wenn man bedenkt, daß Entscheidungen, die die Allgemeinheit in einem Staate betreffen, nicht wahllos nebeneinander bestehen und pluralistisch miteinander fortwirken können.

Jede Entscheidung muß auch in einer komplexen Zeit sinnvoll zur Entschiedenheit gebracht werden.

### Sprachliche Grundlagen zur Fragestellung

In einer Kundgabe über Gegenständliches sind zwei Momente wesentlich: man weist auf Inhaltliches hin und merkt zugleich auch den Stellenwert an, den das Gegenständliche in einem System von bereits Begriffenem hat. Was bedeutet nun in dieser Hinsicht der Ausdruck „Entscheidung“?

Zugrunde liegt das Verbum (Sich)-Entscheiden. Dieser Ausdruck bedeutet von der Wurzel her wohl (Sich)-absondern; d. i. daß eine Möglichkeit als Ausgang für weiteres Denken und (oder) Handeln absichtlich (oder willentlich) vorgezogen wird, wodurch andere Möglichkeiten ausgeschlossen werden. Von da her kommen dann die anderen Bedeutungen, die noch aufgefunden werden können, wie: bestimmen, richterlich urteilen, beschließen, schlichten, festlegen.

Dem entsprechen sehr ähnlich der griechische Ausdruck *Krisis* (zu *krino*) und das lateinische Wort *decisio* (zu *decido*), welcher letztere Ausdruck der weitaus handfestere ist (abschneiden, abhauen<sup>2)</sup>).

### Verwendungsbereiche des Begriffes „Entscheidung“

Der Gebrauch der Wörter *Krisis*, *decisio*, Entscheidung ist mannigfaltig; sie finden sich im Zusammenhang mit rechtlichen und politischen Fragen (reflektiert von Aristoteles bis H. Lübke) sowie in den Bereichen der Ethik und des Religiösen (in der neueren Zeit sehr emphatisch seit S. Kierkegaard). Ins Transzendente reichen die Vorstellungen des Totengerichtes, also einer endgültigen Entscheidung, bei Ägyptern und Platon und die einschlägigen Vorstellungen in der jüdischen und christlichen Tradition bis hin zu den Gedanken der dialektischen Theologie. Seit den Überlegungen M. Webers entwickelt sich auch eine Theorie der Entscheidung mit wertfreien wissenschaftlichen Methoden (*decision theory*)<sup>3)</sup>.

Schon aus diesen kurzen Verweisen ist ersichtlich, daß das Problem des Bestimmens dessen, was einer Entscheidung im strengen Sinn zukommt, von einer erstaunlichen Umfassendheit ist und von individuellen Belangen bis zu solchen des Kollektiven, ja Universalen reicht<sup>4)</sup>. Da bedarf es einer sorgfältigen Sichtung.

### Problemlösungsversuche

Drei Exemplare von Versuchen, das Problem „Entscheidung“ zu lösen, seien hervorgehoben; es wird sich erweisen, daß sie folgerichtig aufeinander beziehbar sind.

1. Die Entscheidungs- oder Dezisionstheorie – so sei sie zusammenfassend genannt – hat im Kern zum Ziel: die Formulierung von Regeln des Entscheidungsfindens, die Charakterisierung der Kriterien einer Objektivität des Treffens einer Entscheidung und das Verfahren der Optimierung des Resultates.

Hilfestellung leisten hierbei die Grundlagenforschungen zur Ökonomie, der Moralphilosophie, der Sozialphilosophie, der Lerntheorie, der Politologie, der allgemeinen Systemtheorie, die integrativ wirkt. Die Spieltheorie sei besonders genannt; ihre Erkenntnisse lassen sich rechnerisch an konkreten Beispielen überdenken.

Insgesamt: Im Einzelfall ist ein Entscheidungsfeld als gegeben anzunehmen. Innerhalb des Entscheidungsfeldes müssen verschiedene Möglichkeiten zur Wahl aufgefunden, d. i. gedacht werden. Von den Wahlmöglichkeiten kann dann die optimal zu irgendeinem Fortschritt führende rational bestimmt werden. Sichere und objektive Regeln wären somit möglich.

Aber gerade in diesem Resultat taucht das Fragwürdige einer theoretischen Dezision auf: Rationale Lösungen beruhen auf der Kontradiktion Wahr/Falsch. Es ist richtig, daß die Zuordnung, was wahr, was falsch ist, mit Hilfe der modernen logischen Verfahren gefunden werden kann; wobei freilich die unwiderruffliche Erkenntnis Gödels, daß Aussagen innerhalb eines Systems formulierbar, aber nicht begründet werden können, nicht beachtet bleiben müßte, was im Falle einer „Entscheidung“ doch nicht ganz erfreulich ist, denn Entscheidungen sind Manifestationen einer Begründung aus sich selbst. Sie können ja nur so neue Wirklichkeiten „begründen“. Aber das Wesentliche ist, daß der Wahlhandlung jeweils Vorentscheidungen vorangehen, die durch eine neue Entscheidung außer Kraft gesetzt werden. Gerade dieser personale Bezug aber wird durch die Rationalisierung vernachlässigt. Die sogenannte Entscheidungstheorie reduziert das eigentliche Problem auf ein einfaches Wahlproblem.

Der in der Wirklichkeit sich abquälende Mensch, der in seinen Vorentscheidungen anlage- und milieubedingt ist, muß wohl des öfteren emotionell aus der Schiene Wahr/Falsch ausbrechen, um sein Leben existentiell bewältigen zu können. An die Tatsache der Existentialität aber ist die Frage der Sinnhaftigkeit des Daseins von jedermann geknüpft.

Unter diesem Gesichtspunkt könnte die Deontik<sup>5)</sup> (Deontologie, deontologische Ethik), welche eine Normenlogik ist, als ein Sproß der Entscheidungstheorie betrachtet werden. Sie findet bezeichnenderweise in der marxistisch-leninistischen Philosophie, die sich allein für wissenschaftlich vollendet hält, sehr starke Beachtung. Damit würde an der Deontik, gedacht als wissenschaftliches Fundament für den Übergang von Theorie zur Praxis, die gleiche Kritik geübt werden müssen, wie bereits ausgeführt, und für das Phänomen „Entscheidung“ als nicht befriedigend anzusehen sein.

2. Seit den wissenschaftlichen Bemühungen M. Webers sind zwei Thesen von der Mehrzahl der Forscher angenommen worden: Entscheidungen sind Stellungnahmen zu Werten, und Wissenschaft kann Werte nicht begründen. Das bedeutet, daß Entscheidungen Phänomene der Weltanschauung (Weltgrundauffassung) sind.<sup>6)</sup>

Bei solchem Ausgang der Überlegungen wäre man grundsätzlich aus jener Rationalität heraus, die in der Entscheidungstheorie zur Erklärung von Entscheidungen aus jeweiligen Wahl-situationen führt.

F. v. Kutschera hat im Zusammenhang mit der Charakterisierung der Entscheidungstheorie folgendes festgehalten: „Rationale Handlungen führen nicht immer zum Erfolg, und erfolgreiche Handlungen sind nicht immer rational; sie sind dann nicht rational, wenn der Erfolg der bei der Entscheidung verfügbaren Informationen nicht zu erwarten war.“<sup>7)</sup> Bei der Berechnung der Nützlichkeit der Handlungen käme es auch nicht auf den objektiven Wert der möglichen Resultate an, sondern allein auf den subjektiven Wert.

Damit ist der Ausgangspunkt der Faktoren in bezug auf Entscheidungen genannt: verfügbare Informationen (rational begreifbar), Wertrelation (außerhalb einer rationalen Festlegung), Resultat (aus einer Art ontologischen Präferenz). Dabei wird ausdrücklich festgehalten, daß „Präferenzstrukturen“ als „Wertstrukturen“ aufzufassen sind.

Die Wertstrukturen einer Person lassen sich begreifen; sie können meßbar gemacht werden. Entscheidungen müßten dann so getroffen werden, daß ein maximaler Nutzen für die Person und ein minimaler Schaden entsteht. Das ist abhängig davon, wie „wichtig es in der gegebenen Situation ist, Nutzen zu erreichen bzw. Schaden zu vermeiden.“ Und nun erst der notwendige Schritt in die objektive Sphäre.

Es gibt auch verbotene und gebotene Handlungen. Hier eröffnen sich normative Präferenzrelationen, d. h. „was im Sinne eines intersubjektiven Systems von Normen oder Werten vorzuziehen ist“. Diese normativen Präferenzen sind gelegentlich wieder eingebettet in verschiedene Normensysteme, „z. B. ethische und juristische, politische und religiöse“. In diesem Falle muß eine „Rangordnung zwischen diesen Normensystemen festgelegt“ werden „mit der Maßgabe, daß, falls die Normen verschiedener Systeme einander widersprechen, jeweils die Norm des Systems mit dem höchsten Rang gelten soll“. Beispiel: Bundesrecht bricht Landesrecht. Für den einzelnen Menschen allerdings ist entscheidend, daß er „nach bestem Wissen und Gewissen handelt“. Das beinhaltet aber auch „Relativität, weil verschiedene Menschen“ verschiedene Glaubensannahmen über die Welt machen“.

F. v. Kutschera bedient sich also der Erkenntnis der Entscheidungstheorie im engeren Sinn, ergänzt sie jedoch – im übrigen auf Grund der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion – durch folgende Feststellungen:

a) daß es in einer Entscheidung eine Verflechtung von Logischem, Werten und Normen gibt, und daß b) jeder Entscheidung Annahmen über die Verfassung der „Welt“ vorausgehen.

(Abschließende Erörterungen, daß es zwischen empirischen Erkenntnissen und Werterkenntnis „tragfähige Analogien gebe, welches Problem noch nicht gelöst sei“, ist in dem Zusammenhang dieser Abhandlung nur von indikatorischer Bedeutung.)

Insgesamt ist durch die Bemühungen F. v. Kutscheras die Problematik des Phänomens der Entscheidung einer besseren Klärung zugeführt; sie ist notwendigerweise im Zusammenhang mit der einer Entscheidung folgenden Handlung gesehen.

Nicht berücksichtigt aber ist die empirisch feststellbare Tatsache, daß sich in jeder Entscheidung auch ein Moment der Selbstsicherheit findet, d. h. jeder Entscheidung müßte der Satz hinzuzufügen sein: So und nicht anders soll es sein.

Damit würde Wert geschaffen, Verantwortung auf sich genommen und das Seinsgefüge nicht zerstört werden, somit den rechtlichen und ethischen sowie den praktischen und ontologischen Dimensionen dessen tatsächlich gerecht werden, was der sprachliche Ausdruck andeutet.

3. Die dargestellten Zusammenhänge sind von der politischen Praxis unserer Zeit ausgegangen. Sie kehren nunmehr wieder an den Ausgangspunkt zurück. Von dem auch von sehr vielen Naturwissenschaftlern als Autorität anerkannten K. Popper findet sich am Schluß seines bekannten Werkes „Die offene Gesellschaft“ folgendes vorgetragen<sup>8)</sup>: In einer Welt von Tatsachen, seien es nun „Tatsachen der Natur oder Tatsachen der Geschichte“, die als solche keinen Sinn haben, sind wir es, die „durch unsere Entscheidungen“ Sinn „verleihen“. Wir Menschen sind „im großen und ganzen eher emotional, wir können aber versuchen, etwas mehr rational zu werden“. Machtpolitik wird abgewiesen werden müssen durch unseren „Kampf für die offene Gesellschaft“, d. i. für die „Herrschaft der Vernunft“.

In dieser Auffassung laufen nun alle Stränge der bisherigen Erörterung zusammen, die Lösung, die K. Popper angeboten hat, scheint einen Abschluß anzubieten. Das Vorangegangene hat sich gewissermaßen folgerichtig aneinandergereiht.

Und es heißt: Wir müßten zu „Schöpfern unseres Geschicks werden... dann wird es uns vielleicht eines Tages gelingen, die Macht unter unsere Kontrolle zu bekommen“. Es hängt dies von unserer Wahl ab, was gewissermaßen als eine Art Urwahl zu verstehen ist für die „Selbstbefreiung durch das Wissen“.

Ist das eine unangreifbare Lösung für die Problematik des Phänomens „Entscheidung“?

Das wäre so, die zentrale Frage berührend, noch zu überprüfen.

#### Das Problem in seiner vollen Wichtigkeit

Man kann durchaus der Meinung sein, daß durch seinen grundsätzlichen Entschluß, alles ständig einer rationalen Kontrolle zu unterwerfen, das Leben der Menschen besser und

sinnvoller werde, aber dabei läßt man dennoch die Voraussetzung außer acht, daß dahinter der Gedanke einer Approximation an einen erst in der Zukunft erreichbaren Zustand angenommen ist. Erkennt man dies, so ist eine solche Auffassung sofort der Kritik jedweden utopischen Denkens ausgesetzt: Jeder einzelne muß jetzt leben, und das Paradies in unbestimmter Zukunft hilft ihm nicht weiter.

Das bedeutet in unserem Zusammenhang: Jede Entscheidung, sie sei emotional oder rational motiviert, erhält erst dann ihr existentielles Gewicht; wenn sie auf dem Hintergrund einer Lebenstotalität verständlich wird, die zu verantworten ist. Um im Bereich des Politischen zu bleiben, so kann die Abgabe eines Stimmzettels bei einer Wahl sehr verschieden motiviert sein (Denkzettel, Zu- oder Abneigung gegen eine Person, Parteizipelin etwa); wesentlich ist, daß mit jedem Stimmzettel eine Ideologie bejaht oder verneint wird; dies aber ist für die weitere Entwicklung der Gesellschaft ausschlaggebend. K. Popper kann noch einmal zitiert werden: „Die Wahl, vor der wir stehen, ist nicht einfach eine intellektuelle Angelegenheit oder eine Geschmacksfrage. Sie ist eine moralische Entscheidung.“ Aus der des textlichen Zusammenhanges Enge herausgeführt und ergänzt:

Jede Entscheidung ist eine ethische Angelegenheit und ist eine Auseinandersetzung mit Ideen, an die man glaubt oder die man mitfühlen oder mitemdenken könnte. Zur Illustration seien einige aktuelle Beispiele genannt: Bewahrung der Natur in ihrer Ursprünglichkeit, Ehrfurcht vor dem Leben, Rechtsstaatlichkeit, ein leninistischer Gesellschaftsaufbau).

Um alles dies in noch weiterem Zusammenhang zu sehen: Entscheidungen sind mehrstrahlig, d. h. komplex und verschiedenartige Kausalketten in der Wirklichkeit auslösend, oft konfliktauflösend; sie orientieren sich an Normen und Ideen, nicht nur an Ideologien. Nur jene Ideen, die ethisch genannt werden müßten, humanisieren auch, machen menschlich.

Dabei braucht man vor dem Ausdruck „Ideen“ nicht zu erschrecken, versteht man ihn, nur verallgemeinert, was zunächst nur für die Naturgesetze gedacht war, als „Gedankenwesen“, die „unserm Verstandesgebrauch zur durchgängigen Einhelligkeit, Vollständigkeit und synthetischen Einheit“ bringen, im „Ganzen“ der Erfahrung gelten und regulativ sind<sup>9)</sup>.

So ergibt sich aus der Analyse der Problematik: Was eine Entscheidung bedeutet, kann nur verstanden werden aus der Spannung, in der jedes Ego sich in jedem Moment seines Lebens finden kann, jener zwischen Unbestimmtheit und Ordnung als den subjektiven und objektiven Erlebnisformen, zwischen Sein und Nicht-so-sein, als eine Soll-Erfahrung<sup>10)</sup>.

Und zusammengefaßt charakterisiert: Eine Entscheidung ist nach einem psychischen Prozeß des Fühlens, Denkens und Wollens sowie auf Grund der Anerkennung oder Herausforderung eines Sachverhaltes der Beschluß zu einer Tathandlung<sup>11)</sup>, deren Auswirkung für den Menschen, der diesen Beschluß faßt, von existentieller Bedeutung ist, aber auch wichtig für dessen Mitwelt.

Eine Entscheidung ist nur aus dem Zusammenbestehen mehrerer Momente begreifbar und reflektierbar; von Subjektivität (psychisch) – Verantwortliche Notwendigkeit (existentiell) – Handlungsfolgen (ethisch) – Mitmenschen und Sachwelt (Objektivität) – Bedeutung in weiteren Zusammenhängen (relative Totalität).

Diese Auffassung steht im Gegensatz zu einer Haltung des Sichselbstverwirklichens nach dem Grundsatz „Ich existiere, wie ich es will“, wie dies vor allem lehrhaft J. P. Sartre vertreten hat, dessen Denken noch lange nicht überholt ist. Mit Recht konnte man sein Denken als den „Mythos unserer Zeit“ bezeichnen<sup>12)</sup>.

#### Didaktisches Nachwort

Die Erörterung des Themas „Entscheidung“ mit jungen Menschen ist wichtig. Deren Entwicklung ist eine Kette von Entscheidungen (Rombach: „Strukturbereinigungen“). Der Philosophielehrer ist dabei vor die Aufgabe gestellt, im Jugendlichen das Verständnis dafür zu erwecken, daß Entscheidungen zu treffen nicht ausschließlich ein subjektiver Akt ist. Aus Entscheidungen entwickeln sich Charaktere und der Ablauf der Dinge der Welt mit; aus einem Verhalten in einem Augenblick wird Zukunft.

Im praktischen unterrichtlichen Verfahren kann man von einem aktuellen Beispiel ausgehen; doch wird man besonders darauf achten müssen, daß das Beispiel nicht Anlaß dazu wird, das Problem zu zerreden. Selbstverständlich darf das, was in der Abhandlung oben gesagt wurde, nicht als ein Kanon vorgelesen werden, den man dann abprüft. Aus der obigen Darle-

gung kann verwertet werden: die Erläuterung des Wortes Entscheidung, aber an Beispielen, die der Lehrer selbst gesammelt hat; kurze Beschäftigung mit der Entscheidungstheorie in ihrer einfachsten Form und Herausarbeitung ihrer zu engen Lösung; die Unzulänglichkeit von nur der augenblicklich pragmatisch oder Ideologien verpflichteten Entscheidungen, was nur dialogisch geschehen kann und je nach geistigem Niveau der Klasse verschieden sein würde. Zusammenfassung nicht in einer Art Definition, wie eine solche oben angedeutet worden ist, sondern in der Erkenntnis, daß die genannten Momente (Subjektivität usw.) gleich wesentlich sind. Der Jugendliche muß ein Wissen darum bekommen, daß jede seiner Entscheidungen ihm zugleich auch Verantwortung aufbürdet, ihm aber auch immer wieder menschliche „Würde“ verleiht.

Nur in solcher Weise wird der Forderung Rechnung getragen, die gerade in dieser Zeitschrift immer wieder vertreten worden ist, nämlich Lehreinheiten sachlich gerechtfertigt zu fundieren, der jugendlichen Psyche angemessen und lebendig zu unterrichten, nicht zu dozieren. Nur so auch fügt sich das Kapitel in die Gesamtzielsetzung des Philosophieunterrichtes ein, erstrangig zum genauen Nachdenken zu erziehen, wenn es sich um humane Probleme handelt.

Die Aktualität der Probleme wechselt, sie wird herausfordernder und nimmt ab; es ist dann dem Geschick des Lehrers – nicht seinen, manchmal zeitmäßig opportunen Neigungen – überlassen, von einem Tagesereignis und zunächst scheinbaren Kleinigkeit auszugehen und sowohl fundamentiert als auch zielsicher die grundsätzliche Problematik herauszuarbeiten.

#### Anmerkungen

<sup>1)</sup> Das Thema wird hier als ein aktuelles behandelt und in seiner Wichtigkeit erörtert, daher eine Darlegung aus seiner Folgerichtigkeit. Die historischen Zusammenhänge des Problems und die Grundsätzlichkeit in philosophischer Sicht ist schon früher einmal in den Wissenschaftlichen Nachrichten erörtert worden; dort wurde es illustriert an einem repräsentativen Text und die Subtilität des Überdenkens für den Lehrer herauszuarbeiten versucht. Seither ist das Finden von „Entscheidungen“ zu einer Kulturtechnik geworden und wurde deshalb noch einmal aufgegriffen. Es finden sich selbstverständlich Parallellitäten, die von dem sich vorbereitenden Lehrer herangezogen werden können. In der vorliegenden Arbeit kam es auf die Resultate der gegenwärtigen Forschung an, es konnte daher die Darstellung kürzer gefaßt werden. Die Vergleichsmöglichkeit finden sich in WN Nr. 35, 36, 37.

<sup>2)</sup> Vgl. einschlägige philologische Wörterbücher.  
<sup>3)</sup> Vgl. hierzu unter den einschlägigen philosophischen Wörterbüchern (Hist. WB der Philosophie bei Schwabe und Handbuch philosophischer Grundbegriffe bei Kösel) die Stichwörter „Entscheidung“. Auf den Beitrag von H. Rombach in dem letzteren Werk sei besonders hingewiesen. Ausführlicher hierüber in dem früheren Aufsatz, WN 37/S. 2. Auch auf die Literaturangaben in O. Höffe, Lexikon der Ethik bei Beck, München, sei verwiesen. S. 45 ff.

<sup>4)</sup> Vgl. als moderne Themenstellungen, was W. Stegmüller in Hauptströmungen der Gegenwartphilosophie, Kröner, Bd. II, unter Hermeneutik und Entscheidungslogik berichtet.

<sup>5)</sup> Vgl. Kolloquium IV in Akten des XIV. Internationalen Kongresses für Philosophie in Wien, 1968, Bd. II.

<sup>6)</sup> Vgl. Werturteilstreit, Darmstadt 1971, insbesondere die Ausführungen von H. Albert.

<sup>7)</sup> Die aus F. v. Kutschera, Einführung in die Logik der Normen, Werte und Entscheidungen, 1973, zitierten Stellen finden sich der Reihe nach auf den Seiten 105, 106, 114, 116, 117, 124, 134.

<sup>8)</sup> Die aus K. R. Popper, Die offene Gesellschaft und ihre Feinde, in der Übersetzung von P. K. Feyerabend, UTB, finden sich der Reihe nach in den Bänden II/S. 344, II/S. 9, II/S. 347, II/S. 285.

<sup>9)</sup> I. Kant, Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik usw., Ausgabe W. Weischedel, Darmstadt, Bd. V/S. 56.

<sup>10)</sup> Wahrheit und Wirklichkeit, Denken und Tun hängt ausschließlich in solcher Weise zusammen. G. Kahl-Furthmann hat das in einer umfassenden Arbeit, Das Problem des Nichts, 1968<sup>2</sup>, überzeugend am Satz des Widerspruchs dargelegt.

<sup>11)</sup> Der Ausdruck „Tathandlung“ ist bewußt von Fichte übernommen. Zusammenhänge mit der modernen Sprechaktheorie zeigen die Aktualität der Überlegungen Fichtes. Sprechen ist Denken und Wirklichkeitssetzung, subjektiv und objektivitätsschaffend. Vgl. Der transzendente Gedanke, die gegenwärtige Darstellung der Philosophie Fichtes, Meiner 1981.

<sup>12)</sup> Zur gedanklichen Einordnung nur zwei Zitate aus J. P. Sartres Das Sein und das Nichts: „Mein letzter und erster Entwurf . . . ist immer . . . der Entwurf zu einer Lösung des Seinsproblems.“ Ein Entschluß ist „spontanes Sichentwerfen auf dieses oder jenes Ziel hin“.

(In der Übersetzung des Rohwoltverlages 1962, S. 588 und S. 574, entspricht in der Originalausgabe bei Gallimard, 1943, den Seiten 528 bzw. 540.)  
Das Sartresche Gesamtdenken als „Mythologie“ charakterisiert von Cl. Levi-Strauss, La Pensée sauvage, in der Übersetzung v. H. Neumann, 1968, S. 287.

#### Noch einige überlegenswerte Zitate:

(In der Klammer Angabe der philosophischen Richtung, der der Autor nahesteht.)

O. Spengler (Lebensphilosophie), „Nicht im Handeln, sondern in der Wahl der Handlung liegt der Ursinn des freibeweglichen Lebens“, Urfragen, 1965, S. 180.

N. Hartmann (Kritischer Realismus), „Stärke des Subjekts“ ist es, es „formt seinerseits, bildet um und hinauf, ein Weltstöpfer im kleinen . . . Was es formt und bildet . . . ist . . . sein Erlauschten aus einer anderen Welt . . .“, Ethik, 1926, S. 163.

R. Ingarden (Phänomenologie), „ . . . es ist fraglich, ob nicht manchmal Entscheidungen in der Seele fallen, bevor eine bewußte Entscheidung vollzogen wird“, Über die Verantwortung, 1970, S. 92.

H. Krings (Hermeneutik), „Freiheit als Selbstbestimmung und diese wiederum verstanden als imaginärer Entschluß für Gehalt enthält das Charakteristikum transzendentaler Unbedingtheit.“ Handbuch philosophischer Grundbegriffe, 1973, S. 635.

R. M. Hare (Analytische Philosophie), „Jeder Mensch muß seine eigenen Entscheidungen bezüglich der anzunehmenden moralischen Prinzipien treffen“, bei W. Stegmüller, a. a. O., Bd. I, S. 522.

## Buchbesprechung

Ina Wagner, Die neue Ordnung der Welt, Zur Sozialgeschichte der Naturwissenschaften 1500–1700. Verlag Franz Deuticke, Wien 1984, geb., 158 S., 49 Abb., S. 298, –

Mit diesem Buche gibt die Autorin dem Leser einen ungemein detaillierten Einblick in die Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der ersten zwei Jahrhunderte der Neuzeit, in denen sich der Wandel von den sozio-ökonomischen Formen des menschlichen Zusammenlebens im Spätmittelalter zu den rationalen Haltungen im beginnenden 18. Jahrhundert vollzog; in ungezählten Schilderungen konkreter Zustände, Produktionsformen, –probleme und –bedürfnisse erfährt man, wie die überkommenen eher qualitativen Wertschätzungen mehr und mehr dem quantitativen Vergleichsdenken wichen. Erstaunlich, wieviele ebenso interessante wie aufschlußreiche Zahlenangaben aus diesen – für uns doch bis zu 500 Jahre zurückliegenden Zeiten – ermittelt werden konnten! Natürlich greift der Text, wo dies tieferliegende Zusammenhänge erfordern, über den im Titel definierten Zeitrahmen nach beiden Zeitrichtungen hinaus.

Die Beziehungen zwischen den jeweils besprochenen sozio-ökonomischen Strukturen und den in ihnen angewandten rechnerischen Verfahren durchziehen fast das gesamte Buch. Dadurch herrscht eine starke Asymmetrie in der Behandlung der Realwissenschaften zugunsten der Mathematik und bei dieser zugunsten des Rechnens gegenüber der Theorie vor. Bezüge zu Medizin und Biologie fehlen leider ganz. Das Buch gliedert sich in drei Teile, nämlich

1. Maß, Zahl und Gewicht.
2. Wirtschaftliche Rationalität.
3. Mathematik von Kunst und Kommerz.

Teil 1 beginnt mit Gedanken zur Erschütterung der mittelalterlichen Weltordnung, setzt sich dann mit Schilderungen der Veränderungen im Stellenwert der Handarbeit fort und endet mit Belegen für die steigende Rolle des Experimentierens (Galilei, Gilbert, Pascal, Boyle, Stevin . . .).

Teil 2 ist ganz der Sozial- und Wirtschaftsentwicklung gewidmet. Die Autorin zeigt, wie das Streben nach ergiebigeren Produktionsmethoden und höheren Gewinnen mit rechnerischen Betätigungen in steter, einander fördernder Wechselwirkung steht.

Der Inhalt von Abschnitt 3 wird wohl am besten durch die Nennung einiger seiner Unterthemen gekennzeichnet:  
Sozialstatistik, Konfliktlösung durch Mathematik, Seuchen, Hunger, Arbeitslosigkeit, staatliche Verwaltungsprobleme, Gesellschaftsvertrag, wissenschaftliche Kunst, mathematische Baukunst und Malerei, Energiequellen, Mechanisierung, Theorie der Mühle, Bergbaukunst u. v. a.

Das Buch endet mit 163 Anmerkungen zu Textstellen, einer 81 Werke umfassenden Bibliographie, dem Bild- und Tabellennachweis und dem Namensregister.  
Walter Kranzer

# BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Dr. Herta Binder – Prof. Rupert Dirnberger – Dr. Andreas Niggler

Heinz Habeler

## Über die Tücken des Artbegriffs

Die Entstehung der Arten wird mehrheitlich als ein allmählich ablaufender Prozeß verstanden, der bei hoher Auflösung in der Betrachtungsweise aus einer Vielzahl von digitalen Einzelschritten bestehen müsse. Mehr oder weniger unbewußt ver-

legt man diesen Prozeß in die Vergangenheit und meint, die Arten heute seien alle schon „fertig“. Nun ist aber kein Grund zu finden, warum die Entwicklung von Arten ausgerechnet vor unserer Zeit abgelaufen und zum Stillstand gelangt sein sollte: Vielmehr müssen sich auch heute noch Populationen am Weg zur artlichen Differenzierung befinden, und selbst bona species werden sich noch weiter verändern, wenn auch wahrscheinlich nicht in gleichem Zeitmaßstab. Der Gedanke, Zeitgenosse der Entstehung von Arten zu sein, erscheint nicht minder faszinierend als die Frage, was denn dasjenige ist, das eine Art zur Art erhebt. Letzteres umfassend beantworten zu wollen, ist verwerflich, Wortschöpfungen aus dem Begriffsumfeld der Art, wie

z. B. *semispecies*, deuten auf grundsätzliche Kriterienschwächen. Die Beantwortung fällt um so schwerer, je öfter man selbst mit konkreten Entscheidungsproblemen befaßt gewesen ist.

Der Ordnungsliebe mancher Menschen (von denen wiederum einige in Museen oder Sammlungen Arbeit gefunden haben) kommt es entgegen, daß der Artbegriff in der Natur von allen systematischen Kategorien noch am deutlichsten vorgegeben zu sein scheint, oder, weniger einfach ausgedrückt, mit hoher statistischer Wahrscheinlichkeit erkennbar wird — real also als eine Vielzahl von Populationen mit ihrem Genpool. Nomenklatorisch allerdings wird eine Art nur von einem einzigen Exemplar repräsentiert, nämlich von dem Holotypus (oder Lectotypus oder Neotypus, je nach vorangegangener Verwirrung). Dieses Artaufstellungsverfahren ist durchaus sinnvoll eingeführt, denn gar nicht so selten hat sich herausgestellt, daß die meisten der nach dem Holotypus benannten Exemplare dann einer ganz anderen Art angehört haben.

Die tatsächlich mögliche Erkennung und gegenseitige Abgrenzung von Arten setzt nämlich einerseits das objektive Vorhandensein differenzierender Merkmale, Strukturen, Abläufe und Verhaltensweisen voraus, andererseits Methoden und Techniken, diese auch zu erkennen, reproduzierbar zu erkennen und zu werten. Eine laufende Artnaubildung muß jedoch bei einem (kleinen) Teil aller Taxa eine grundsätzliche Unmöglichkeit einer klaren Abgrenzung mit sich bringen, der selbst mit raffinierten Methoden nicht begegnet werden kann. Nachfolgend wird nun aus dem Bereich der Lepidopteren berichtet, welche Probleme die Individualdetermination bietet, wie sich die Arten in *statu nascendi* bemerkbar machen und wie wenig zur Definition der Art zuletzt übrig bleibt.

Bei der Darstellung der Probleme der Individualdetermination wird an dieser Stelle vorausgesetzt, daß es anerkannte Arten gibt, gleichgültig, nach welchen Kriterien erkannt, und daß die Schwierigkeit darin besteht, aus der Menge von zunächst namenlosen Individuen (etwa aus einer noch unbearbeiteten Aufsammlung) Teilmengen den Arten zuzuordnen.

Noch vor 100 Jahren hatten es Schmetterlingskundler beim Bestimmen der Arten ziemlich leicht, sie hielten sich an äußere Merkmale, wie Zeichnung, Färbung oder Flügelschnitt. Aber dann fand man sogenannte *Dualspecies*: Äußerlich völlig gleiche oder zumindest im Einzelstück nach äußeren Merkmalen nicht unterscheidbare Sammlungsbestände enthielten zwei Taxa von Artang, die im anatomischen Bau, zumeist an Hand der Struktur des Kopulationsapparates, unterscheidbar waren. Man entdeckte Artenkomplexe, die allein in Mitteleuropa 3, in Extremfällen (z. B. bei *Catoptria*) 4 äußerlich völlig gleiche, im Kopulationsapparat deutlich verschiedene Arten enthielten. Es begann nun eine Zeit emsigen Suchens und Revidierens in den Sammlungen, denn bestehende Determinationen wurden ungültig durch die neu erkannten Taxa, und gleichzeitig verloren auch faunistische Daten in Publikationen ihre Aussage. Dann kamen die nächsten Schwierigkeiten: Vor allem Feldentomologen stießen bei ihren Beobachtungen hin und wieder auf Taxa, die im Imaginalstadium bislang keine für die Individualdiagnose brauchbaren Merkmale boten, die aber unterschiedliche Jugendstadien mit meist stark unterschiedlicher Ökologie zeigten. Manches davon konnte tatsächlich als Ökoformen ein und derselben Art erklärt werden, aber einiges nicht. Das ist zweifellos ein Problem für bestehende Sammlungen: Präparierte Tiere kann man weder nach ihren Jugendstadien noch nach ihrer Lebensweise befragen, und so gibt es eine Reihe nicht sicher oder überhaupt nicht bestimmbarer Bestände. Wobei, und das sei betont, an der Artberechtigung der Taxa selbst kein Zweifel besteht.

Heute arbeiten die Taxonomen mit immer weiter entwickelten Techniken, zu denen bei den Zeichnungsmustern UV-Strahlung und polarisiertes Licht, bei räumlichen anatomischen Strukturen die Elektronenrastermikroskopie eingesetzt werden. Cytologische Untersuchungen, Vergleiche von Enzymen, Erkunden der sexuellen Isolationsbarrieren und Zuchtexperimente liefern ebenfalls Erkenntnisse — aber eigenartigerweise oft widersprüchliche. Die Zahl der anerkannten Arten ist also vom momentanen Stand der Determinationstechnik abhängig und von der Wertung der gefundenen Kriterien, worin sich aber selbst Spezialisten nicht immer einig sind. Denn in Grenzfällen kommt ein Cytologe zu einem anderen Ergebnis als ein Experimentbiologe, und mittels Zwangsbefruchtung können oft fertile Nachkommen bis über die  $F_2$ -Generation erhalten werden, obwohl die Tiere derartige sexuelle Isolationsbarrieren besitzen, daß sie freiwillig nie eine Kopula eingehen. Für die Determinationsarbeit sind das betrübliche Feststellungen und für Taxonomen harte Nüsse.

Die verstärkte Hinwendung zu Fragen der Verbreitung und

geografischen Abgrenzung der Taxa hat wesentlich zum Bild einer „unfertigen Welt“ beigetragen. Jene Verhältnisse sind klar deutbar, wo geografische Rassen derselben Art aneinandertoßen und innerhalb der Grenzzone mit Merkmalsgefällen lückenlos ineinander übergehen. Aber es wurden auch Fälle bekannt, bei denen man die beiden Taxa zunächst für geografische Unterarten gehalten hat, doch genaue Begehungen der Grenzzone wiesen eine sehr stark verringerte Häufigkeit, eine Art Niemandland dazwischen, aus. Hin und wieder wurden im „Niemandland“ Einzelexemplare mit intermediären Merkmalen registriert (z. B. in den Schladminger Tauern im Bereich des Hochgollings zwischen *Gnophos zirbitzensis* PIESZ. im Osten und *Gnophos caelibarius* H. S. im Westen). Solches läßt sich damit erklären, daß die beiden Taxa noch nicht jenen inneren Abstand voneinander haben, um jeden Genaustausch unmöglich zu machen, aber doch eine weitgehend verringerte Fertilität aufweisen.

Nicht nur in den Großräumen stehen sich am Weg zur artlichen Differenzierung verschieden zu wertende Taxa gegenüber, sondern auch im kleinräumigen Mosaik der Lebensräume und Ökonischen, dort aber meistens noch mit einer phänologischen Differenz der Imaginalstadien gegenseitig abgegrenzt. Ein Musterbeispiel für die Schwierigkeit der taxativen Beurteilung bietet die Gattung *Procris* bei uns. Wiederholt stellten Lepidopterologen fest, daß die Menge aller gefundenen *Procris statices* L. deutlich inhomogen ist: Die Funddaten häuften sich einerseits von Ende Mai bis Ende Juni, andererseits von Ende Juli bis Ende August, ohne daß eine 2. Generation nachweisbar gewesen wäre, die Tiere sind einbrütig. Feldbeobachtungen zeigten, daß die Mai-Juni-Komponente auf feuchten Wiesen, die Juli-August-Komponente auf Trockenwiesen lebt. Als dann noch auffiel, daß die Zahl der Fühlrglieder der im übrigen einfarbig gefärbten Tiere beider Komponenten stark unterschiedlich lag, war eine Auftrennung in 2 verschiedene Arten eine verständliche Folge. Nun konnte man das Sammlungsmaterial endlich befriedigt neu bestimmen und die Frühjahreskomponente mit *Procris heuseri* REICHL, die Sommerkomponente mit *Procris statices* L. bezetteln. Aber der Fall ist noch nicht zu Ende: Die gezielte Beschäftigung mit den beiden Taxa brachte in der Folgezeit immer wieder Funde zeitlich zwischen den beiden Sollperioden auf Wiesen neutralen Habitats, dummerweise auch mit Fühlrgliederzahlen zwischen den beiden Soll-Mittelwerten. Diese intermediären Tiere wurden zwar nur auf kleinen Teilflächen des gesamten Verbreitungsgebiets gefunden, aber doch in einer statistisch nicht mehr vernachlässigbaren Anzahl, so daß man heute wieder dazu neigt, beiden das Artrecht abzuspüren und beide als Ökotypen zu führen. Die wahrscheinlichste Interpretation lautet nun auf zwei Arten in *statu nascendi*, noch durch sämtliche Zwischenglieder formal verbunden, die aber zahlenmäßig ein Minimum bilden an jener Stelle der Variationsstatistik, wo bei einer homogenen Art das Maximum zu liegen hätte.

Der vorstehende Absatz enthält unausgesprochen die Annahme, daß gleichartige ökologische Reize — einerseits Feuchtwiese, andererseits Trockenwiese — auf sämtliche Populationen des ursprünglichen Taxons während des differenzierungszeitlichen Zeitraumes im ganzen ähnlich klimatisierten Verbreitungsgebiet gleich eingewirkt haben und daß das Ergebnis zur gleichen Zeit überall gleich ausgesehen haben muß. Die Beobachtung an *Procris statices* L. stehen damit durchaus im Einklang. Wenn man der Ausbildung von Ökotypen einen der möglichen Anfänge einer artlichen Differenzierung zubilligt, dann folgt übrigens daraus, daß eine neue Art nicht von einem einzelnen Exemplar oder einer einzigen Population ausgeht, sondern im gesamten gleich klimatisierten Teil des Verbreitungsgebietes der Ursprungskomponente einigermaßen gleichzeitig und unabhängig voneinander gleichartig entsteht.

Die eben erwähnte Gleichzeitigkeit ist aber nicht denknotwendig und tatsächlich auch nicht immer zu beobachten. Einen der faszinierendsten Fälle nichtsynchrone Differenzierung stellt die *Erebia-melampus-sudetica*-Gruppe dar. Das sind Gebirgsmohrenfalter, die sich, um die drei am besten quantifizierbaren Merkmale zu nennen, in der Zahl und Länge der Valvenzähne sowie in der Anzahl der Augenflecken im Vorderflügel unterscheiden. Im Westen des Verbreitungsgebietes, so bei Grindelwald, gibt es Stellen, wo Tiere mit wenigen, aber sehr langen Valvenzähnen und einem sechsten Augenfleck neben Tieren fliegen, die sehr viele, ganz kurze und oft miteinander verwachsene Valvenzähne, doch nie einen sechsten Augenfleck besitzen. Beide Gruppen variieren in sich wenig und haben auch noch weitere Unterscheidungsmerkmale. Die Variationsstatistik der drei Hauptmerkmale zeigt die Abb. 1: Die Gesamtheit aller Tiere ist allein danach klar nach 2 Taxa trennbar, und die Kollegen in der Schweiz zweifeln auch nicht im gering-

sten daran, daß es sich bei ihnen um zwei gute Arten handelt. Die Tiere werden der *Erebia sudetica inalpina* WARREN einerseits und *Erebia melampus tigranes* FRUHST. andererseits zugeordnet.

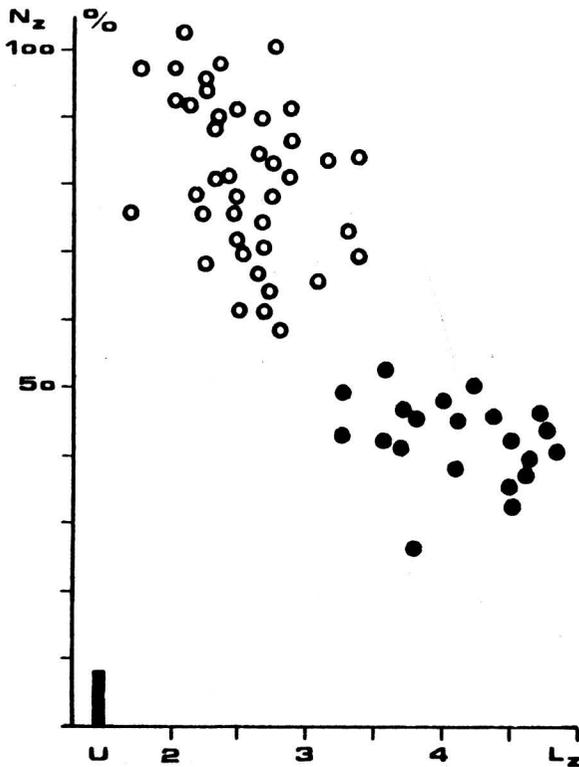


Abb. 1: Merkmalsdiagramm der Exemplare von *Erebia melampus/sudetica* aus der Umgebung von Grindelwald für die Merkmale größte Länge  $L_z$  und Anzahl  $N_z$  der Valvenzähne sowie das Vorhandensein mindestens eines sechsten Augenflecks auf den Vorderflügeln, voller Kreis. Der senkrechte Balken, mit U bezeichnet, gibt den Prozentsatz jener Tiere darunter an, bei denen der sechste Augenfleck unsymmetrisch, nämlich nur auf einem der beiden Vorderflügel, zur Ausbildung gelangt ist.

Weiter östlich, in den Hohen Tauern, zeigt die Variationsstatistik der gleichen Merkmale in Abb. 2 keine so klare Trennungsmöglichkeit mehr, wenngleich die Tendenz der Korrelation geringe Zähnezahl – große Zahnlänge – sechster Augenfleck bzw. hohe Zähnezahl – geringe Zahnlänge – kein sechster Augenfleck noch immer elementar erkennbar ist. Dementsprechend widersprüchlich wurden die Tiere auch beurteilt, außerdem entsprechen die Extremwerte der Merkmalsausbildung hier ungefähr dem jeweiligen Mittelfeld der Merkmalsausbildung auf den Schweizer Tieren. Wie aber sind die vielen Zwischenformen zu benennen, die nun in der Variationsstatistik jene Bereiche belegen, wo von Schweizer Exemplaren nicht eine Eintragung angefallen ist? Und was ist mit dem ungewöhnlich hohen Anteil stark unsymmetrischer Tiere, bei denen der entscheidende sechste Augenfleck auf dem einen Vorderflügel da ist, auf dem anderen nicht? Das Erkennen von Unsymmetrien ist natürlich auch eine Frage der Genauigkeit der Beobachtung, aber ein derartiger Anteil makroskopischer Unsymmetrien ist absolut abnormal.

Vollends in Unsicherheit stürzt man bei der Beurteilung der Tiere aus den noch weiter östlich liegenden Niederen Tauern in Abb. 3: Optisch ist überhaupt keine Korrelation mehr erkennbar, sämtliche Merkmale kombinieren gleichwertig miteinander, und der Mittelwert liegt ziemlich genau dort, wo bei Schweizer Tieren überhaupt keine Kombination aufgetreten ist, nämlich in der leeren Mitte zwischen den beiden benannten Taxa. Der Anteil unsymmetrischer Tiere stieg sogar auf die ganz außerordentliche Höhe von 38%! Hat da die Frage nach einer Artzugehörigkeit überhaupt noch einen Sinn? Man verstehe das nicht falsch: Natürlich hätte man, in der Namensgebung den beiden Schweizer Taxa zuvorkommend, die Tiere aus den Niederen Tauern der Steiermark mittels des Holotyp-Verfahrens gültig beschreiben können. Dann hätten sie einen Namen gehabt, aber dieser nomenklatorische Schachzug hätte an dem

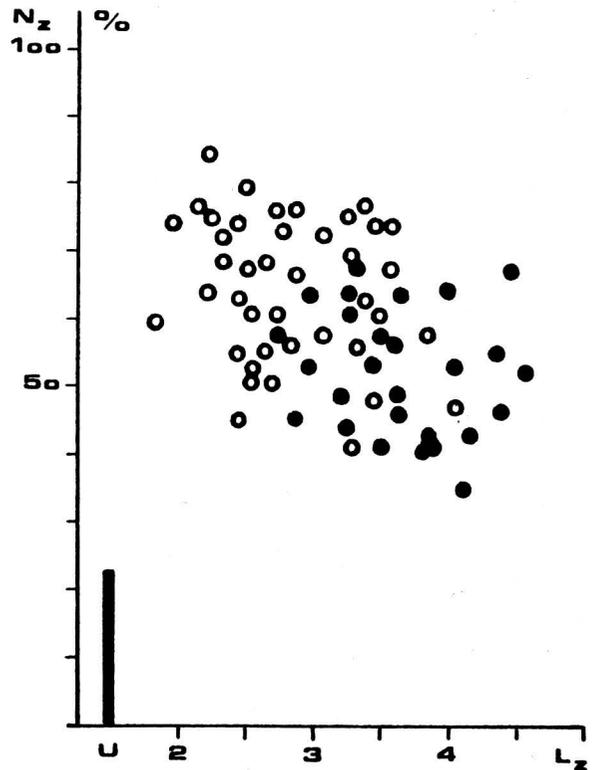


Abb. 2: Merkmalsdiagramm der Exemplare von *Erebia melampus/sudetica* aus den Hohen Tauern mit gleichen Bezeichnungen und Vereinbarungen wie in Abb. 1. Stark eingeschränkte Trennungsmöglichkeit, gesteigener Anteil unsymmetrischer Tiere.

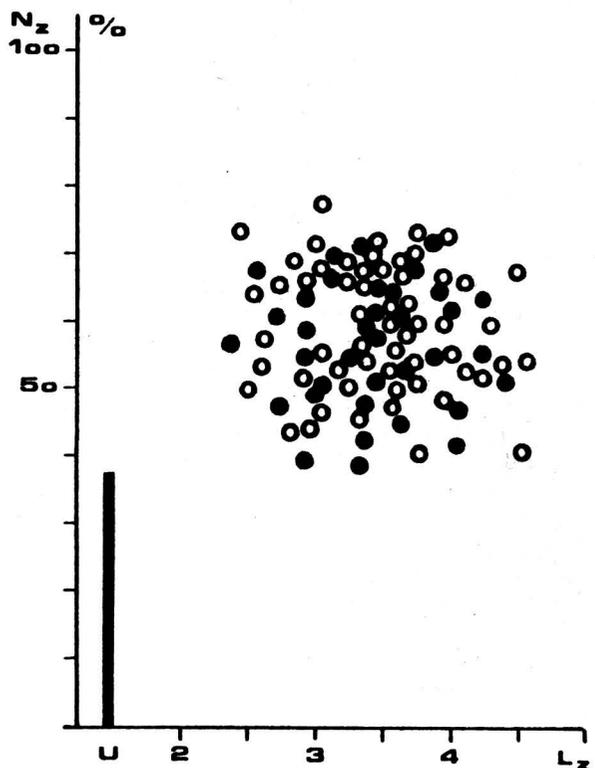


Abb. 3: Merkmalsdiagramm der Exemplare von *Erebia melampus/sudetica* aus den Niederen Tauern mit gleichen Bezeichnungen wie in Ab. 1 und 2. Nach diesen 3 Merkmalen keine Trennungsmöglichkeit mehr, außerordentlich hoher Anteil unsymmetrischer Tiere.

Problem selbst nicht das geringste geändert. Es wären damit nur die Schwierigkeiten mit der Zuordnung zu den Schweizer Kollegen verlagert worden.

Dieser sonderbare Sachverhalt kann aus verschiedenen Blickwinkeln gedeutet werden. Aus der Sicht der beiden Schweizer Extremformen im Artenrang kann gesagt werden, daß sie lückenlos über eine Vielzahl von sich jeweils nur sehr wenig unterscheidenden Zwischenformen miteinander zusammenhängen. Da es sich aber um Bewohner der hochmontanen bis alpinen Höhenstufe handelt, sind die einzelnen Populationen oder Populationsgruppen immer wieder durch Täler voneinander getrennt – zu den ehemaligen natürlichen kommen nun die anthropogenen Barrieren hinzu – und ein Genaustausch zwischen den einzelnen Populationsgruppen ist weitgehend unmöglich. Obwohl sehr gut flugfähig, verlassen die Tiere ihren Lebensraum nicht. Aus der Sicht der steirischen Tiere kann gesagt werden, daß sie, merkmalsmäßig in der Mitte liegend und ungewöhnlich viele Unsymmetrien ausbildend, offensichtlich Zentrum und Ausgangsbasis einer nach zwei entgegengesetzten Richtungen laufenden Differenzierung sind. Nach Westen fortschreitend entfernen sich die Tiere immer weiter diagonal von den Ausgangsmerkmalen bei gleichzeitigem Rückgang von Individuen mit einer deutlichen Unsymmetrie. Wie ungewöhnlich solche Unsymmetrien tatsächlich sind, möge die Angabe erläutern, daß bei den übrigen als stabile, gute Arten angesehenen Erbiben des Gebietes der Anteil mit unsymmetrischen Augenflecken weit unter 1% liegt!

Es hat den Anschein, als würde eine Art im Verlaufe ihrer Phylogenese irgendwann in einen Zeitraum eintreten, in dem ihr Erbgefüge eine labile Phase durchmacht, der Reproduktionsmechanismus nicht mehr absolut genau und verlässlich arbeitet oder auch eine besondere Sensibilisierung gegenüber äußeren Einflüssen stattfindet. Anlässlich der Aufnahmen der Variationsstatistik an den steirischen Erbiben fielen wiederholt bei den einzelnen Populationen Inhomogenitäten in der Merkmalsverteilung auf in dem Sinn, daß an Stelle des für eine Normalverteilung typischen Maximums eine Einsattelung registriert werden mußte, welche von 2 Maxima flankiert wurde. Zunächst hielt der Verfasser diese Erscheinung für einen Arbeitsfehler bei der Merkmalsquantifizierung. Aber die Einsattelung ließ sich nicht beseitigen und trat, statistisch betrachtet, in allen untersuchten Populationen der Niederen Tauern auf, sie war sogar unabhängig von Absolutwerten, die Einsattelung orientierte sich am Populationsmittelwert. Demnach muß dem Genpool jeder Population dieses Gebietes derzeit die Tendenz eigen sein, aufzuspalten, und zwar in jene beiden Richtungen, die bei konsequenter Weiterverfolgung zu den beiden in der Schweiz schon verwirklichten Extremformen führen muß.

Der Artbegriff hat also viel von seiner Abgrenzungsschärfe verloren. Der mögliche Genaustausch unter Individuen, die deshalb als Angehörige ein und derselben Art betrachtet werden müßten, wurde hinsichtlich seiner Aussagefähigkeit zu einer statistischen Größe und ist zudem völlig ohne Belang bei Arten, die sich parthenogenetisch fortpflanzen, wie die Psychiden *Apterona helix* SIEB. und *Reisseronia gertrudae* SIED., letztere ein Endemit der südlichen Steiermark. Der Artbegriff, der die Gesamtheit aller Populationen erfaßt, deren Individuen untereinander in regelmäßigem, freiwilligem Genaustausch stehen oder stehen könnten, wird zu einem (allerdings häufig anzutreffenden) Grenzfall. In Wirklichkeit existieren nur Populationen, deren Genpool schon von einer Gebirgsgruppe zur anderen deutliche Unterschiede entwickelt haben kann, deren Individuen trotz ihrer zumeist guten Flugfähigkeit nur über einen geografisch stark eingegrenzten Partneraum verfügen.

Isolationsbarrieren von einem früher nie vorhandenen Ausmaß sind nun anthropogenen Ursprungs: Die Zerstückelung ehemals zusammenhängend bewohnbarer Lebensräume hat den Großteil der Populationen von Lepidopteren in unserem Land bereits ausgelöscht und den Raum für die noch überlebenden vielfach dramatisch eingeengt und isoliert. Das fördert sicher die Divergenz, es ist in (sehr ferner) Zukunft, wenn es so eine für das Leben geben wird, mit einer starken Aufsplitterung in neue Formen zu rechnen. Aber diese Überlegungen führen auch zur Erkenntnis, daß dem noch immer praktizierten und vor allem in den verschiedenen Landesgesetzen zum beabsichtigten Schutz der Natur enthaltenen Arten- und Individuenschutz ein Schutz der Populationen übergeordnet werden müßte: Die Populationen nämlich sind die Träger des Genpools, der oft einmalig und unersetzbar an eine bestimmte Stelle von genügender Größe gebunden ist. Nach dem in Kürze zu erwartenden Erlöschen der Population von *Melitaea britomartis* ASSM. auf der Fuchswiese der Rannach bei Graz, die trotz jahrelanger Bemühungen und trotz Pflegeeinsatzes ideal gesinnter Freunde nicht gerettet werden konnte – sie muß offensichtlich ein öder

Fichtenforst werden –, wird diese besondere Form für alle Zeit aus dem Bereich des Lebenden verschwunden sein, nur ein Beispiel, stellvertretend für viele andere.

Die gerne besonders in Kreisen des Naturschutzes diskutierte Möglichkeit, man könne doch dann einen Ersatzlebensraum mit einer anderen Population der gleichen Art besiedeln, stellt zumindest im Bereich der ortstreuen Lepidopteren ein Unding dar und ist auf den Irrtum mit der Gleichsetzung von Art und Population zurückzuführen. Um diesen letzten Gedanken abzuschließen, mögen die vergeblichen Wiedereinbürgerungsversuche von *Saturnia pyri* SCHIFF., dem Großen Nachtpfauenauge, das mit etwa 15 cm Flügelspannweite der größte mitteleuropäische Schmetterling ist, erwähnt werden. Vor etwa 15 Jahren sind die letzten steirischen Populationen dieses prachtvollen Schmetterlings erloschen, nach Ansicht des Verfassers ausnahmsweise nicht primär durch den Menschen vernichtet, sondern als Grenzpopulationen einer mediterranen Art, die an der Nordgrenze ihrer Verbreitung von den periodischen Kälterückfällen im April und Mai mit einer früher nicht gekannten Hartnäckigkeit und Intensität bedrängt worden ist. Und nun wurden seit Jahren in medien- und publikumswirksamen Aktionen Hunderte von Exemplaren ausgesetzt – und nie wieder etwas davon gesehen. Der Mißerfolg ist verständlich, stammen doch die ausgesetzten Tiere aus Ostösterreich und dem Mittelmeerraum, und diese können der derzeitigen Ungunst des steirischen Frühjahrswetters sicher noch viel weniger widerstehen, als es die ehemals bodenständigen Tiere konnten.

Der Artbegriff muß im Rahmen seiner Grenzen und Unschärfen gesehen werden, er stellt eine Art ordnendes Hilfsmittel dar. Lebendig allein sind die Populationen.

## Kurznachrichten

**Leben im Toten Meer.** Hypersalines Wasser ist kein lebensfreundliches Milieu, und eben das Fehlen höher organisierter Organismen führte zur Bezeichnung „Totes Meer“.

Erst 1936 stellte man fest, daß das Tote Meer von Mikroorganismen bewohnt ist.

Neben verschiedenen Bakterienarten kommt hier auch die Grünalge *Dunaliella* vor. Diese Alge ist überraschenderweise auch im Süßwasser anzutreffen. Sie paßt sich der hypersalinen Umgebung dadurch an, daß sie große Mengen Glycerin produziert. Dadurch wird der osmotische Druck des Zellinneren so stark erhöht, daß ihr das Wasser nicht mehr entzogen werden kann.

Am Nordrand des Toten Meeres, wo der Jordan ständig Süßwasser zuführt, findet man besonders salztolerante Bakterien. Daneben finden sich aber auch aerobe, obligat halophile Bakterien. Sie sind im See weit verbreitet und gedeihen nur bei einem Salzgehalt von mindestens 15%.

Die Zellen dieser Bakterien enthalten große Mengen Kalium. Durch eine selektive Kaliumaufnahme bleibt diese hohe Konzentration im Zellinneren erhalten, und dadurch können sie im extrem salzigen Milieu überleben.

(Spektrum der Wissenschaft, 12/1983)

**Männchenlose Eidechsenpopulationen.** In Amerika wurden bei Untersuchungen an Eidechsenpopulationen mehrere männchenlose Formen gefunden.

Weitere Untersuchungen ergaben, daß sich die Weibchen strikt parthenogenetisch fortpflanzen. Auch unter vielen Nachkommen der reinen eingeschlechtigen Zuchtlinien befand sich kein einziges Männchen. Weiters konnte festgestellt werden, daß unter den eingeschlechtigen Eidechsen viele triploid anstelle, wie üblich, diploid waren.

Analysen ergaben, daß alle untersuchten eingeschlechtigen Formen Bastarde aus zwei oder drei Arten sind. Zum Beispiel ist die neumexikanische Renn-Eidechse ein Bastard zwischen der getigerten Renn-Eidechse, ein Wüstenbewohner, und der schmucklosen Renn-Eidechse, ein Steppenbewohner.

Die neumexikanische Renn-Eidechse lebt nun im Übergangsbereich zwischen Wüsten und Steppenregionen.

Es wird angenommen, daß in diesen Übergangsgebieten sich die Wüsten- und Steppenart gekreuzt haben, es entstanden männliche und weibliche Bastarde, die meisten waren steril, die männlichen verschwanden schließlich ganz. Einige der weiblichen Bastarde erlangten die Fähigkeit, sich parthenogenetisch fortzupflanzen; diese sind den bisexuellen Formen nun insofern überlegen, daß alle Individuen der Population Eier legen und sich dadurch rascher vermehren.

Das Entstehen triploider Formen wird so erklärt, daß parthenogenetische Weibchen von einem verwandten Männchen befruchtet werden. Dadurch kommt zu den zwei vorhandenen Chromosomensätzen der unbefruchteten Eizelle noch ein dritter.

(Spektrum der Wissenschaft, 3/1984)

**Stickstoff-Fixierung beim Reis.** Wie für andere Pflanzen ist der elementare Stickstoff der Atmosphäre für Reis nicht direkt zugänglich.

Spezialisierte Mikroorganismen auf und in den überfluteten Böden der Reisfelder vermögen den elementaren Stickstoff in Ammoniumionen umzuwandeln.

Unter den stickstofffixierenden Organismen sind besonders bestimmte Bakterien, freilebende Blaualgen und der Algenfarn zu nennen.

Der Algenfarn lebt in einer Symbiose mit einer stickstofffixierenden Blaualge. Dieser Algenfarn kann auf über-schwemmten Böden pro Tag und Hektar drei Kilogramm Stickstoff binden. Stirbt und verrottet der Algenfarn, wird der darin angereicherte Stickstoff in den Boden übergeführt und dadurch der Reispflanze zugänglich.

Auf neutralen und alkalischen Böden sind besonders die freilebenden, stickstofffixierenden Blaualgen aktiv.

Stickstofffixierende Bakterien besiedeln die Oberfläche und das Innere der Reispflanze sowie die basalen Teile des Sprosses. Auf ein Gramm Trockengewicht einer Reispflanze kommen ca.  $10^{10}$  Zellen dieser Bakterien.

(Spektrum der Wissenschaft, 3/1984)

**Gentechnologie bei Reis.** Fortschritte der Biotechnologie eröffnen möglicherweise neue Wege, die Reiserträge zu steigern.

Durch Anlegen von Gewebekulturen aus Pollen lassen sich haploide Pflanzen erzielen, der Chromosomensatz dieser Pflanzen verdoppelt sich dann meist spontan im Jugendstadium. Bei den dadurch reinerbigen Pflanzen werden wichtige Merkmale stabilisiert. Außerdem wird dadurch die für die Zucht dieser Sorten benötigte Zeit wesentlich verkürzt.

Letzte Versuche gehen dahin, dem Reis Gene für eine eigene Stickstoff-Fixierung einzubauen. Allerdings umfaßt ein entsprechendes stickstoffbindendes System 17 Gene, und es ist noch nicht abzusehen, ob so viele Gene gemeinsam manipuliert werden können.

(Spektrum der Wissenschaft, 3/1984)

**Die photosynthetische Membran als Angriffsort für Herbizide.** Viele moderne Herbizide haben die Chloroplasten als Angriffsort und unterbinden die Photosynthese, genauer gesagt den photosynthetischen Elektronentransport und beeinflussen die Bildung und den Abbau der zugehörigen Pigmente.

Die angesprochenen Herbizide lassen sich in vier große Gruppen zusammenfassen.

1. Elektronentransport-Inhibitoren:

Sie greifen an bestimmten Komponenten des Redoxsystems an und verhindern damit den lichtgetriebenen Elektronenfluß vom Wasser zum  $\text{NADP}^+$ .

Dazu gehören substituierte Harnstoffe, symmetrische Triazine, Triazinone und andere.

2. Radikalbildner:

Sie ziehen am Ende oder entlang des Redoxsystems Elektronen ab. Dadurch werden peroxidative Abbauprozesse an der Membran und an den Pigmenten bewirkt und ebenfalls der Elektronentransport unterbunden.

3. Energietransfer-Hemmstoffe:

Diese unterdrücken die Bildung von ATP, indem sie mit dem ADP an der ATP-ase kompetieren.

4. Bleichherbizide:

Diese Verbindungen hemmen den Aufbau der Carotinoide. Dadurch entfallen Schutzpigmente, die den Abbau des Chlorophylls verhindern, wenn zuviel Licht auf den Photosyntheseapparat fällt.

(Biologie in unserer Zeit, 6/1983)

**Zelladhäsion – Wachstumskontrolle.** Bei allen Entwicklungsvorgängen spielt die Zelloberfläche eine besonders wichtige Rolle. Sie erkennt und verarbeitet die Regulationssignale, die ihr von anderen Zellen vermittelt werden, und verändert sich dabei gleichzeitig selbst.

Die Signale zur Regulation der Teilung (Proliferation) und der Differenzierung können die Zelle auf zwei Wegen erreichen.

– Über humorale Substanzen (Hormone und Wachstumsfaktoren)

– Über den direkten Kontakt der Zellmembran mit Umgebungsmerkmalen

Für beide Wege sind entsprechende Rezeptoren an der Zelloberfläche vorhanden.

Im Gegensatz zur Aggregation bezeichnet man die Anheftung der Zelle an eine extrazelluläre Substanz als Adhäsion.

Fast alle normalen Zellen, ausgenommen die Blutzellen, benötigen in vitro eine zur Adhäsion geeignete Oberfläche, um überleben und wachsen zu können. Diese Erscheinung wird

auch als „Verankerungs-Abhängigkeit“ bezeichnet. Es wurde festgestellt, daß transformierte Zellen sich von ihren normalen Ursprungszellen dadurch unterscheiden, daß sie eine Verankerungsunabhängigkeit aufweisen.

Die Adhäsion vieler Zellen ist entweder serumsabhängig oder wird durch Zusatz von Serum stark gefördert. Verantwortlich dafür ist das Fibronectin, es stellt eine Verbindung zwischen der Zelloberfläche und einem Substrat her. Erst an die mit Fibronectin beschichtete Fläche kann eine Zelle adhären, dabei wandern entsprechend viele Fibronectin-Rezeptoren der Zelloberfläche unter die Zelle.

Neben dem Fibronectin sind aber auch andere Adhäsionsfaktoren bekannt, wie das Chondronectin im Bereich der Knorpelzellen und das Laminin im Bereich der Basalmembran von Epithelzellen. Heparin hat eine antagonistische Wirkung auf die Fibronectin-vermittelte Adhäsion von Zellen; dies scheint besonders für die Wanderung von Zellen bedeutsam zu sein.

Elektronenoptische Befunde zeigen, daß Fibroblasten durch fibronectinfreie Plaques mit der Unterlage verbunden sind. Diese Adhäsionsplaques bilden einen direkten Kontakt der Plasmamembran zur extrazellulären Matrix, ohne Vermittlung von Adhäsionsfaktoren.

Über die integralen Bestandteile der Plasmamembran, welche die Adhäsion bewirken, ist noch sehr wenig bekannt.

Fest steht, daß Zellen, bevor sie in Kultur wachsen können, sich an das Substrat anlagern und abflachen müssen. Zellen, die sich dabei nicht richtig abflachen, können sich nicht vermehren. Dies erklärt auch die „Dichte abhängige Wachstumsinhibition“, das heißt, in einer Zellkultur mit zunehmender Dichte nimmt die Proliferationsaktivität ab.

Auch die Differenzierung wird durch die Adhäsion und die Zellform bestimmt. Durch die Adhäsion wird die Zelle nicht nur in eine bestimmte Form, sondern auch in einen bestimmten physiologischen Zustand gebracht und damit für eine bestimmte Differenzierung disponiert.

Neuere Befunde deuten darauf hin, daß auch das Cytoskelett über die Adhäsion der Zelle beeinflußt wird und daß dadurch wiederum die Proliferation und die Differenzierung reguliert werden.

(Biologie in unserer Zeit, 2/1983)

**Toxoplasma.** Im Gegensatz zum Malariaerreger, der nur Erythrocyten und Moskitozellen befällt, kann der Erreger *Toxoplasma gondii* nahezu alle tierischen Zellen, auch die der Fische und der Insekten, befallen. Der Parasit liegt durch eine von der Wirtszelle gebildete Membran, von dieser getrennt in einer „parasitophoren Vakuole“. Durch diese Lage entzieht sich der Parasit den Abwehrmechanismen des Wirtes und kann dennoch seine pathogene Wirkung voll entfalten. Nach einer vielfachen Teilung bilden sich Vermehrungsstadien. Wird die Elastizität der Membran überschritten, reißt sie ein, dabei werden viele hoch infektiöse Gewebsparasiten freigesetzt, die wiederum neue Wirtszellen aufsuchen.

Gelangt der Parasit nicht in eine Wirtszelle, hat er keine Möglichkeit seine pathogene Wirkung zu entfalten.

Der Parasit hat grundsätzlich zwei Möglichkeiten der Invasion in eine Wirtszelle:

– Die Phagozytose

– Die gerichtete Invasion

Bei der Phagozytose kann der Parasit unabhängig von seinem Zustand von der Zelle aufgenommen werden.

Die gerichtete Invasion ist eine Aktivität des Parasiten und von dessen physiologischen und morphologischen Zustand abhängig. Blockiert man z. B. die Atmungskette des Parasiten irreversibel, so sinkt die Infektionsrate auf ein Minimum.

Den Ablauf der Invasion stellt man sich derzeit wie folgt vor:

– Annäherung des Parasiten an die Wirtszelle

– Aufsuchen einer geeigneten Invasionszelle – Eindellung der Zielzellenmembran

– Vorstoßen des „Konoides“, eine typische Struktur des Parasiten – Rotierung des Parasiten

– Vertiefung der Membraneindellung unter Absonderung von oberflächenaktiven Stoffen

– Abschnürung der Invaginationscyste und Bildung der parasitophoren Vakuole

Der gesamte Vorgang dauert ca. 15–20 Sekunden.

Untersuchungen ergaben, daß der Erreger eine morphologische Asymmetrie aufweist und daß nur richtig orientierte „Organismen“ in die Zelle aktiv eindringen können.

Der apikale Pol enthält eine zylindrische Struktur, die in einem Ringsystem ruht und einen Teil des apikalen Komplexes darstellt. Durch das Vorstoßen des Konoides wird die Zielzellenmembran eingedrückt.

Nachdem der Erreger immer bestimmte Stellen zur Invasion sucht, kann angenommen werden, daß entsprechende Erken-

nungs- und Rezeptormechanismen vorhanden sind. Experimente bestätigen diese Vermutung.

Chemische Untersuchungen zeigten, daß auch membranauflöckernde Substanzen beteiligt sind und die Infektionsrate stark erhöhen. Sie entstammen bestimmten Organellen des apikalen Komplexes. Ferner zeigten die Experimente, daß die Membranviskosität der Zielzelle von Bedeutung ist. Mit Abnahme der Membranviskosität steigt die Infektionsrate.

(Biologie in unserer Zeit, 2/84)

**Phänotypische Geschlechtsbestimmung bei Alligatoren.** Der Mississippi-Alligator ist in seinem Geschlecht stark temperaturabhängig.

Aus Eiern, die während ihrer Entwicklungszeit unter 30 °C gehalten werden, schlüpfen Weibchen. Liegt die Temperatur über 34 °C, schlüpfen Männchen. Dazwischen ist die Ausbildung beider Geschlechter möglich.

Durch die Experimente wurde auch festgestellt, daß die Zeit während der zweiten und dritten Woche der Bebrütung für die Determinierung des Geschlechtes entscheidend ist.

Auch Freilandversuche und Beobachtungen bestätigen die experimentiell mit dem Brutschrank erzielten Ergebnisse.

(Kosmos, 7/84)

**Blutdruckregulation.** Jüngste Untersuchungen zeigen, daß der Blutdruck nicht nur vom Funktionszustand des Herzens, der Blutgefäße und der Niere bestimmt wird, sondern daß an der Regulation auch humorale und neurale Einflüsse wirksam sind.

Neben den bekannten Neurotransmittern Adrenalin, Noradrenalin, Katecholamin und Acetylcholin wurden über 30 verschiedene Neuropeptide entdeckt, die im Blut als Hormone vorkommen und einen wichtigen Regulationsfaktor darstellen.

Verschiedene Peptide wurden als Produkt eines oder mehrerer verwandter Gene erkannt. Sie werden enzymatisch von hochmolekularen Proteinvorläufern abgespalten und konzentriert, zum Teil auch gleichzeitig, im Blut und im Gehirn freigesetzt.

Das Vorhandensein eines hochmolekularen Vorläufers für mehrere Peptide erlaubt eine Harmonisierung der Einzeleffekte dieser Substanzen bzw. mehrere Moleküle aus verschiedenen Genen bilden eine aufeinander abgestimmte biologische Antwort.

Das Angiotensin II bewirkt zum Beispiel verschiedene Effekte: Kontraktion der glatten Muskulatur der Blutgefäße, Synthese und Abgabe von Aldosteron aus der Nebenniere, Erhöhung der Na<sup>+</sup>-Rückresorption in der Niere, Erhöhung des sympathischen Tonus. Als Neuropeptid veranlaßt Angiotensin im Gehirn die Freisetzung von antidiuretischen Hormonen und veranlaßt den Organismus Wasser aufzunehmen.

Alle diese Effekte bewirken eine Erhöhung des Blutdrucks. Medizinisch besteht die Möglichkeit, die Aktivierung des Angiotensin I ins aktive Angiotensin II durch spezielle Converting-Enzym-Inhibitoren zu beeinflussen. Sie werden zur Behandlung der essentiellen Hypertonie herangezogen.

(Spektrum der Wissenschaft, 6/1984)

**Bio-Photonen.** Studienobjekt einer Wormser Arbeitsgruppe (F. A. Popp) ist die Lichtstrahlung, die alle Lebewesen – von der einfachen Hefezelle bis hin zu den Zellen des menschlichen Organismus – aussenden. Dieses Licht ist freilich so schwach, daß es normalerweise unsichtbar bleibt und sich deshalb lange der wissenschaftlichen Betrachtung entzogen hat. Die Strahlung konnte erst nach extremer elektronischer Verstärkung und hohem meßtechnischen Aufwand sichtbar gemacht werden.

Elektronen, die pausenlos um den Atomkern kreisen, senden einzelne Lichtquanten (Photonen) aus, wenn sie aus einem Quantenzustand in einen energetisch tieferen Zustand übergehen. Das Erstaunliche an dieser Emission ist nun, daß sie nicht wahllos und zufällig auftritt. Das Licht ist nach ersten Ergebnissen im wesentlichen kohärent – wie ein Laserstrahl. Ort der Photonen-Emission ist die DNA, die als Lichtspender wie auch als Licht-Speicher fungiert. Die Wissenschaftler halten es für wahrscheinlich, daß die Photonenstrahlung Stoffwechselschritte in der Zelle steuert, Nervenreize weiterleitet oder biologische Vorgänge in Gang bringt, die einem festgesetzten zeitlichen Rhythmus unterliegen.

(Bild der Wissenschaft, 12/1983)

**Blutwäsche für Infarkt-Risikopatienten.** Es gibt „gute“ und „schlechte“ Blutfette – letztere, die Low-Density-Lipoproteine (LDL), erhöhen das Risiko, frühzeitig an Arteriosklerose zu erkranken. Die Hauptmasse der Ablagerungen in den

„verkalkten“ Blutgefäßen besteht aus Cholesterin-Estern und aus Kalziumsalzen. Beide Bestandteile stammen aus dem durchströmenden Blut und werden unter krankhaften Bedingungen dort abgelagert. LDL-Konzentrationen unter 1,2 g/l Bluterum können in der Regel als unbedenklich gewertet werden, während LDL-Konzentrationen über 1,8 g/l ein hohes Risiko zur frühzeitigen Entwicklung einer Arteriosklerose darstellen.

Eine Arbeitsgruppe um Prof. D. Seidel (Universität Göttingen) entdeckte, daß die LDL mit Hilfe von Heparin bei exakter Einstellung eines bestimmten Säuregrades (pH = 5,12) vollständig und nahezu spezifisch aus dem Blutplasma ausgefällt werden können. Es wurde eine spezielle Form der Blutwäsche entwickelt, bei der das Blut eines Risikopatienten durch eine Maschine geleitet wird. Dabei werden überschüssige LDL aus dem Blut ausgefällt und abgetrennt. Der Patient erhält sein Blut mit normalem LDL-Gehalt zurück. Sein persönliches Arteriosklerose-Risiko ist gesenkt.

(Bild der Wissenschaft, 12/1983)

**Alkohol zerstört Eizellteilung.** Kurz vor der Befruchtung durchlaufen weibliche Eizellen die Meiose, woraus schließlich eine haploide Geschlechtszelle entsteht. Beobachtungen von M. Kaufmann (Universität Cambridge) haben ergeben, daß diese Teilungsvorgänge häufig gestört werden, wenn der Nährlösung, in der sich die Eizellen befinden, Alkohol zugesetzt wird. Der Alkohol stört die Tätigkeit der Spindel, die dafür sorgt, daß in jede der beiden Tochterzellen ein richtiger kompletter Chromosomensatz gelangt. Unter Alkoholeinwirkung entstehen häufig Zellen mit einem zusätzlichen oder fehlenden Chromosom. Je nach Größe des Chromosoms sind solche Zellen nach der Befruchtung entweder überhaupt nicht lebensfähig – die Frucht wird ausgeschieden – oder es kommt zu stark geschädigten Nachkommen. Beim Menschen ist das Down-Syndrom als eine Chromosomenanomalie bekannt, aber auch Zwitter zeigen häufig einen anomalen Satz von Geschlechtschromosomen.

Kaufmann verabreichte – nach diesen Reagenzglasbeobachtungen – lebenden Mäusen kurz vor der Begattung Alkohol und stellte die schädliche Wirkung auch im lebenden Organismus fest. Bei einem Alkoholspiegel im Blut, wie er von starken Trinkern durchaus erreicht werden kann, wiesen nicht weniger als 20% der Eizellen abnorme Chromosomenzahlen auf.

Nicht bekannt ist, ob es ähnliche Wirkungen auch bei der Bildung der Spermien gibt.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 1/1984)

**Warum sind Greifvogelweibchen größer als die Männchen?** Entgegen der Mehrzahl der Säugetiere und Vögel sind bei den meisten Greifvogelarten, bei verschiedenen Eulen, einigen Möwen und Fledermausarten die Weibchen größer als die Männchen.

Die Erklärung dafür liegt nach P. Wheeler und P. Greenwood in der Zunahme des Gewichtes der Weibchen vor der Eiablage beziehungsweise bei Fledermäusen während der Tragzeit. Beispielsweise steigt das Gewicht von Sperberweibchen vor der Eiablage von 300 auf 340 Gramm, also um mehr als 10%. Die aerodynamischen Folgen einer solchen Gewichtsvermehrung und der damit verbundenen Verschiebung des Schwerpunktes sind beträchtlich und beeinträchtigen die Manövrierfähigkeit des Vogels in der Luft und seine Fähigkeit, sich rasch bewegende Beutetiere zu fangen. Wären die Weibchen nicht größer als die Männchen, dann hätte eine gleiche Zunahme des Gewichtes noch schwerere Folgen und würde die Weibchen nahezu flugunfähig machen, oder sie müßten sich mit weniger oder kleineren Eiern begnügen. Der Selektionsdruck bevorzugt offensichtlich bei Greifvögeln größere Weibchen.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 1/1984)

**„Sechster Sinn“.** Katzen finden nach stundenlangem Irrfahrt wieder nach Hause. Sie orientieren sich wie etliche andere Tierarten und sogar manche Bakterien mit Hilfe des Erdmagnetfeldes.

Der britische Physiologe R. Baker von der Universität Manchester machte einen überraschenden Fund. An vier von fünf geröntgten menschlichen Schädeln entdeckte er hinter den Nasenwurzeln Einlagerungen von Eisen-II- und Eisen-III-oxid, ähnlich dem Mineral Magnetit. Der fünfte Schädel hatte einem Anämie-Kranken gehört, der unfähig war, Eisenverbindungen im Organismus aufzubauen. Baker deutet diesen Röntgenbefund als Hinweis auf die physiologische Grundlage eines Magnetsinnes.

(Bild der Wissenschaft, 1/1984)

**Neuronale Grundlagen der Prägung.** Nach K. Immelmann ist die Prägung ein rascher und früher Lernprozeß in einer sensiblen Phase, dessen Ergebnisse durch spezielle Mechanismen stabilisiert und vor späterer Fehlinformation geschützt werden. Von einer absoluten Irreversibilität der Prägung zu sprechen, ist laut Immelmann eine Übertreibung. Versuche an verschiedenen Vogelarten ergaben, daß die richtige Prägung auf die eigene Art leichter erfolgt als eine Fehlprägung auf eine andere Art; ebenso wird im Falle von anderen Arten eine der eigenen ähnliche einer unähnlichen vorgezogen und ein lebendes Tier einem unbelebten Objekt. Der Jungvogel scheint also irgendeine angeborene Vorstellung in sich zu tragen, auf was er geprägt werden soll, so daß unter natürlichen Bedingungen Fehlprägungen in der Regel vermieden werden.

Von einer englischen Forschergruppe wurden die neuronalen Vorgänge bei der Prägung von Küken untersucht. Studien über den Einbau radioaktiver Substanzen zeigten, daß der Prägungsvorgang mit intensiver Aktivität in der intermediären Region des medialen Hyperstriatum ventrale (IMHV) verbunden ist. Küken, bei denen dieser Gehirnteil beidseitig zerstört wurde, zeigten keinen Prägungseffekt. Mikroskopische Untersuchungen ergaben, daß es nach dem Prägungsvorgang eine deutliche Verstärkung von Synapsen in der IMHV der linken Hirnhälfte gibt. Wurden die IMHV nur auf einer Seite des Gehirns zerstört, blieb die Fähigkeit zur Prägung in den Küken voll erhalten. Wurde jedoch nachträglich auch die IMHV der anderen Seite zerstört, gab es je nach der Reihenfolge der zerstörten Seiten unterschiedliche Ergebnisse. Zerstörte man die rechte Seite zuerst und dann die linke, so konnten die Küken das Prägungsobjekt, das sie nach der ersten Operation noch genau erkannten, nach der zweiten Operation nicht mehr erkennen.

Beim umgekehrten Operationsverlauf wurde das Prägungsobjekt auch nach der zweiten Operation noch richtig erkannt. Man vermutet nun, daß die Prägungsinformation in der linken IMHV permanent gespeichert wird, während die rechte IMHV nur als Schaltstelle dient und gewissermaßen ein „Duplikat“ dieser äußerst wichtigen Information an eine andere, noch unbekannte Hirnregion weiterleitet, wo die Information „archiviert“ wird.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 3/1984)

**Reflex im Kleinhirn lokalisiert.** Läßt man unmittelbar vor einem Luftstrom gegen das Auge eines Kaninchens jedesmal ein bestimmtes Tonsignal erklingen, entsteht ein typischer Pawlowscher bedingter Reflex. Das Kaninchen schließt die Augen bereits auf Grund des Tonsignals, selbst wenn der Luftstrom dann manchmal ausbleibt. R. Thompson (Stanford Universität) hat durch Einpflanzen von Mikroelektroden in verschiedene Gehirnbezirke nun feststellen können, daß beim bedingten Reflex (nicht aber beim unbedingten) bestimmte Regionen des Kleinhirns aktiviert werden. Durch Zerstörung einer kleinen Region des Kleinhirns, des Nucleus interpositus lateralis, konnte der vorher erlernte, bedingte Reflex ausgeschaltet werden, obwohl das Kaninchen auf den Luftstrom selbst weiterhin das Auge schloß. Injizierte man Pharmaka, die die Tätigkeit von Neurotransmittern unterbinden, in diese Kleinhirnregion, so war der bedingte Reflex solange ausgeschaltet, bis der injizierte Stoff abgebaut war. Thompson konnte damit das erste Mal ein Stück Gedächtnis in einer bestimmten Region des Gehirns lokalisieren.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 3/1984)

**Kartoffeln benützen Pheromon zur Blattlausabwehr.** Gibson und Pickett entdeckten an den Haarspitzen der Blätter der Wildkartoffel (*Solanum berthaultii*) Tröpfchen, deren Inhaltsstoffe sie untersuchten. Sie fanden zwei Haartypen, deren Drüsen verschiedene Sekrete absondern. Das eine Sekret ist klebrig und hält Kleintiere fest. Das andere Sekret erwies sich identisch mit dem Pheromon, das Blattläuse bei Gefahr absondern. Es veranlaßt alle Blattläuse zur Flucht. Chemisch handelt es sich um (E)-B Farnesin. Es ist bereits gelungen, die Wildform mit der Kulturform (*Solanum tuberosum*) zu kreuzen. *Solanum berthaultii* ist auch resistent gegen zahlreiche andere Schädlinge wie Heuschrecken, Milben und Thripse.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 3/1984)

**Injektion fremder Wachstumshormon-Gene.** R. D. Palmiter injizierte mit seinen Mitarbeitern fremde Gene in Mäuseembryonen. Gewählt wurde ein Fusionsgen, welches zum einen aus dem Wachstumshormongen der Ratte und zum anderen aus dem Promotor des MT-I-Gens der Maus besteht. Etwa 600 Kopien dieser DNA-Fragmente wurden in den männlichen Vorkern der befruchteten Mäuseier mikroinjiziert und die manipulierten Eier dann in Muttertiere zurückverpflanzt. Von diesen Ei-

ern entwickelten sich 27 Mäuse, bei sechs dieser Tiere war das fremde Gen ein- bis mehrmals fest in das Genom eingebaut. Diese Mäuse wuchsen deutlich schneller als „normale“ Tiere, wobei die Gewichtszunahme mit der Anzahl der eingebauten Gene pro Zelle korreliert. Die Ursache des Riesenwachstums liegt in der Transkription der fremden DNA-Sequenz, wobei die RNA-Konzentration mit der Anzahl der eingebauten Gene pro Zelle korreliert. Es entsteht ein Polypeptid, das Wachstumshormon synthetisiert. Dieses Hormon kommt bei den Versuchstieren in 100–800mal höherer Konzentration vor als bei den Kontrolltieren.

Die praktische Bedeutung dieser neuen Technik liegt vor allem darin, daß die Fremdgene in einem so frühen Entwicklungsstadium – nämlich vor den ersten Zellteilungen – in das Ei eingeführt werden, daß bei dem sich entwickelnden Organismus alle Zellen, auch die der Keimbahn, genetisch verändert sind. Riesenwuchs und beschleunigtes Wachstum können so auf weitere Generationen vererbt werden und sind damit interessante Aspekte für die Tierzucht. Bei landwirtschaftlich nutzbaren Tieren bliebe zu überprüfen, ob die Fleischqualität durch den ständig erhöhten Wachstumshormonspiegel nicht gemindert wird. Bei zwergwüchsigen Mäusen mit fehlendem Wachstumshormon könnte dieses „Erleiden“ dadurch geheilt werden. Solche genetisch manipulierten Mäuse gelten auch als Studienobjekt zur Erforschung biochemischer Vorgänge, die durch chronisch erhöhten Wachstumshormonspiegel verursacht werden. Dies ist deshalb interessant, weil beim Menschen unter diesen Umständen außer Riesenwuchs häufig auch Hypophysentumor oder seltener auch Lungenkarzinom auftreten.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 4/1984)

**Körpereigene Fiebertrennung.** Das Alpha-melanocytenstimulierende Hormon (MSH) senkt nach Injektion in die Vene eines Kaninchens die erhöhte Temperatur auf die Norm. Dieser Effekt wurde schon früher bei ACTH festgestellt (eine Molekülkette entspricht dem MSH), doch kann es zur Fiebersenkung nicht eingesetzt werden, weil die Hauptwirkungen des ACTH nicht erwünscht sind.

Im Zentrum für Gesundheitswissenschaften der Universität Texas wurde eine Peptidkette von 13 Aminosäuren isoliert, die bei der Injektion ins Gehirn 25.000mal wirksamer das Fieber senkt als Aspirin oder ähnliche Antipyretika. Die Wissenschaftler fanden, daß sie mit dem MSH identisch ist und bei Kaninchen keine unerwünschten Nebenwirkungen auslöst, was auch beim Menschen bestätigt werden konnte. Es handelt sich dabei offensichtlich um die Substanz, die die physiologische Temperaturregulation besorgt. Man vermutet auch entsprechende Rezeptoren an den Nervenzellen des Gehirns. An diesen soll MSH mit den Substanzen in Konkurrenz treten, die aus Leukozyten frei werden und die Temperatur erhöhen.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 4/1984)

**Knoblauch schützt vor Verbißschäden.** Versuche ergaben, daß Hirsche sich durch Knoblauchgeruch vom Verbiß abhalten lassen. Der Geruch beruht auf Freisetzung von Dimethylselenid. Forscher der Universität von Washington in Seattle plazierten eine Tablette, die langsam Selen freigibt, an die Wurzeln von Kiefersetzlingen. Sie verlieh den Pflanzen den gewünschten Knoblauchgeruch, und sie blieben vom Verbiß verschont. Die Behandlung hält etwa drei Jahre lang und soll Millionenschäden vorbeugen.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 4/1984)

**Schmerzempfindung bei Spinnen?** Von Eidechsen, Krebsen, Spinnen und Insekten weiß man, daß sie auf Schwanz oder Bein verzichten, sobald diese von einem Raubtier verletzt oder gepackt worden sind. Bei einigen Spinnen- und Insektenarten wurde nun erstmals ein ähnliches Verhalten beobachtet, sofern sie von giftigen Insekten ins Bein gestochen worden waren. Radnetzspinnen der Gattung *Argiope* versuchten ihr Bein vom Körper abzutrennen, nachdem es von einer giftigen Raubwanze gestochen worden war. Dies geschah in Sekundenschnelle, um die tödliche Giftausbreitung in den Körper zu verhindern. Genauso verhielten sich noch Spinnen aus drei verschiedenen Familien sowie eine amerikanische Laubheuschreckenart. Zum Abwerfen von Beinen bei *Argiope* kam es auch durch Bienen- oder Wespengift sowie durch weitere giftige Einzelstoffe wie Serotonin, Phospholipase A 2, Histamin und Mellitin. Auf Grund dieser Ergebnisse glauben die Biologen T. Elsner und S. Camazine (Cornell Universität, Ithaca), daß niedere Tiere möglicherweise ebenfalls Schmerz empfinden können.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 5/1984)

**Tryptophan als Schlafmittel.** Serotonin ist ein Neurotransmitter und ist wahrscheinlich auf eine im Detail noch nicht geklärte Weise an der Entstehung von Schlaf beteiligt. Die relativ seltene Aminosäure Tryptophan ist eine Vorläufersubstanz bei der Bildung von Serotonin (5-Hydroxytryptamin). Verstärkte Zufuhr von Tryptophan mit der Nahrung führt zu vermehrter Serotoninbildung im Gehirn, während einige andere Aminosäuren, vor allem Valin, entweder die Tryptophanzufuhr vom Blut zum Gehirn oder die Serotoninbildung erschweren.

An zwanzig einigen Tage alten Babys wurden die Auswirkungen von M. Yogman (Harvard Universität) bestätigt. Die Säuglinge bekamen an einem Abend eine Babynahrung, in der alle Aminosäuren in durchschnittlicher Häufigkeit enthalten waren,

und an einem anderen ein Milchfläschchen, in dem der Tryptophangehalt oder der Gehalt an Valin deutlich erhöht war, aber noch innerhalb der Grenzwerte, die man in Muttermilch vorfindet. Die Beobachtungen zeigten, daß die Babys nach dem mit Tryptophan angereicherten Fläschchen im Durchschnitt um 14 Minuten rascher einschliefen und um 20 Minuten früher einen ruhigen Schlaf hatten als an den Tagen, an denen man sie mit „Normalmilch“ fütterte. Umgekehrt führte die mit Valin angereicherte Milch dazu, daß die Säuglinge zum Einschlafen 16 Minuten länger als normal brauchten und erst 39 Minuten später den ruhigen Tiefschlaf erreichten.

(Naturwissenschaftliche Rundschau, 6/1984)

# CHEMIE

Dr. Edith Jarisch

Leonhard A. Hütter, Hall in Tirol

## Einfache Methoden zur chemischen Untersuchung von Regenwasser und Schnee (Niederschlagswasser) (I)

### 1. Begründung und Umfang der Untersuchung von Niederschlägen

Die katastrophalen Auswirkungen der zunehmenden Belastung der Atmosphäre und damit auch der Niederschläge mit Schadstoffen [1, 2, 3, 4, 5, 6] zwingen zu einem raschen Umdenken und Handeln. Zwar ist mit der Untersuchung von Niederschlägen auf möglichst breiter Basis, z. B. im Bereich von Schule und Fachausbildung, noch kein direkter Schritt zur Lösung des Problems getan; immerhin ist nicht zu unterschätzen, was es für die Zukunft bedeuten kann, gerade der Jugend auf Grund selbstgesammelter Erfahrungen Motivation für ein umweltfreundliches Verhalten zu geben.

Auch im Hinblick auf die Einführung emissionsarmer Kraftfahrzeuge könnte aufschlußreich sein, inwieweit es dadurch zu einer analytisch erfassbaren Senkung der  $\text{NO}_x$ - und  $\text{SO}_2$ -Belastung kommt. Dazu müßte so rasch wie möglich auf breiter Basis mit Untersuchungen begonnen und die derzeitigen Belastungswerte ermittelt werden.

Um möglichst breites Interesse zu wecken, auch bei jenen, die sich noch nicht mit Wasseruntersuchung beschäftigt haben, sind die folgenden Ausführungen bewußt einfach gehalten; dennoch ist bei sorgfältiger Beobachtung der Hinweise durchaus sinnvolle Information zu gewinnen. Die erzielten Ergebnisse sollten in entsprechenden Aktionen der betreffenden Arbeitsgemeinschaften möglichst effektiv in das Bewußtsein der Mitbürger gebracht werden. Man kann es nicht oft genug sagen: Nichts fällt vom Himmel, was nicht – abgesehen von periodischen Naturereignissen – der Mensch vorher selbst hinaufgeblasen hat.

### 1.1. Niederschlagswasser – das „Abwasser der Luft“

Wasser, das als Regen, Schnee, Tau, Rauhfrost, Hagel wieder auf die Erdoberfläche gelangt – in der Bundesrepublik Deutschland im Jahresdurchschnitt etwa 205 Mrd.  $\text{m}^3$  –, sollte an sich der reinste Wassertyp der Natur sein, da es einem natürlichen Destillationsvorgang entstammt. Infolge der guten Löslichkeit vieler Stoffe in Wasser und der großen wirksamen Oberfläche des Regen-„Tropfens“ (ein aus 1 km Höhe fallender 50 mg schwerer Regentropfen vermag 16,3 Liter Luft bzw. 1 Liter Regenwasser 326 000 Liter Luft auszuwaschen) sowie durch das „Mitreißen“ unlöslicher Stoffe und Partikel erfährt die durchströmte Luft zwar einen erheblichen und wohlthuenden Prozeß der Reinigung, das betreffende Niederschlagswasser wird jedoch dabei zum „Abwasser der Luft“ [7] (S. 122 ff.).\*)

\*) Hier und im folgenden ist mit dem in runder Klammer stehenden Hinweis auf die Seitenzahlen des angegebenen Buches verwiesen, auf denen eingehendere theoretische wie experimentelle Hinweise gegeben werden.

Während man jedoch heute bereits die meisten kommunalen wie gewerblichen und industriellen Abwässer einer entsprechenden Reinigung unterzieht, ehe sie wieder dem Stoffkreislauf der Natur zurückgegeben werden, ist eine solche für Niederschlagswasser praktisch undurchführbar – sieht man von jenen im ganzen unbeträchtlichen Mengen ab, die über Kanalisation oder Regenrückhaltebecken in eine Abwasserreinigungsanlage gelangen. Zwar kann der Mensch sich vor diesem „Abwasser“ schützen, er kann bei Regen einen Schirm benutzen oder sich unters Dach zurückziehen. Die Natur, der Wald, die Wiesen und Gärten können dies jedoch nicht. Sosehr sie einerseits das köstliche Naß benötigen, ist es andererseits noch kaum in allen Dimensionen abschätzbar, in welchem Ausmaß durch die enorme Belastung der Luft und damit der Niederschläge mit Schadstoffen, vor allem aus dem Straßen- und Flugzeugverkehr sowie aus Immissionen der Verfeuerung fossiler Brennstoffe in Haushalt und Industrie das empfindliche Ökosystem, die unvorstellbar vielfältige und aufeinander eingespielte Mikro- und Makro-Organismenwelt des Bodens irreversibel geschädigt und dezimiert wird. Dies gilt im besonderen für jene gasförmigen Stoffe, die, gegebenenfalls nach entsprechender Oxidation, mit Wasser starke Säuren bilden ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{F}_2$ ). Zwar besitzen Böden im allgemeinen ein gutes Puffervermögen, vielfach ist jedoch bereits die Pufferkapazität erschöpft, insbesondere in den obersten Bodenschichten, wenn die puffernden Mineralstoffe sich nicht (mehr) rasch genug anzureichern vermögen. Es kommt zu pH-Wert-Absenkung von bedrohlichem Ausmaß. Die dadurch hervorgerufenen Effekte treten unter „natürlichen“ Bedingungen, das heißt, bei lediglich mit Kohlensäure gesättigtem Niederschlagswasser nicht auf, z. B. die Freisetzung von Aluminium-Ionen aus Feldspäten. Während die üblichen aus Mineralstoffen freigesetzten Ionen, vor allem Kalium, Magnesium und Calcium als Pflanzennährsalze eine bedeutsame Funktion ausüben, ist Aluminium ein starkes Wurzelgift (phytotoxisches Ion; verursacht schwere Schädigungen im Feinwurzelbereich).

Schließlich wirken sich derart belastete Niederschläge – abgesehen von weiteren, hier nicht zu besprechenden Schäden – auch durch direkten Eintrag von Schadstoffen und Erschöpfung der Pufferkapazität in die Oberflächengewässer aus, wobei besonders Seen betroffen sind. Zum Beispiel nimmt eine ruhende, saubere Wasseroberfläche von 1  $\text{m}^2$  pro Sekunde etwa 0,04  $\mu\text{g}$   $\text{SO}_2$  auf; dies ergibt für die Fläche des Neusiedler Sees (je nach Wasserstand 250 bis 300  $\text{km}^2$ ) einen jährlichen Eintrag an  $\text{SO}_2$  von ca. 28 Tonnen [3]. Im Endeffekt tritt also ebenfalls Versäuerung ein und führt zum Absterben des Planktons, dem empfindlichsten Glied des Lebensraumes „Wasser“ und damit in weiterer Folge zur unausweichlichen Verödung (siehe nordische Seen!).

Hinsichtlich der **atmosphärischen Auswaschvorgänge** (precipitation scavening) sind zu unterscheiden und auch für die Interpretation der Versuchsergebnisse von Bedeutung:

– **Der Prozeß des „rainout“:** Er umfaßt alle Vorgänge innerhalb einer Wolke, wobei unter Umständen beträchtliche Stoffmengen durch horizontalen Transport von Wolkenmassen nachgeliefert werden können. So wird etwa bei länger-dauerndem Schlechtwetter (Regen, Schnee) häufig ab dem zweiten Tag eine Zunahme der  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionenkonzentration (niedrige pH-Werte) gefunden, während die Konzentration an  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen abnimmt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß die neutralisierende Wirkung der anfangs ausgewaschenen Aerosole sich erschöpft und durch Wolkenverfrachtung neue Aerosole herantransportiert werden, die nicht mehr die-

ser neutralisierenden Wirkung ausgesetzt sind (dies ist meist auch in einem höheren Gehalt an Sulfat und Nitrat erkennbar).

– **Der Prozeß des „washout“:** Dieser Vorgang umfaßt alle vertikalen Prozesse von unterhalb der Wolkenbasis bis zum Erdboden.

Im Zusammenhang mit diesen hier nur kurz angedeuteten atmosphärischen Gegebenheiten und den in der Atmosphäre sich abspielenden physikalischen und chemischen Prozessen zwischen Gasen und kleinsten festen und flüssigen Partikeln, etwa Redoxprozesse, Protonenübertragungen (Säure-Base-Reaktionen), katalytische und photochemische Vorgänge, wird häufig der Begriff „**Aerosol**“ gebraucht, wobei die Lufthülle der Erde als ein lokal zwar starken Schwankungen unterworfenes, jedoch insgesamt einziges, riesenhaftes Aerosol (atmosphärisches Aerosol) aufzufassen ist. Ganz allgemein sind Aerosole instabile kolloide zum Teil elektrisch aufgeladene, meist auch Ionen enthaltende Systeme aus Gasen (Luft,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , ...) mit darin verteilten kleinen festen (Stäube, Rauche) bzw. flüssigen (Nebeln) Teilchen von ca.  $10^{-7}$  bis  $10^{-3}$  cm Durchmesser („Schwebstoffe“).

Ein Teil der Aerosole fällt als Gas oder Staub (dry fallout) wieder auf die Erde zurück. Die verbleibenden natürlichen und anthropogen produzierten Aerosole werden zusammen mit den aus übersättigtem Wasserdampf entstandenen Wassertropfchen in Form von Wolken weitertransportiert, wobei Aerosole und Gase mannigfaltigen Umwandlungsprozessen unterliegen. Die mittlere Aufenthaltszeit des Wasserdampfes in der Atmosphäre beträgt etwa zehn Tage; somit sind länderübergreifende Verfrachtungen sicher keine Seltenheit.

## 1.2. Inhaltsstoffe von Niederschlägen

Ganz allgemein versteht man unter „**Niederschlag**“ die **Summe aller Ablagerungen** (deposition) aus der Atmosphäre auf Oberflächen, und zwar

– **trockene Ablagerung** (dry deposition), dabei werden gasförmige und staubförmige Luftfremdstoffe durch Kontakt etwa mit Bäumen, Wiesen, Böden, Gebäuden und anschließende Adsorption und Absorption aus der Atmosphäre entfernt;

– **nasse Ablagerung** (wet deposition) (von der im folgenden ausschließlich die Rede ist), bei der Luftschadstoffe in die flüssige Phase gehen und in dieser an die Erdoberfläche gelangen.

Sieht man von außergewöhnlichen Naturereignissen ab, etwa Vulkanausbrüchen oder Stürmen mit globalen Verfrachtungen von Gasen und Mikropartikeln, enthält „natürliches“ Niederschlagswasser alle jene Stoffe, die von Natur aus Bestandteil der Luft und in Wasser gut löslich sind, vor allem  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$ . Der Gehalt an Kationen, z. B. aus Mineralstoffen, etwa aufgewirbelter Straßenstaub, trockene Ackererde, ist normalerweise gering, wobei Calcium und Magnesium (Gesamthärte) den Hauptanteil stellen, so daß Niederschlagswasser zu den sehr weichen, wenig gepufferten und somit aggressiven Wässern zu zählen ist. Der pH-Wert eines mit Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ) gesättigten Wassers liegt im Bereich von etwa pH = 5,6 bis pH = 5,4.

Völlig anders die Situation bei den anthropogenen Belastungsstoffen. Hier handelt es sich nicht nur um eine kontinuierliche, sondern um eine in dieser Art und diesem Ausmaß überhaupt noch nie dagewesene Verschmutzung der Luft. Hinsichtlich der anorganischen Komponenten sind neben CO und  $\text{NH}_3$  die säurebildenden Gase  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  und Stickoxide,  $\text{NO}_x$ , von entscheidender Bedeutung; auch lokale Immissionen an HCl (und HF) sind feststellbar. Hinzu kommen eine Anzahl Schwermetalle, an der Spitze das hochtoxische Blei (aus verbleitem Benzin) und andere, zum Teil ebenfalls toxische Elemente, etwa Selen (ebenfalls aus verbleitem Benzin) sowie Ruß, Industrie- und Verkehrsstäube, radioaktives Fallout u. a. Auf die Vielzahl der organischen Stoffe, die in ihren toxischen bzw. cancerogenen Vertretern ebenfalls zur Hauptsache aus Verkehrsabgasen und anderen Verbrennungsprozessen stammen, kann lediglich hingewiesen werden [5].

Durch photochemische Reaktionen unter katalytischer Wirkung von Ruß- und Staubpartikeln können u. a. Schwefel der Oxidationsstufe  $-2$ ,  $\pm 0$ ,  $+4$  ( $\text{H}_2\text{S}$ , S,  $\text{SO}_2$ ) bis zur Oxidationsstufe  $+6$  ( $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; in wäßriger Lösung:  $2 \text{H}_3\text{O}^+ \text{SO}_4^{2-}$ ) und Stickoxide bis zur Salpetersäure,  $\text{HNO}_3$  (in wäßriger Lösung:  $\text{H}_3\text{O}^+ \text{NO}_3^-$ ) oxidiert und als solche ausgewaschen werden.

Stickoxide werden vorwiegend in der Gasphase zu  $\text{HNO}_3$  oxidiert, während bei  $\text{SO}_2$  infolge seiner relativ guten Wasserlöslichkeit auch die Umwandlung in der flüssigen Phase zu  $\text{H}_2\text{SO}_3$  bzw.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bedeutsam ist; sie findet direkt in Wolken-, Regen- und Nebeltropfen (Katalysator v. a.  $\text{H}_2\text{O}_2$  und  $\text{O}_3$ ) oder auch an hygroskopischen Aerosolteilchen (Katalysator z. B. Fe, Mn) statt.

Diese Bildung sekundärer Schadstoffe erfolgt mit unter-

schiedlicher Geschwindigkeit; z. B. werden Stickoxide relativ rasch in  $\text{HNO}_3$  umgewandelt, während  $\text{H}_2\text{SO}_4$  nur langsam gebildet wird. Daher sind die S-Verbindungen im Regen vorwiegend weiträumiger, die N-Verbindungen eher lokaler bzw. regionaler Herkunft.

Häufig jedoch kommt es bereits in der Wolke bzw. im fallenden Tropfen oder auch im Aerosol zu Neutralisationsvorgängen, wobei Ammoniak und kalkhaltige Stäube (Stadtgebiete) die hauptsächlichsten Basen sind; Charakteristikum für derartige Effekte sind entsprechend hohe Gehalte an  $\text{NH}_4^+$ -,  $\text{Ca}^{2+}$ - und  $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen sowie an  $\text{SO}_4^{2-}$ - und  $\text{NO}_3^-$ -Ionen bei beträchtlicher Leitfähigkeit und mittleren pH-Werten. Vor allem nach längeren Schönwetterperioden sind die ersten Anteile der Niederschläge oft relativ elektrolytreich und nur schwach sauer.

Es soll noch vermerkt werden, daß Nebel und Rauhref weit aus belasteter sind als Regen (vgl. Tab. 1.2.).

**Tab. 1.2.:** Schadstoffkonzentrationen in Regen, Nebel und Rauhref [2].

Ereignis	pH-Wert	Chlorid mg/l $\text{Cl}^-$	Nitrat mg/l $\text{NO}_3^-$	Sulfat mg/l $\text{SO}_4^{2-}$
Regen (n = 19)	4,9	1	3,9	10,6
Rauhref (n = 1)	3,2	11	50,9	114,0
Nebel (n = 1)	3,0	35	193,0	322,0

## 1.3. Allgemeine Hinweise zur Analytik von Niederschlägen

Da Niederschlagswasser kaum einer direkten Verwendung zugeführt werden kann – außer jener, die es von Natur aus besitzt – und als Trinkwasser ebenfalls ungeeignet ist, hat bislang dessen Untersuchung in der Umwelanalytik eine eher untergeordnete Rolle gespielt. Zudem entzieht es sich allen Anforderungen hinsichtlich einer zu fordernden bestimmten „Reinheit“ (Grenzwerte), denn diese können sinnvollerweise nur über Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft (Immissionsverringern) erfolgen, so daß auch aus dieser Sicht eine Überwachung wenig zweckmäßig erscheinen könnte. Erst in den letzten Jahren ist im Zusammenhang mit den katastrophalen Auswirkungen des „sauren Regens“ ein beträchtliches Interesse wach geworden.

Das für exakte Untersuchungen benötigte Instrumentarium, z. B. Atomabsorption (Kationen) und Ionenchromatographie (insbes. Anionen) ist in der Umwelanalytik gut eingeführt. Grundsätzliche und nicht leicht befriedigend zu lösende Probleme sind mit der Probenahme verbunden. Zunächst steht im Gegensatz zur Probenahme aus Gewässern Regenwasser oder Schnee nicht jederzeit und wenn, dann auch nicht in beliebiger Menge zur Verfügung, vor allem nicht die oft hoch belasteten ersten Anteile eines Ereignisses – es sei denn, man sammelt gleichzeitig mit mehreren und möglichst großen Trichtern. Weiter können auch die Sammelstationen meist nicht so geschützt angelegt werden, daß eine Beeinträchtigung durch Passanten auszuschließen ist. Stellt man die Sammelbehälter („Ombrometer“) knapp über dem Boden auf, erfaßt man zwar den gesamten Auswaschvorgang, weiß aber nie, ob am nächsten Morgen die Behälter noch da sind; sammelt man auf Hausdächern, werden die wichtigen, weil stark belasteten unteren Luftschichten nicht erfaßt. Außerdem ist eine repräsentative Probe kaum zu gewinnen, da sich die katalytischen (Redox-)Prozesse in dem gesammelten Wasser fortsetzen. Wurde z. B. mehrere Tage hindurch gesammelt (Regenperiode), so liegt eine sehr schwer zu interpretierende Mischprobe aus unter Umständen bereits stark veränderten ersten und kaum veränderten letzten Anteilen vor; zudem können Sekundärreaktionen die Probe weiter verfälschen, wenn sie nicht sogleich zur Untersuchung gelangt.

Als optimale Lösung wäre das Aufstellen der Ombrometer unmittelbar vor einem Ereignis anzusehen, wobei die ersten Anteile separat aufgefangen werden. Als günstige Lösung kann das Sammeln von Tages- oder Halbtagsproben gelten. Die Ombrometer sollten zu einem Zeitpunkt aufgestellt werden, daß nach Beendigung des Sammelvorganges umgehend die Untersuchung möglich ist.

Beläßt man die Sammelgefäße auch während der Trockenperioden im Freien, wird nicht nur der nasse (rain out + wash out) Eintrag (wet deposition), sondern auch die trockene Ablagerung (dry deposition) der aus der Atmosphäre an die Erdoberfläche gelangenden Gase und Partikel erfaßt, es sei denn, man spült täglich Trichter und Flasche mit Deionat.

Bereits aus diesen wenigen Anmerkungen ist zu ersehen, welcher Art die Probleme sind und mit welcher Vorsicht aus den

Untersuchungsergebnissen Schlüsse gezogen werden dürfen. Dies gilt für eine einzelne Meßstation, erst recht für ein Meßnetz, aus dem vergleichbare Daten erbracht werden sollen.

Außerdem handelt es sich praktisch stets um Spurenbestimmungen; da im folgenden nach sehr einfachen Methoden gearbeitet wird, wobei für gewisse Bestimmungen eine relativ große Probenmenge wünschenswert wäre, bedarf es einer gewissen Einarbeitungszeit, bis mit der vorhandenen Probe ökonomisch gearbeitet werden kann und alle angegebenen Bestimmungen ausgeführt werden können.

Nach diesen allgemeinen Hinweisen sollen nun die wichtigsten Parameter im einzelnen besprochen werden.

### 1.3.1. Temperatur (S. 157 ff.)

Als Temperatur der gesammelten Probe kann hinreichend genau die beim Abtransport derselben herrschende Lufttemperatur angenommen werden (vgl. jedoch Abschn. 2.4.). Sie ist auch deshalb von Bedeutung, weil sowohl die Leitfähigkeit als auch der pH-Wert der Proben bei der (leider für Wasseruntersuchungen recht ungünstigen) Normtemperatur von 25 °C bestimmt werden müssen und während der hiezu erforderlichen Thermostatisierung (Einstellen der Probe in ein entsprechendes temperiertes Wasserbad genügt) sich die Probe verändern kann; dies um so mehr, je größer die Differenz zur Normtemperatur ist.

### 1.3.2. Elektrische Leitfähigkeit (S. 52, 160 ff.)

Die elektrische Leitfähigkeit ist in der Wasseranalytik eine wichtige Kenngröße zur Erfassung der insgesamt im Wasser vorhandenen Ionen. Eine geringe Leitfähigkeit läßt unmittelbar die Aussage zu, daß weder Neutralsalze noch Oxonium-Ionen in beträchtlichem Ausmaß in der Probe vorhanden sein können; sie gibt allerdings keinerlei Aufschluß über das Vorhandensein organischer Stoffe.

Die Eigendissoziation (Autoprotolyse) des Wassers mit  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-7} \text{ mol/l}$ , entsprechend  $\text{pH} = \text{pOH} = 7,00$ , bewirkt eine aus der Stoffmengenkonzentration dieser Ionen resultierende Mindestleitfähigkeit von  $(0,0350 + 0,0196 =) 0,0546 \mu\text{S/cm}$  (25 °C). Da der pH-Wert lediglich die Oxoniumionkonzentration erfaßt, muß sich zu einem gemessenen pH-Wert eine entsprechende Mindestleitfähigkeit einstellen, nämlich bei

$$\text{pH} = 5 \text{ Mindestleitfähigkeit } \kappa = 3,50 \mu\text{S/cm (25 °C)}$$

$$\text{pH} = 4 \text{ Mindestleitfähigkeit } \kappa = 35,0 \mu\text{S/cm (25 °C)}$$

$$\text{pH} = 3 \text{ Mindestleitfähigkeit } \kappa = 350 \mu\text{S/cm (25 °C)}$$

Hinzu kommt die durch Anionen verursachte Leitfähigkeit: etwa bei der Protolyse von Salzsäure, gemäß  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ , oder von Salpetersäure, gemäß  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$ , eine der Stoffmengenkonzentration an Oxonium-Ionen äquivalente Konzentration an Chlorid- bzw. Nitrat-Ionen. Diese weisen jedoch eine relativ geringe Ionenbeweglichkeit auf und vergrößern somit die Leitfähigkeit nur unwesentlich. Wurde z. B.  $\text{pH} = 4$  gefunden, entsprechend  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-4} \text{ mol/l}$  und stammen diese Oxonium-Ionen aus der Protolyse von Salpetersäure, dann ist auch  $c(\text{NO}_3^-) = 10^{-4} \text{ mol/l}$  und leisten diese einen Beitrag zur Leitfähigkeit von  $7,06 \mu\text{S/cm}$ , so daß eine Mindestleitfähigkeit von  $(35,0 + 7,06) = 42,06 \mu\text{S/cm}$  (25 °C) resultiert. (Die weiteren im Regenwasser bzw. Schnee vorkommenden Anionen haben eine davon nur geringfügig abweichende Leitfähigkeit.)

Nur nach längerer Niederschlagstätigkeit sind die Aerosole bestenfalls so weitgehend ausgewaschen, daß außer freien Säuren kaum andere Ionen zugegen sind, etwa aus Neutralsalzen (z. B.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

### 1.3.3. Oxoniumionen-Konzentration, $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ ; pH-Wert (S. 52, 165 ff.)

Die Bestimmung des pH-Wertes sehr ionenarmer und schwach gepufferter Wasser ist nicht nur problematisch (S. 95 f.), sie erbringt bei der Untersuchung von Niederschlägen zudem für sich allein meist keine eindeutige Information. Auf Grund des gefundenen Wertes für die Leitfähigkeit kann abgeschätzt werden, ob bei der pH-Messung Probleme zu erwarten sind.

Wird ein niedriger pH-Wert gefunden, zeigt dies auf jeden Fall eine entsprechend hohe Konzentration an Oxonium-Ionen (Säure) an. Meist liegen die pH-Werte jedoch recht gut „in der Mitte“ und man weiß dann nur in Verbindung mit der Leitfähigkeit, ob und in welchem Ausmaß neutralisierende (und puffernde) Effekte stattgefunden haben, z. B. Umsätze mit Ammoniak oder carbonatischen Stäuben. Eine eindeutige Information kann jedoch nur aus der Bilanzierung aller vorhandenen Ionen

(Äquivalent-Summe der Kationen muß gleich sein der Äquivalent-Summe der Anionen) (S. 143 ff.) gewonnen werden.

Wird z. B. ein pH-Wert von etwa 5 und eine Leitfähigkeit von z. B.  $60 \mu\text{S/cm}$  gefunden, liegen auf jeden Fall nicht zu vernachlässigende Konzentrationen an Kationen und Anionen in der Probe vor. Wird bei demselben pH-Wert jedoch nur eine Leitfähigkeit von etwa  $6 \mu\text{S/cm}$  gefunden, erübrigen sich in dem hier gesteckten Rahmen weitere Untersuchungen, da es sich nur um ein weitgehend „sauberes“ Niederschlagswasser handeln kann.

### 1.3.4. Gesamthärte (GH), $c(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ (S. 55, 184)

Die „Härte“, als Summe der Stoffmengenkonzentration an Calcium- und Magnesium-Ionen, ist in der Wasserchemie und -technologie ein wichtiger Parameter. Auch im Niederschlagswasser wird oft eine beträchtliche GH gefunden; wie schon erwähnt, stammt diese größtenteils aus der Verfrachtung von Boden- und Verkehrsstaub, wobei neben Carbonaten ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) auch z. B. Silicate und Phosphate verfrachtet und wieder ausgewaschen werden können. Besonders nach längeren Schönwetterperioden und in urbanen Gebieten weisen v. a. die ersten Anteile von Niederschlägen oft einen hohen Gehalt an Ca bei mittleren pH-Werten auf.

Wenngleich hier die Bestimmung von Ca und Mg primär den Zweck verfolgt, den Einfluß dieser an sich hygienisch unbedenklichen Ionen auf Leitfähigkeit und pH-Wert (neutralisierende Effekte) abschätzen und allgemein auf entsprechende Verfrachtungen und Anreicherungen von Stäuben in der Atmosphäre schließen zu können, darf nicht übersehen werden, daß damit stets auch eine entsprechende Belastung mit den verschiedensten toxischen Stoffen parallel geht.

### 1.3.5. Anorganische Stickstoffverbindungen: Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ bzw. $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ ); Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) und Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ); Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ bzw. $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$ ) (S. 251 ff.)

Die gasförmigen Oxide des Stickstoffs,  $\text{NO}_x$ , stammen zu 80 bis 90% aus Abgasen von Motorfahrzeugen, wobei infolge der hohen Verbrennungstemperatur der Luftstickstoff mit dem Luftsauerstoff der Verbrennungsluft zu  $\text{NO}$  (90–95%) reagiert, sowie aus anderen anthropogenen Quellen, v. a. aus der Verbrennung von Kohle. Insofern sie entweder bereits im Aerosol bzw. im Regentropfen oder auch noch in der gesammelten Probe (über Nitrit) zum überwiegenden Teil bis zur Salpetersäure oxidiert wurden, kann der mit den Niederschlägen ausgewaschene Stickstoff in den entsprechenden Ionen analytisch erfaßt und aus dem pH-Wert die freie Säure abgeschätzt werden (vgl. jedoch Abschn. 1.3.6.). Auch Reduktion zu Ammonium ist möglich, dürfte jedoch selten vorkommen.

Ein wahrscheinlicher sehr geringer Anteil des Stickstoffs stammt von  $\text{N}_2\text{O}$ , das bei der bakteriellen Denitrifikation in Böden freigesetzt wird. Auch für Ammoniak kann – abgesehen von lokalen industriellen Immissionen – angenommen werden, daß es größtenteils natürlichen Ursprungs ist und einen beträchtlichen Anteil an neutralisierenden Prozessen haben kann, wobei eine entsprechende Konzentration an  $\text{NH}_4^+$  gefunden wird. Bei längere Zeit gelagerten Proben sind Sekundärreaktionen von Ammonium zu Aminosäuren möglich.

### 1.3.6. Anorganische Schwefelverbindungen: Sulfid ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) und Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ); Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ bzw. $2 \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ) (S. 245 ff.)

Das in der Atmosphäre vorhandene  $\text{SO}_2$  stammt ebenso wie die Stickoxide größtenteils aus anthropogenen Quellen und wird, insofern es bis zur Schwefelsäure oxidiert wird, im Niederschlag als Sulfat gefunden; freie Säure kann aus dem pH-Wert abgeschätzt werden (zusammen mit  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  u. a.). Ob Sulfid bzw. Schweflige Säure in nachweisbarer Konzentration in Niederschlagswasser vorkommt und welche Auswirkung dies ggf. auf Mikroorganismen in Böden hat (vgl. „Ausschwefeln“ von Weinfässern!), konnte nicht eruiert werden.

Zu den meist relativ hohen Sulfatgehalten kann in küstennahen Gebieten aus der Verfrachtung von Meerwasser noch zusätzlich Sulfat in die Niederschläge gelangen.

Es sei noch auf den in seinen Konsequenzen bedeutsamen Unterschied zwischen Schwefelsäure und Salpetersäure hingewiesen.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ist nicht nur hygroskopisch, sie hat auch einen geringen Dampfdruck und liegt daher nicht gasförmig sondern aerosolgebunden oder in Tröpfchen vor.  $\text{HNO}_3$  hingegen tritt infolge ihres hohen Dampfdruckes auch gasförmig auf. Daher spielt für die Salpetersäure die trockene Ablagerung eine wesentlich größere Rolle als für die Schwefelsäure. Die ist u. a. auch mit ein Grund dafür, daß bei beispielsweise gleich hohen Emissionen von  $\text{NO}_x$  und  $\text{SO}_2$  im Regenwasser etwa doppelt so viel Sulfat als Nitrat gefunden wird.

### 1.3.7. Chlorid (Cl<sup>-</sup>) und Chlorwasserstoffsäure (HCl bzw. H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>) (S. 237)

Von den im atmosphärischen Aerosol anzutreffenden Mineralsäuren kommt der Salzsäure bzw. dem Chlorid der geringste Anteil zu. Immerhin kann aus der Müllverbrennung (PVC u. a. chlorhaltige Polymere) und aus Industrieabgasen Chlorwasserstoff direkt in die Atmosphäre gelangen und lokal zu beträchtlichen Chlorid-Konzentrationen und pH-Wert-Absenkungen führen. In Küstennahen Gebieten kann Chlorid aus Meerwasser weit in das Land hinein verfrachtet werden.

Von den in Niederschlägen überwiegend anzutreffenden Säuren wird der Salzsäure ein Anteil von rund 15%, der Salpetersäure 30% und der Schwefelsäure 55% zugeschrieben [6].

#### Bezugsquellenhinweise:

(Ein ausführliches Verzeichnis befindet sich in [7], Seite 330 bis 333.)  
Von den nachfolgend genannten Firmen können die entsprechenden Produktinformationen angefordert werden. Alle Geräte und Produkte sind über den Laborhandel erhältlich.

#### LITERATUR:

- [1] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Säurehaltige Niederschläge – Entstehung und Wirkung auf terrestrische Ökosysteme. VDI-Verlag GmbH, Postfach 1139, D-4000 Düsseldorf 1.
- [2] Malissa, H., Puxbaum, H., Wopenka, B.: Zur chemischen Zusammensetzung von urbanen Niederschlägen. Fresenius Z. Anal. Chem. **301** (1980), 279–286.
- [3] Malissa, H.: Analytische Chemie und der atmosphärische Eintrag in unsere Gewässer; in: Wasser und Abwasser (Hrsg.: BA f. Wassergüte, Wien, Kaiser-mühlen), Bd. **27** (1983), 47–58.
- [4] Puxbaum, H., Halbwachs, G., Glatzel, G., Löffler, H.: Saure Niederschläge – Vorkommen und Auswirkungen. Österr. Chemie-Zeitschrift **84** (1983), 33–43.
- [5] Hellmann, H.: Organische Stoffe im Regenwasser. Vom Wasser, Bd. **47** (1976), 57–79.
- [6] Zobrist, J., Stumm, W.: Wie sauber ist das Schweizer Regenwasser?; in: Neue Zürcher Zeitung, Beil. „Forschung und Technik“ (27. Juni 1979); Separatum Nr. 742 der ETH Zürich.
- [7] Hüter, L. A.: Wasser und Wasseruntersuchung; Methodik, Theorie und Praxis chemischer, chemisch-physikalischer und bakteriologischer Untersuchungsverfahren. 2., neu bearb. u. erw. Aufl. 1984. Verlage Diesterweg/ Salle, Frankfurt – Sauerländer, Aarau; VIII + 344 Seiten, DM 48,-
- [8] **WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH**, Postfach 59, D-8120 Weilheim.  
In Österreich: **Dipl.-Ing. R. Kühnel GmbH**, A. Scharff-Gasse 4, A-1120 Wien.
- [9] **E. Merck**, Frankfurter Straße 250, Postf. 4119, D-6100 Darmstadt.  
In Österreich: **Austro-Merck GmbH**, Zimlagasse 5, Postf. 700, A-1147 Wien.
- [10] **Struers GmbH**, Albert-Einstein-Str. 5, D-4006 Erkrath 3.  
In Österreich: **Monitor Labs Umwelteintechnik GmbH**, Südstadtzentrum 1/30, A-2344 Maria Enzersdorf.
- [11] **SERAL Erich Alhäuser GmbH**, Postf. 551, D-5412 Ransbach-Baumbach.  
Reinstwasser-Systeme „Seradest“ und „Serapur“; In Österreich: **Dr. Ing. Stefan Szatecsny GmbH**, Lohnergasse 3, A-1215 Wien.

Teil 2 (Experimentelle Durchführung von Niederschlagsuntersuchungen) und Teil 3 (Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse) erscheinen in der nächsten Ausgabe dieser Zeitschrift.

## Cluster – Eine interessante Organisationsform der Materie

Kleinere oder größere klumpenartige Verbände von Atomen bzw. Molekülen werden mit dem englischen Wort **Cluster** bezeichnet, falls die **Anzahl N** der zusammengelagerten Konstituenten so klein ist, daß ein erheblicher Teil von ihnen an der Oberfläche des Clusters sitzt. Infolge der Oberflächenspannung darf das Gebilde als sphärisch (Radius R) angenommen werden. Ist r der Halbmesser der gleichfalls als kugelförmig anzusehenden Bausteine, dann sind N und (R/r)<sup>3</sup> proportional, während die Anzahl n der an der Oberfläche befindlichen Partner zu (R/r)<sup>2/3</sup> proportional ist. Unter anderem wird r mit 0,2 nm anzusetzen sein. Die beigefügte Tabelle gewährt einen numerischen Überblick.

R (nm)	N	n	n/N	anzusprechen als
1	125	100	0,8	} Cluster
2	10 <sup>3</sup>	400	0,4	
100	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	0,008	
1000	10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>	0,008	
5 mm	10 <sup>22</sup>	10 <sup>22</sup>	10 <sup>-7</sup>	kleine Teilchen

Cluster spielen auf vielen Gebieten der Forschung und der technischen Anwendung eine wichtige Rolle. Solche Gebiete

sind: Katalyse, fotografische Prozesse, Kondensation und Solvation, Kristallwachstum und -fehlstellen, Aerosole, Mikroelektronik, Chemie und Physik der Hochatmosphäre.

Die Farben auf alten Kirchenfenstern verdanken Clustern von Gold- und Silberatomen (-molekülen) ihre auch heute noch bestaunte hohe Leuchtkraft. Die numerischen Daten über Edelgas-Cluster ergaben sich mit Computerhilfe aus den Debye-Scherrer-Ringen, die durch Elektronenstreuung an den Clustern entstehen. Dazu gehören: Kristallstruktur, Bindungslänge und Temperatur im Zeitpunkt der Messung. So besitzen größere Argon-Cluster von mehr als 1000 Atomen dieselbe flächenzentrierte kubische Struktur wie Makrokristalle des Argon. Bauen sich die Ar-Cluster aus einer geringeren Zahl von Atomen auf, dann setzt sich die ikosaedrische Form durch, weil diese gegenüber der kubischen energetisch begünstigt ist. In Makrokristallen verhindert die 5zählige Symmetrie der Ikosaeder deren Dominanz.

Können Cluster als fest oder flüssig angesehen werden? Nahe dem absoluten Nullpunkt befinden sich die Cluster in der festen Phase, denn die Atome sind nur der quantenmechanisch bedingten Nullpunktbewegung fähig. Steigt die Temperatur T, dann werden die bei Platzwechseln auftretenden Bewegungen stärker, und zwar steigt die Platzwechselhäufigkeit exponentiell mit T an. Das Cluster vollführt dann auch Vibrationen, deren Intensivierung jedoch bedeutend langsamer erfolgt. Man schlägt daher vor, den Phasenübergang fest → flüssig, das heißt den Schmelzpunkt, als jene Temperatur zu definieren, bei der die Vibrationsfrequenz mit der Platzwechselfrequenz übereinstimmt.

Das Ionisationspotential wird mittels Massenspektrometers in seiner Abhängigkeit von der Zahl N bestimmt.

Cluster mit magischen Atomzahlen erweisen sich als besonders stabil. Die Abhängigkeit der Clustereigenschaften von der Zahl n der Atome (Moleküle) an der Oberfläche bedarf noch sehr eingehender Untersuchungen.

#### Erzeugung:

Cluster können auf verschiedene Arten erzeugt werden:

1. Die Clusterbildung setzt bei Unterschreiten der Kondensationstemperatur von Gasen ein. Deshalb verdampft man Stoffe mit hohem Schmelzpunkt (z. B. Metalle) in einen kalten Gasstrom hinein und läßt die entstehenden Cluster auf eine Kohlenstoffolie niederschlagen. Die Analyse des Niederschlags geschieht mit dem Elektronenmikroskop.

2. Der Düsenstrahl einer gasförmigen Substanz (Druck 0,1 bis 100 bar) tritt durch eine feine Düse (0,001 bis 0,5 mm Durchmesser) ins Vakuum, expandiert adiabatisch und erfährt dadurch eine ungemein rasche Abkühlung, was die Clusterbildung fördert. Damit nicht genug, der achsennahe Teil des Strahls wird im **Skimmer** (das ist eine konisch geformte Blende) ausgesondert und in eine zweite Vakuumkammer geleitet. Auf diese Weise erhält man einen an Clustern stark angereicherten Strahl, der überdies räumlich eng begrenzt ist.

3. Ein Metall wird mittels Laserstrahls in einen expandierenden Gasstrahl verdampft.

4. An Stelle des Laserlichtes richtet man einen auf mehrere kV beschleunigten Ionenstrahl auf die Oberfläche des zu untersuchenden Metalls. Geladene und ungeladene Cluster werden dadurch von der getroffenen Stelle weggeschleudert (abgesputtert).

Die angeführten Verfahren haben den Nachteil, daß die Geschwindigkeitsverteilung der Cluster weit gestreut ist, was die Untersuchung der Clustereigenschaften erschwert.

#### Offene Fragen

1. Was ist die kritische Größe, die unterschritten werden muß, damit die **kollektiven Eigenschaften** der im Cluster vereinigten Atome (Moleküle) verlorengehen?

2. Bei welcher Anzahl von Metallatomen im Cluster setzt die metallische Leitfähigkeit ein?

3. Welche Veränderungen erfahren Schmelzpunkt, Dampfdruck, magnetisches und katalytisches Verhalten sowie die Supraleitfähigkeit, wenn man im Laufe der Untersuchungen zu immer kleineren Cluster übergeht?

4. Für Cluster von Xe, Hg, H<sub>2</sub>O ist die kritische Anzahl der Bausteine zu ermitteln, die das Entstehen stabiler negativer Clusterionen erlaubt, obwohl die Konstituenten des Clusters das nicht vermögen.

Man sieht, ein breiter Forschungspfad ist noch zu beschreiten, um diese Organisationsform der Materie in jeder Richtung voll nützen zu können

#### LITERATUR:

Phys. Bl., März 1984, S. 69, Haberland, „Atom- und Molekülcluster“. (W. Kr.)

# Interstellares C<sub>3</sub>O

Die Kohlenstoffverbindungen wurden und werden derart gründlich durchforscht, daß neugefundene oder -synthetisierte Stoffe dieser Art ziemlich kompliziert sein müssen, um bis dahin der Forschung entgangen zu sein. Daher ist es überraschend, wenn jemand plötzlich auf ein sehr einfach zusammengesetztes Molekül stößt, dem man noch nie begegnet war.

Das Labor, das ein solches Geschenk für die Wissenschaft bereithält, ist die dunkle, kühle Molekülwolke TMC-1, die im interstellaren Raum beheimatet ist. Von der Erde aus sieht man sie im Sternbild Stier (Taurus). Ihre auf das Jahr 1950 bezogenen Himmelskoordinaten sind:

$$\text{Rektaszension } \alpha = 4^{\text{h}} 38^{\text{m}} 16,6^{\text{s}},$$

$$\text{Deklination } \delta = 25^{\circ} 35' 45''.$$

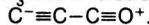
Die Wolke enthält zahlreiche acetylen- und polyazetylenartige Moleküle, etwa



aber auch Radikale, wie



Nun hat man mit dem 43-m-Radioteleskop des NRAO (Nat. Radio Astron. Obs.) in Green Bank, West-Virginia, das Molekül C<sub>3</sub>O in der Wolke identifiziert. Es ist die erste ganz einfache sauerstoffhaltige Kettenverbindung des Kohlenstoffs, die nachgewiesen wurde. C<sub>3</sub>O hat die Strukturformel



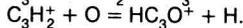
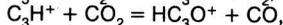
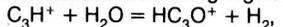
Der lineare Aufbau verweist das Molekül in die Klasse der Kettenverbindungen. Der Nachweis gründet sich auf 6 Mikrowellenlinien im Radiospektrum, auf Berechnungen der Elektronen-Orbitale des Moleküls in der Gasphase und auf den an der richtigen Stelle im laboreigenen Massenspektrometer angefallenen Peak.

Die kurz nach der Entdeckung aufgenommene Suche nach denselben Molekülen in anderen Himmelsobjekten blieb vorläufig ergebnislos. Die Ruhfrequenz beim Quantenübergang J<sub>2</sub>→1 beträgt

$$\nu_0 = 19\,243,531 \pm 0,020 \text{ MHz},$$

was der Wellenlänge von ca. 1,5 cm entspricht. Die angetroffene Rotverschiebung von 12 kHz dieser Linie verrät, daß sich die Wolke mit 180 m/s von uns entfernt.

Die wichtigsten Reaktionen zur Erzeugung von HC<sub>3</sub>O<sup>+</sup> sind:



(W. Kr.)

## LITERATUR:

Nature, 12. 7. 1984, S. 125, H. E. Matthews et al., A New Interstellar Molecule: Tri-carbon Monoxide.

# Eine zehnte Eisphase

Nicht nur Blut, auch Wasser ist ein ganz besond'rer Saft! Das verrät schon die Dichtanomalie dieser Flüssigkeit, die das Gefrieren der Gewässer vom Grund her verhindert, also die Entfaltung von Leben in Meeren, Seen und Flüssen möglich macht. Im kristallinen Zustand erfreut der Formenreichtum des Schnees bereits das nur schwach bewaffnete Auge, seine Kristalle entpuppen sich jedoch bei Untersuchungen mit den Mitteln der modernen Wissenschaft als äußerst komplex strukturiert. Genauso wie etwa Schwefel unterschiedliche Kristallstrukturen besitzt, vermag auch Wassereis mehrere Phasen anzunehmen, deren jede eine spezifische Kristallstruktur aufweist. Allerdings ist die Phasenvielfalt von Wassereis besonders groß. Bis vor kurzem kannte man 9 eigenständige Eisphasen, welche mit

Eis I, Eis II, ... Eis IX

bezeichnet werden. In allen diesen 9 Phasen sind die Wassermoleküle die maßgeblichen Bausteine des Gitters.

Nun liegen sehr deutliche Anzeichen für die Existenz einer zehnten Eisphase vor. Es ist verständlich, daß das Kristallgefüge, sobald es höheren Drücken ausgesetzt ist, Modifikationen erfährt, durch die es in den geänderten Druckverhältnissen entsprechende Konfiguration geringster potentieller Energie der Bausteine übergeht. Solche Phasenübergänge verraten sich durch plötzliche Abweichungen gewisser Kurven in Parameterdiagrammen von der theoretisch einzunehmenden Linie, sobald der Druck einen (an der Knickstelle erkennbaren) kritischen Wert überschreitet.

Bei Wassereis liefert das Produkt  $n \cdot v$  ( $n$  = Brechungsindex,  $v$  = Schallgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen im

Kristall) Indizien für Phasenübergänge. Die Linienverbreiterung  $\Delta f$ , die infolge der Brillouin-Streuung eintritt, hängt nämlich bis etwa 40 GPa (= 400 bar) linear vom Produkt  $n \cdot v$  ab. (Brillouin-Streuung geht, ähnlich wie die Raman-Streuung, auf Dichtefluktuations infolge der Wärmebewegung der Gitterbausteine zurück.) Überschreitet der Druck 40 GPa (die Eisdichte beträgt dann ca. 2,5 g/cm<sup>3</sup>), dann beginnt die Diagrammkurve deutlich von der Geraden abzuweichen. Auch in der Kurve  $(\log C)/[\log(\rho/\rho_0)]$  erscheint bei 47 GPa ein Knick. ( $C$  = Elastizitätskonstante,  $\rho$  ist die jeweilige,  $\rho_0$  ist die Dichte bei 1 bar).

Der Brechungsindex verändert sich nach der Gleichung

$$n = 1,334 + 0,51(\rho^{2/3} - 1).$$

Auf Grund der stattgehabten Messungen findet der **Phasenübergang zu Eis X** bei

$$(44 \pm 2) \text{ GPa}$$

Druck statt.

Eis X unterscheidet sich von den anderen Phasen sehr wesentlich dadurch, daß die Kristallstruktur nicht mehr von H<sub>2</sub>O-Molekülen getragen ist. Vielmehr hat in Eis X jedes O-Atom mit seinen Nachbar-O-Atomen H-Atome gemeinsam. Deshalb wird Eis X auch als **symmetrisches Eis** bezeichnet. Seine Existenz wurde bereits im Jahre 1972 von Holzappel als Hochdruckphase vorausgesagt. Mit Eis X ist nun die erste nichtmolekulare Eisphase tatsächlich gefunden worden. Einschränkung muß aber bemerkt werden, daß es sich bei Eis X auch um die ionische OH<sup>-</sup>-OH<sub>2</sub><sup>+</sup>-Phase handeln könnte, was aber für wenig wahrscheinlich gehalten wird. Weitere Untersuchungen sind nötig.

Der hohe Druck wird in einer Diamant-Amboß-Zelle auf die Probe ausgeübt. Sie liegt zwischen den Diamantstirnflächen der beiden Druckstempel.

(W. Kr.)

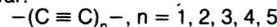
## LITERATUR:

Phys. Rev. Lett., 9. 4. 1984, S. 1312, A. Polian, M. Grimsditch, New High-Pressure Phase of H<sub>2</sub>O: Ice X.

# Diamant, Graphit, Carbin

Im Jahre 1967 synthetisierte **Kasatochkin** eine Kristallform des Kohlenstoffs, die weder Diamant noch Graphit war. Sie erhielt den Namen Carbin. Während der Diamantkristall ein Riesenmolekül von tetraedrisch angeordneten C-Atomen ist, baut sich Graphit aus parallelen Schichten auf, deren jede ein ebenes Gitter von regelmäßigen Sechsecken mit den C-Atomen in den Ecken bildet. Die Schichten sind durch die schwachen Van-der-Waals-Kräfte aneinander gebunden, woraus sich Weichheit und leichte Spaltbarkeit des Graphits erklären. Die elektrische Leitfähigkeit von Graphit ist die Folge der leichten Verschiebbarkeit der Elektronen innerhalb jeder Schicht. Insofern ist Graphit als zweidimensionaler Elektrizitätsleiter anzusehen.

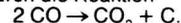
Bei der Analyse graphitenthaltender Gneise aus dem Nördlinger Ries durch **A. El. Goresy** stieß dieser auf eine offenbar durch Stoßwellen ausgelöste Kohlenstoffform, die er **Chaoit** nannte. Die Stoßwellen erzeugte der Meteorit, dessen Einsturz das Nördlinger Ries seine Entstehung verdankt. Es stellte sich heraus, daß Chaoit Carbin enthält. In dem von Whittacker angestellten Phasendiagramm des Kohlenstoffs ist Carbin eine Niederdruckform, die bei Temperaturen über 2600 K stabil ist. Im Jahre 1980 publizierte Whittacker Forschungsergebnisse, nach denen polymorphe Modifikationen von Carbin identifiziert wurden, und zwar:



sowie



Schwermetallkatalysatoren ermöglichen im Temperaturbereich von 300 °C bis 400 °C die künstliche Erzeugung von Carbin bei niederen Drücken durch die Reaktion



Auch die Kondensation von C-Dampf bei 2600 K liefert bei 600 kbar Druck Carbin.

Weil Carbin in Meteoriten vorkommt und bei nicht allzu hohen Temperaturen entstehen kann, ist es denkbar, daß er im interstellaren Staub enthalten ist. Dafür spricht, daß die strukturell mit Carbin eng verwandte Verbindung H-(C≡C)<sub>n</sub>-CN,  $n = 1, 2, 3, 4, 5$  im interstellaren Staub bereits identifiziert wurde. Spaltet Strahlung die Atome H, C in dieser Verbindung ab, so wäre der Übergang in Carbin möglich. Leider hat Carbin – anders als Zyanopolyazetylen – kein Dipolmoment, ist also radioastronomisch unkenntlich.

Als Entstehungsregionen für Carbin kommen die Umgebungen von kohlenstoffreichen Roten Riesensternen sowie Kometen in Betracht. Aus ihrem Staubschweif gelangen bei günstigen

gen Bedingungen (Meteorschwärme!) Staubpartikel zur Erde, deren Herkunft allerdings schwer nachzuweisen ist. Jedenfalls fand **W. Herr** nach dem Schmelzen von 700 kg Eis des Jungfrau-Gletschers (Schweiz) Carbin in Form kleiner Sphärolen von glasartigem Aussehen.

Man will auch in den sogenannten **Blaueisfeldern** der Antarktis (s. W. N. Nr. 63, S. 41, Aminosäuren in Meteoriten), den reichen Fundstätten von Meteoriten, nach Carbin suchen. Kritische Urteile über die Carbinvorkommen wurden zwar laut, aber da sie durch keine experimentellen Befunde unterbaut sind, besitzt die Kritik nur geringes Gewicht.

#### LITERATUR:

St. u. Weltraum, März 1984, S. 122, R. Frobose, Carbin – Kohlenstoff aus dem Kosmos?

(W. Kr.)

GSI Darmstadt:

## Z=108 aus dem Schwerionenbeschleuniger UNILAC

In der letzten Ausgabe der Wiss. Nachr. konnte die knapp vor dem damaligen Redaktionsschluß bekannt gewordene Synthese des Elements mit der Kernladungszahl  $Z=108$  mitgeteilt werden. Das Ereignis ist es wert, Näheres über die Forschungsanlage zu berichten, in der, ebenso wie 3 bzw. 2 Jahre früher die Nuklide  $Z=107$  und  $Z=109$ , erzeugt und identifiziert worden sind.

### Die Anlage

Die **Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI)** in **Darmstadt** betreibt den Beschleuniger **UNILAC** (universal linear accelerator). Der Bau der Anlage begann 1971, sie war 1975 fertiggestellt. Mit ihr können die Ionen aller Elemente bis Uran auf beliebige Werte zwischen 5% und 20% der Lichtgeschwindigkeit  $c$  beschleunigt werden, d. s. 15 000 bis 60 000 km/s. Uranionen können somit bis zu rd. 5 GeV kinetische Energie annehmen.

Aus einem Uranwürfel von 1 cm<sup>3</sup> Inhalt gelangen neutrale U-Atome zu einer Bogenentladung (5 A, 1 kV), die ihnen bis zu 10 Elektronen entzieht. Als Stützgas dient Argon unter ca. 1 mbar Druck. Nun erfolgt die Vorbeschleunigung mit 375 kV Gleichspannung auf 1500 km/s. Die Ionen werden in die Beschleunigungsachse gelenkt, ein Vorgang, der zugleich die Separation des im Strahl gängigsten U-Isotops herbeiführt. Der bis dahin kontinuierliche Teilchenstrom wird in Einzelpakete zerlegt, damit die weitere Beschleunigung mit elektrischen Wechselfeldern möglich wird. Die Pakete sind räumlich und zeitlich so dirigiert, daß sie in jedem Beschleunigungsunterabschnitt gerade jene Halbwellen der Wechselfeldspannung vorfinden, die ihre Geschwindigkeit vergrößert.

Im 30 m langen sogenannten **Wideroe-Abschnitt** des insgesamt 120 m langen Beschleunigungstunnels steigert die Beschleunigungsspannung von 30 MV (27 MHz, maximal 1,3 MW Leistung) die Ionengeschwindigkeit auf den zehnfachen Wert (15 000 km/s). Dann kommt es zu einem weiteren „Strippen“ der Ionen, und zwar beim Durchqueren entweder eines Gasstrahls oder einer C-Folie. Sie sind dann 40fach ionisiert. Ein Magnetfeld führt die Träger der am häufigsten vorkommenden Ladungsgröße dem nächsten mit Driftröhren bestückten Abschnitt zu (**Alvarez-Abschnitt**). Er ist 60 m lang, die Spannung beträgt 60 MV, die Frequenz ist 108 MHz. Die Ionen verlassen diesen Abschnitt mit  $v=45\,000$  km/s, gehen wieder durch eine Stripperfolie und sind danach bis zu 73mal ionisiert.

Der letzte Abschnitt (Länge 20 m) enthält 17 einzelne, bezüglich Phase und Amplitude individuell ansteuerbare Beschleunigungsspalte. Die Spannung ist maximal 30 MV. Die mit bis zu  $v=0,2 \cdot c$  dahinfliegenden U-Ionen treffen nach Passage von Strahlteilern auf die verschiedenen vorgesehenen Targets.

Die Hochfrequenzspannungen wirken in der gesamten Anlage im Rhythmus von 20 ms auf die Ionen: 5 ms ein-, 15 ms ausgeschaltet.

Die Bremsstrahlung absorbieren die 1 m starken Tunnelwände.

Jede Betriebsperiode dauert 4 Wochen: 3 Wochen ununterbrochener Tag- und Nachtbetrieb, 1 Woche Überholung. Während eines Jahres steht die Anlage 6000 Stunden im Einsatz. Es sind etwa 1000 Meßgrößen ständig zu überwachen. Will man von einer zu einer anderen Ionenart übergehen, sind ca.

500 Einstellungen zu verändern. Im Laufe eines Jahres trifft der Ionenstrahl im Mittel 3300 Stunden lang ein Target, d. s. 55% der Betriebszeit.

### Supermassive Kerne

Eine besonders engagierte Zielsetzung der GSI-Forscher ist die Erzeugung übermassiver Nuklide, mit der Nebenabsicht, an die Stabilitätsinsel rund um die Ordnungszahl  $Z=114$  heranzukommen. Es wird ja aus verschiedenen Gründen angenommen, daß der Kern mit 114 Protonen und 184 Neutronen, also mit der Massenzahl  $A=298$ , stabil sei.

In der Geschichte der Transuranforschung sind drei Phasen hervorzuheben. Der **erste Schritt**, bei dem Seaborg und **Ghiorso** (Berkeley) besonders erfolgreich waren, begann 1940 mit der Darstellung von Np. Diese Phase endete 1952, als <sup>100</sup>Fm erzeugt worden war. Das Verfahren bestand in der Anlagerung von Neutronen an bereits verfügbare Transurane mit anschließendem Beta-Zerfall, wodurch die Protonenzahl des Ausgangsnuklids um eine Einheit ansteigt.

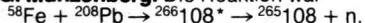
In der **zweiten Phase** beschloß man Transurane, wie <sup>94</sup>Pu und <sup>99</sup>Es mit **leichten Kernen** ( $Z \leq 10$ ). Durch Abdampfen von Neutronen aus dem Compoundkern konnten bis 1974 sämtliche Nuklide bis einschließlich  $Z=106$  produziert werden. Ionengeschwindigkeiten um  $0,1 \cdot c$  genügten, Geschloß- und Targetkern gegen die Coulombabstoßung der beiden positiv geladenen Partner so nahe aneinanderzubringen, daß die gewollte Kernreaktion eintreten konnte. Die Produktion von an Protonen noch reicheren Kernen scheiterte für leichte Ionen an der Coulombbarriere.

Deshalb riet **Y. T. Oganessian (Dubna, SU)** im Jahre 1974 zum Beschloß mit schweren Kernen. Doch fehlte es damals noch an einsatzbereiten Beschleunigern für schwere Ionen, wohl aber befanden sich etliche, darunter der UNILAC, schon im Bau. Leistungsfähige Schwerionenbeschleuniger nahmen aber schon relativ kurze Zeit danach die Arbeit auf, sie befinden sich in den USA, in Frankreich, der Sowjetunion und in Darmstadt. Die Dubna-Physiker leiteten die **dritte Phase**, nämlich die des Schwerionenbeschusses mit der Erzeugung der Elemente 104 bis 107, ein. Allerdings stand der Nachweis für die Identifizierung von <sup>261</sup>107 auf schwachen Beinen, er wurde erst von der GSI zweifelsfrei erbracht.

Die theoretischen Erwartungen, die man an die dritte Synthesemethode geknüpft hatte, wurden von den Darmstädter Physikern und Ingenieuren glänzend bestätigt. Im Februar 1981, im August 1982 und im März 1984 gaben sie drei spektakuläre Erfolge der Fachwelt bekannt, nämlich – in gleicher Reihenfolge – den Nachweis der Nuklide

$$\begin{aligned} {}^{262}_{107}\text{Ts}, \tau &= 13 \text{ ms}, \sigma = 2 \cdot 10^{-38} \text{ m}^2, \\ {}^{266}_{109}\text{Uue}, \tau &= 5 \text{ ms}, \sigma = 10^{-39} \text{ m}^2, \\ {}^{265}_{108}\text{Hs}, \tau &= 2 \text{ ms}, \sigma \approx 10^{-39} \text{ m}^2. \end{aligned}$$

$\tau, \sigma$  geben die Halbwertszeit bzw. den Wirkungsquerschnitt für die Produktion an. Das 14köpfige Forschungsteam für Nuklid 108 leitete **G. Münzenberg**. Die Reaktion war



Der Stern bedeutet, daß der Kern angeregt war. Die Fe-Ionen hatten 5 MeV/u, also insgesamt 240 MeV Energie (MeV/u bedeutet MeV pro Nukleon = unit). Die Strahlstärke entsprach 200 nA. <sup>265</sup>108 zerfällt durch 10,4-MeV- $\alpha$ -Emission. Das Pb-Target war 0,4 mg/cm<sup>2</sup> dick.

Die **drei (!) gewonnenen Kerne 108** sind dank dem Einsatz des neu entwickelten **Geschwindigkeitsfilters SHIP** (=separator for heavy ion reaction products) zu verdanken, das sie aus  $10^{18}$  Projektionen „herausgefischt“ und dem Nachweissystem zugelenkt hat.

Zur Illustration der Effizienz von SHIP noch ein paar Zahlen: Beim 109-Experiment gelang die Abtrennung eines Kerns aus  $6 \cdot 10^{17}$  Fe-Ionen, außerdem vermag SHIP aus  $10^{11}$  Kernen gleicher Masse einen einzigen unter ihnen befindlichen mit größerer Masse zu separieren.

Massenspektrometer und SHIP erfüllen sozusagen komplementäre Aufgaben. Während das Massenspektrometer die Strahlteilchen, gleich, wie unterschiedliche Geschwindigkeiten sie auch haben mögen, fokussiert und sie dann nach ihren Massen magnetisch auffächert, fokussiert SHIP die Teilchen ohne „Ansehen“ ihrer Masse und dispergiert sie nachher nach ihren Geschwindigkeiten. Ein System magnetischer und elektrischer Dipol- und magnetischer Quadrupolfelder erfüllt diese Aufgabe. Das Nachweissystem benützt 7 Si-Sperrschichtdetektoren. Sie registrieren Energie, Ort und Zeitpunkt des jeweils einfallenden Kerns sowie die von ihm ausgehenden Zerfälle. Vor dem Detektorsystem befindet sich eine Flugzeit-Meßstrecke.

Aus den Zerfallssignalen und -merkmalen längs der Flugbahn ergibt sich durch Vergleich mit den (bekannteren) Daten der potentiellen Tochternuklide die vollständige Zerfallskette und damit die Kernladungszahl des (unbekannteren) Initialkerns.

### Quasiatome, Protonaktivität u. a.

Mit den Kernen 107, 108, 109 ist die Erfolgsliste der GSI noch keineswegs erschöpft. Da sind einmal über **100 neue Isotope** zu erwähnen, die von SHIP im Zusammenspiel mit dem Massenspektrometer entdeckt wurden. Ferner hat man mit dem UNILAC ca. **20 Quasiatome** hergestellt und Einblicke in die Struktur ihrer Elektronenhüllen gewonnen.

Quasiatome entstehen für winzige Augenblicke, wenn zwei Kerne so nahe aneinander vorbeifliegen, daß sich in der kurzen Phase engster Nachbarschaft die Elektronenhüllen der beiden Atome so umordnen, als gehörten sie zu einem Atom, dessen Kernladung die Summe der Ladungen der Partner ist. Obwohl die Zeitspanne des „als ob“ nur von der Größenordnung einiger  $10^{-21}$  s ist, verrät die Rekombinationsstrahlung der umgeschichteten Elektronen die Energieniveaus des Quasiatoms. Den Rekord hält dzt. das Quasiatom mit der Kernladung  $Z=188$ , das für  $10^{-22}$  bis  $10^{-21}$  s beim ganz nahen Vorbeiflug eines Uran-Kerns an einem Curium-Kern existiert.

Die Entdeckung der **Protonen-Radioaktivität** erfolgte, als man Isotope mit besonders wenigen Neutronen herstellte. So entsteht beim Beschuß von  $^{92}\text{Mo}$  mit  $^{58}\text{Ni}$  das Isotop  $^{147}\text{Tm}$  ( $+p+2n$ ), ein Isotop, dessen Kern 22 Neutronen weniger als das stabile, in der Natur vorkommende Tm-Isotop hat. Der Ausstoß eines Protons (Halbwertszeit 0,5 s) verringert die Nukleonenasymmetrie. Dasselbe gilt für  $^{151}\text{Lu}$ , das beim Beschuß von  $^{96}\text{Ru}$  mit  $^{58}\text{Ni}$  entsteht. Der Kern von  $^{151}\text{Lu}$  ist gar um 24 Neutronen ärmer als das natürliche stabile Isotop. Auch bei dieser Reaktion werden  $p$  und  $2n$  frei.

Quasiatome haben es ermöglicht, aus der Bindungsenergie eines Elektrons der kurzzeitig gemeinsamen Elektronenhülle ein **( $e^-e^+$ )-Paar** zu erzeugen. Falls die Kernladungszahl des Quasiatoms 180 erreicht, kann in der K-Schale bei der Umordnung der Hülle ein Platz nicht besetzt sein. Natürlich nimmt nahezu sofort ein Elektron den Zustand ein und setzt dabei mehr als 1 MeV frei. Das ist aber das Energieäquivalent von Elektron-plus-Positron-Masse. Ein Paar, entsteht aus dem Nichts, richtiger: aus reiner Energie!

Wenn ein kugelsymmetrischer Kern einen deformierten Kern anstößt, so nimmt dieser Rotationsenergie auf. Aus den Linien des Rotationsspektrums, die beim schrittweisen Abbau der Drehenergie auftreten, ergeben sich die **Trägheitsmomente** der Konfigurationen der einzelnen Rotationszustände und damit die **Kerngestalten** des sphärischen Nuklids. Auch können die Verweilzeiten – Größenordnung  $10^{-21}$  s – in den einzelnen Zuständen bestimmt werden. Es ist wichtig, den skeptischen Laien die an sich problemlose Herleitung derart „verdächtiger“ Zahlen mittels mechanischer Analogien klarzumachen!

Es wurden bei sphärischen Kernen Spin-Quantenzahlen bis zu  $s=30$  angetroffen.

Bei den inelastischen Kernstößen geht ein Teil der kinetischen Energie der Stoßpartner in innere Anregungsenergien (Rotation, Vibration ...) über, man sagt, die Stöße sind **dissipativ**. Es erwies sich als zweckmäßig, die Ausgleichsvorgänge durch **Transportkoeffizienten** zu beschreiben, wie sie in der Mechanik als Reibungs- oder Diffusionswerte Verwendung finden. Natürlich dürfen diese Namen nicht im Sinne der Makromechanik wörtlich interpretiert werden!

Als letzten Erfolg der GSI wäre noch das Entdecken der sogenannten **Coulombsspaltung** zu nennen. Beim nahen Vorbeiflug schwerer Kerne, wie Th, U, Cm, verursachen die elektrischen Wechselwirkungen das Aufbrechen eines Kernes.

Auch in Darmstadt haben Kernstöße die **Dichte der Kernmaterie** bis auf das Vierfache erhöht. Sie ist damit den Zuständen in Neutronensternen nahegekommen, in denen man Dichten bis zum Zehnfachen der „normalen“ Kernmaterie errechnet. Hier wird der enge Zusammenhang der Hochenergie- und Teilchenphysik mit der Astrophysik offenbar.

#### LITERATUR:

- GSI Jahresbericht 1981/82, Dez. 1983, ISBN 0174-1440.
- G. Siebert, Die Gesellschaft f. Schwerionenforschung GSI-Darmstadt, Sonderdruck aus „Physik u. Didaktik“ des Bayr. Schulbuch-Verlages.
- Phys. Bl., Mai 1984, S. 124, E. D., Element 108 entdeckt.
- CERN Courier, Juni 1984, S. 195, Darmstadt, Element 108.

W. Kr.

## Kurznachricht

**Verbindungen mit Gedächtnis.** In den Wiss. Nachr. wurde bereits über die Verbindung **NITINOL** berichtet (s. Nr. 39, Sept. 1975, S. 39, NITINOL, aktive Substanz für einen neuen Typ von

Wärmekraftmaschinen). NITINOL hat die Eigenschaft, nach Erwärmen wieder die ursprüngliche Gestalt anzunehmen, die es vor der Abkühlung trotz der dabei stattgehabten Verformung hatte. Die Ni-Ti-Legierung (daher der Name) verfügt über eine Art **Formgedächtnis**. Man bemühte sich sogar, den Effekt für arbeitsverrichtende Maschinen zu nützen, doch liegen vorläufig keine industriell nutzbaren Ergebnisse vor. Trotzdem gehen die Untersuchungen weiter.

Man hat herausgefunden, daß sich **Metallegierungen** unterhalb einer bestimmten kritischen Temperatur  $T_{kr}$  weich, oberhalb  $T_{kr}$  steif verhalten. Verformung unterhalb  $T_{kr}$  wird nach dem Erwärmen auf  $T > T_{kr}$  rückläufig gemacht, das Objekt hat die alte Gestalt zuzusagen in Erinnerung behalten und wieder angezogen.

Bei **organischen Polymeren** ist es umgekehrt. Unterhalb  $T_{kr}$  sind sie starr, oberhalb  $T_{kr}$  weich. Die ursprüngliche Gestalt erscheint wieder nach der Abkühlung unter  $T_{kr}$ .

Dzt. (1984) sind 20 derartige Legierungen bekannt, z. B.:

- Au + (49 bis 51%) Cd,
- Au + (0,5%) Cd,
- Ag + (44 bis 49%) Cd,
- Cu + (28%) Al + (3,9%) Ni.

Der Effekt wurde bereits im Jahre 1932 entdeckt, und zwar bei Legierungen von Au mit Cd, von In mit Ti und von U mit Mo. Von einigen Stoffen ist anzunehmen, daß sie im supraleitenden Zustand formerinnernd werden, z. B. NbU, Nb<sub>3</sub>Sn, NbTi. Andere Zweikomponenten-Legierungen mit der gleichen Eigenschaft sind Ni, Al; In, Al; Fe, Pt; V<sub>3</sub>Si.

#### LITERATUR:

- Physics Today, April 1984, S. 62, A. A. Golestanen, Shape Memory Phenomena.
- W. Kr.

Hannes Molzer:

## Erfahrungen mit einem chemischen Praktikum (III)

### Prinzip einer konduktometrischen Titration

**Aufgabe:** Der Säuregehalt einer gefärbten Lösung soll bestimmt werden. Da der Endpunkt der Titration mit Hilfe von Farbindikatoren nicht erkannt werden kann, sollen Messungen der elektrischen Leitfähigkeit zur Endpunktbestimmung herangezogen werden.

**Prinzip:** Man läßt zu der Säurelösung unbekanntem Gehalts so lange Natronlauge bekannter Konzentration fließen, bis der Äquivalenzpunkt erreicht ist. Man erkennt den Endpunkt der Reaktion, wenn man während der Zugabe von NaOH die elektrische Leitfähigkeit des Reaktionsgemisches mißt. Am Äquivalenzpunkt erreicht die Leitfähigkeit ein Minimum.

**Theorie:** Die Entstehung der Gesamttitrationskurve aus den Leitfähigkeitsanteilen der einzelnen Ionen.

**Praktische Durchführung:** In einem 250-ml-Becherglas werden zwei Kohleelektroden so angebracht, daß sie sich im Verlaufe des Versuches nicht bewegen können. Das elektrische Zubehör wird durch einen Transformator (primär 220 V, sekundär 6 V) und ein Amperemeter (Wechselstrom, 60 mA) ergänzt. Eine Rührereinrichtung ist unbedingt nötig. Die praktische Erfahrung zeigt, daß das Rühren mit einem Glasstab völlig ausreicht. Eine über dem Titrationsgefäß angebrachte Bürette vervollständigt die Apparatur.

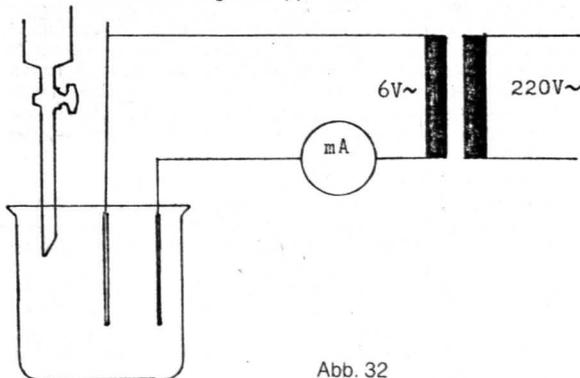


Abb. 32

Die zu titrierende (mit wenig Fuchsin gefärbte) Lösung (z. B. 5 ml ca. 0,1 molare HCl) wird im Titrationsgefäß mit destilliertem Wasser auf ca. 100 ml verdünnt. Die Bürette wird mit 0,1 molarer Natronlauge gefüllt. Auf alle Fälle muß die Titerlösung mindestens hundertmal so konzentriert sein wie die zu titrierende Lösung. (Das Ergebnis ist um so genauer, je weniger sich das Volumen während des Titerzusatzes im Titrationsgefäß ändert.) Die Lauge aus der Bürette wird portionsweise in das Titrationsgefäß eingebracht. Nach jedem Laugenzusatz wird gründlich durchmischt (Elektrodenabstand nicht verändern!) und die Stromstärke abgelesen. Der Schnittpunkt der beiden Geraden in der angefertigten graphischen Darstellung (Milliampere gegen Milliliter) ergibt den Äquivalenzpunkt (28).

### Prinzip einer potentiometrischen Titration

**Aufgabe:** Der Gehalt an Bromid-Ionen einer schwach schwefelsauren Lösung ist zu ermitteln!

**Prinzip:** Man fügt so lange Silbernitratlösung bekannten Gehalts zu der Br<sup>-</sup>-Ionen-Lösung, bis alle Bromidionen als AgBr ausgefallen sind. Den Endpunkt der Reaktion erkennt man durch die sprunghafte Änderung des Einzelpotentials einer Silberelektrode, welche in die Lösung eintaucht. Aus dem verbrauchten Volumen AgNO<sub>3</sub>-Lösung kann die Menge der vorhandenen Br<sup>-</sup>-Ionen berechnet werden.

**Theorie:** Titrationskurven; NERNST-Gleichung; Messung von Elektrodenpotentialen.

**Praktische Durchführung (29):**

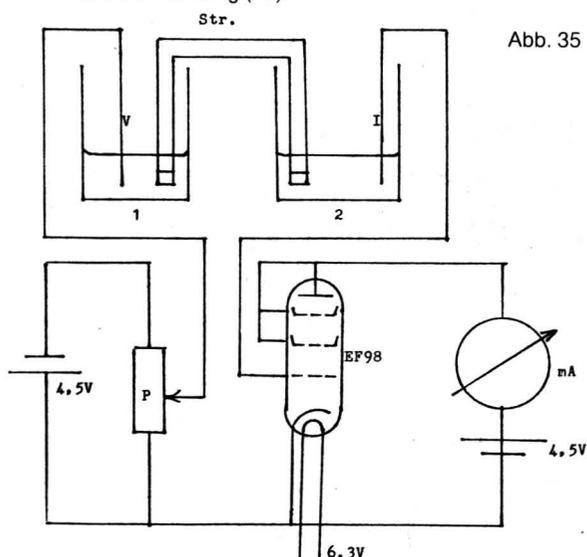


Abb. 35

Die Röhre EF98 ist eine Pentode, die als Triode geschaltet wurde (Heizspannung 6,3 V).

- V ... Vergleichselektrode (Silberdraht)
- Str ... Stromschlüssel (Y-Stück, an dessen Schenkel mit Hilfe von Gummischläuchen Glasrohre angesetzt werden und an dessen Mittelstück ein Gummischlauch mit Quetschhahn gesteckt wird.
- I ... Indikatorelektrode (Silberdraht)
- P ... 100-Ohm-Potentiometer

Der elektronische Teil der dargestellten Versuchsanordnung wurde zunächst von meinen Schülern aus dem Zubehör eines KOSMOS-Elektronikbaukastens immer wieder neu aufgebaut, schließlich von einem von ihnen auf einem Metallchassis fix montiert. Dieses behelfsmäßige Röhrenvoltmeter bewährte sich neun Jahre hindurch völlig störungsfrei. Es verdeutlichte den Anfängern unserer Arbeitsgemeinschaft das Prinzip der „stromlosen Spannungsmessung“ besser als ein von den Fortgeschrittenen verwendetes, mit Feldeffekttransistoren arbeitendes Meßgerät.

In einem Gefäß 1 (100 ml Fassungsraum; braunes Glas, da AgNO<sub>3</sub> lichtempfindlich ist) befindet sich 0,1 molare Silbernitratlösung. In dieses Gefäß taucht ein Silberdraht sowie der eine Schenkel des mit Kaliumsulfatlösung gefüllten Stromschlüssels ein. Diese Anordnung stellt die „Vergleichselektrode“ V konstanten Einzelpotentials dar. Der zweite Schenkel des Stromschlüssels taucht in ein 150-ml-Becherglas, welches die Probelösung enthält (Gefäß 2 in Abb. 35). Ein zweiter, in Gefäß 2 eintauchender Silberdraht bildet die „In-

dikatorelektrode“ I. Sein Einzelpotential hängt von der jeweiligen Silberionen-Konzentration in Gefäß 2 ab. Aus einer Bürette (braunes Glas) kann 0,1 molare AgNO<sub>3</sub>-Lösung in das Gefäß 2 tropfen. Durch das zugefügte Silbernitrat werden die Bromidionen gebunden – das Einzelpotential der Indikatorelektrode und damit die Spannung an der Meßkette bleibt annähernd konstant (Abb. 37). Sind jedoch alle Bromidionen verbraucht, so verändern die nun weiter zugesetzten Ag<sup>+</sup>-Ionen das Einzelpotential der Indikatorelektrode sprunghaft – der Endpunkt der Bestimmung wird an der veränderten Ableseung am Meßgerät sichtbar. Dieses Gerät mißt den Anodenstrom einer Triode, deren Gitter durch die Spannung der Meßkette gegenüber der Kathode verschieden aufgeladen wird. Dadurch ändert sich der Elektronenstrom von der Kathode zur Anode und damit der Anodenstrom. (Die Spannung der Meßkette darf nicht direkt durch ein Voltmeter gemessen werden, da der Kette dadurch Strom entnommen würde. An den Elektroden fänden dadurch elektrochemische Veränderungen statt, welche die Potentialmessung verfälschen [chemische Polarisation]). Die verwendete Meßanordnung stellt das Prinzip eines „Röhrenvoltmeters“ dar, welches „stromlose Spannungsmessung“ erlaubt.

**Ausführung der Messung:**

1. Füllen des Stromschlüssels: Man schließt den Quetschhahn und füllt den Stromschlüssel (Y-Stück) ganz mit destilliertem Wasser. Man gießt dieses Wasser in ein kleines Becherglas und fügt so lange K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zu, bis sich nichts mehr löst. Nach dem Absitzen des ungelösten Kaliumsulfats wird der Überstand in den Stromschlüssel gegossen. Die beiden Schenkelenden werden nun mit Zellstoff oder Toilettepapier, welches zu dichten Röllchen zusammengedreht wurde, verschlossen. Durch Umdrehen des Stromschlüssels überprüft man zuletzt die dichtende Wirkung der Röllchen.

2. Durchführung der potentiometrischen Titration: Man stellt die beschriebene Apparatur zusammen, pipettiert in das Reaktionsgefäß zirka 10 ml dest. Wasser (der Zusatz von festem KBr erfolgt durch den Lehrer), fügt zirka 1 ml verdünnte Schwefelsäure zu und verdünnt die Lösung mit dest. Wasser, bis der Flüssigkeitsspiegel auf gleichem Niveau steht wie jener im Gefäß der Vergleichselektrode. Nun schaltet man die Heizung für die Elektronenröhre ein und stellt nach zwei bis drei Minuten mit Hilfe des Potentiometers eine günstige Ausgangsablesung auf der Skala des Meßgeräts (50 mA) ein. (Meßbereich 2,5 mA; mit einem „Potential-sprung“, der einer Stromänderung von 0,5–1 mA entspricht, ist zu rechnen.) Nun fügt man abteilig genau 0,5 ml Portionen 0,1 molarer Silbernitratlösung zu und durchmischt die Reaktionslösung gut mit einem Glasstab. (Potentialeinstellung nach jedem Zusatz von AgNO<sub>3</sub> abwarten!) Das Volumen zugefügter Silbernitratlösung wird gegen den gemessenen Strom aufgetragen und so der Umschlagspunkt bestimmt (Abb. 37).

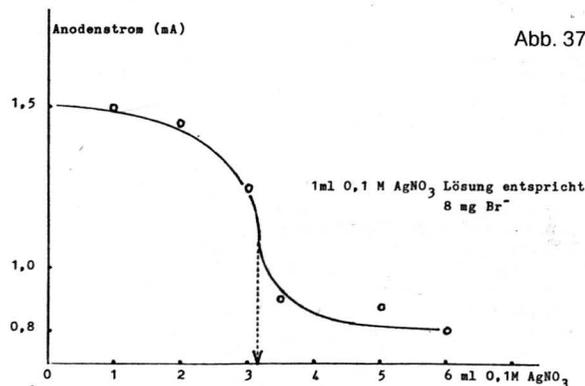
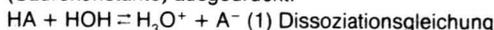


Abb. 37

### Der Vergleich der Säurestärken homologer Carbonsäure

**Aufgabe:** Die Tendenzen der homologen Carbonsäuren Methansäure, Ethansäure und Propansäure, in wäßriger Lösung H<sup>+</sup>-Ionen abzugeben, sind zu vergleichen.

**Prinzip:** a) Quantitativ wird die Säurestärke durch den K<sub>s</sub>-Wert (Säurekonstante) ausgedrückt.



$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}][\text{HOH}]} = K_d \text{ Ausdrücken der Dissoziationskonstanten durch Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf } (1)$$

$$\frac{(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{A}^-)}{(\text{HA})} = (\text{HOH}) K_d = K_s \quad (2)$$

(da die Konzentration des im Überschuß vorhandenen Wassers während des Dissoziationsprozesses praktisch konstant bleibt).  
 $K_s$  ist um so kleiner, je weniger die Säure dissoziiert, d. h. je schwächer sie ist.

Aus Gleichung (1) erkennt man:  $(\text{H}_3\text{O}^+) = (\text{A}^-)$

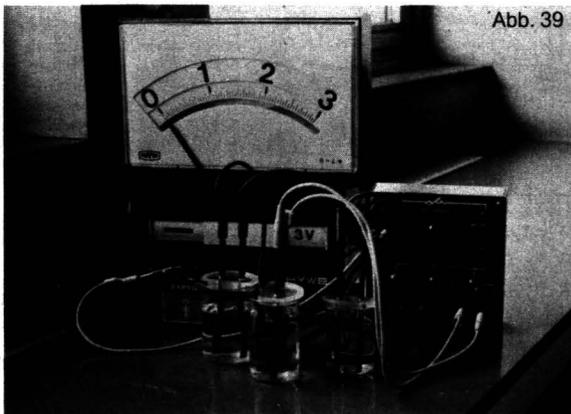
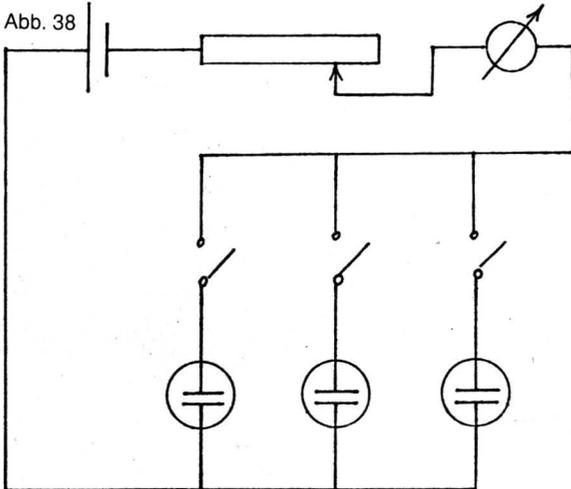
außerdem gilt:  $(\text{HA}) = c$  (Einwaage in Mol); Konzentration der zerfallenen Moleküle, gegeben durch  $(\text{H}_3\text{O}^+)$

Gleichung (2) läßt sich daher umformen zu:

$$\frac{(\text{H}_3\text{O}^+)^2}{c - (\text{H}_3\text{O}^+)} = K_s$$

Aus der Anzahl von Molen einer Säure, welche zur Herstellung eines Liters Lösung eingewogen wurden und dem gemessenen pH-Wert der resultierenden Lösung, läßt sich also  $K_s$  bestimmen!

b) Qualitativ kann der Vergleich der Säurestärken durch Vergleich der Leitfähigkeit äquimolarer wäßriger Lösungen der drei Carbonsäuren erfolgen (Abb. 38 und 39).



Die Leitfähigkeitszellen enthalten 0,1 M Lösungen der Säuren. Die gemessene Leitfähigkeit (mA-Meter) ist ein Maß für die Dissoziation, also für die Stärke der Säure (17).

Theorie: Man ist früher bei der Interpretation der Stärken verschiedener Carbonsäuren davon ausgegangen, daß das Proton um so stärker am Carboxyl-Sauerstoff haftet, die Säure also um so schwächer ist, je größer die Elektronendichte an diesem Sauerstoffatom ist. Dabei wurde den Alkylgruppen R- der Carbonsäuren R-COOH mit zunehmender Größe ein stärkerer elektronenliefernder Effekt (+i-Effekt) zugeschrieben und damit die in der Reihenfolge H-COOH, CH<sub>3</sub>-COOH, CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-COOH abnehmende Acidität erklärt. Diese Erklärung der verschiedenen Aciditäten bedarf nicht der Mitwirkung des Lösungsmittels, in dem der Säurecharakter von Stoffen im allgemeinen beobachtet wird. Sie sollte daher auch für Säure-Base-Reaktionen in Gasphase, also ohne jedes Lösungsmittel, gelten.

Als vor etwa zwanzig Jahren solche Reaktionen genau untersucht wurden, stellte man jedoch fest, daß in Gasphase zwar Methansäure die stärkste Säure ist, Ethansäure dagegen die schwächste! Nach Ethansäure nimmt mit zunehmender Größe von R die Säurestärke zu (30)!

Diese Beobachtung wurde vor allem damit erklärt, daß große Alkylgruppen die Verteilung der Ladung des Säurerest-Ions ermöglichen, dieses dadurch stabilisieren und die Acidität der korrespondierenden Säure erhöhen. (Untersuchungen an Aminen in Gasphase haben ergeben, daß das Konzept eines +i-Effektes nicht völlig falsch ist.)

Die in unserem Übungsbeispiel beobachteten Säurestärken resultieren aus einem komplizierten Zusammenspiel der Säuren, der Säurerest-Ionen und der H<sup>+</sup>-Ionen mit dem Lösungsmittel Wasser! Dabei bedingen Solvatationsenergien, die von den spezifischen Ladungen der Ionen abhängen und Solvatationsentropien, die darüber hinaus mit der Teilchengröße zusammenhängen, die Freien Solvatationsenergien, die mit den Dissoziationskonstanten  $K_d$  verknüpft sind:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d$$

Wir müssen also auf eine übersichtliche Erklärung der Säurestärken auf Grund der Eigenschaften der Säuremoleküle allein verzichten und die Acidität einer Säure als schwer zu interpretierende Eigenschaft des Systems Säure-Wasser sehen!

Praktische Durchführung:

ad a) In drei 100-ml-Meßkolben stellt man sich möglichst genaue 0,1 M Säurelösungen her:

0,46 g wasserfreie Methansäure (reinst)/100 ml Lösung  
 0,60 g wasserfreie Ethansäure (reinst)/100 ml Lösung  
 0,74 g wasserfreie Propansäure (reinst)/100 ml Lösung  
 Einwaage mit Wägegäschchen, Pipette und Kapillare; Säure sorgfältig und vollständig über einen Trichter in den Meßkolben spülen; abgekochtes entsalztes Wasser verwenden. Die pH-Werte dieser Lösungen werden mit einer Glaselektrode gemessen, welche mit einer der drei folgenden Pufferlösungen geeicht wurde.

10,21 g Kaliumhydrogenphthalat/l Lösung = pH 4 (25 °C)  
 3,81 g Borax/l Lösung = pH 9,2 (25 °C)  
 8,24 g Na-Veronal/l Lösung = pH 8,5 (25 °C)

Beispiel einer Berechnung (Ethansäure)  
 gemessener pH-Wert: 2,9  $(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-2,9} \text{ Mol/l}$

$$K_s = \frac{(10^{-2,9})^2}{10^{-1} - 10^{-2,9}} = \frac{0,000015}{0,09874} = 1,5 \cdot 10^{-5}$$

(Literaturwert:  $1,754 \cdot 10^{-5} \text{ Mol/l}$ )

ad b) Man verbindet die fertige Meßanordnung mit drei Leitfähigkeitszellen (100 ml Bechergläser, Plastikdeckel, Kohlelektroden), welche die drei Säurelösungen enthalten, mit einem mA-Meter und einer Gleichspannungsquelle und überprüft die Leitfähigkeiten der Lösungen.

### Der Betrieb einer Brennstoffzelle

Aufgabe: Mit Hilfe einer Brennstoffzelle wird die bei einem Verbrennungsvorgang entstehende chemische Energie direkt in elektrische Energie umgewandelt.

Es soll eine Zelle aufgebaut werden, bei der Methanol als Brennstoff und Luftsauerstoff als Oxidationsmittel dient.

Prinzip: In den meisten Batterien und Akkumulatoren dienen die Elektrodenoberflächen gewissermaßen selbst als „Treibstoff“, der während der Stromabgabe aufgebraucht wird. Bei einer Brennstoffzelle werden Brennstoff bzw. Treibstoff und Oxidationsmittel kontinuierlich zugeführt. Sie reagieren an den Elektroden, diese werden dabei aber nicht verbraucht. Die Elektroden, welche bei einer Red-Ox-Reaktion vom Reduktionsmittel direkt auf das Oxidationsmittel übertragen werden, gehen bei einer Brennstoffzelle vom Brennstoff (Reduktionsmittel) auf die Anode über, fließen von dieser durch den galvanischen Leiter auf die Kathode und gelangen erst von dort auf das Oxidationsmittel.

Es sind bereits mehrere Brennstoffzellen, die in Schülerübungen aufgebaut werden können, beschrieben worden (31). Im allgemeinen dienen Gefäße aus durchsichtigem Kunststoff, die durch porösen Schaumstoff in zwei Elektrodenräume geteilt wurden, als Reaktionskammern. Die Elektroden bestehen in den meisten Fällen aus Nickeldrahtnetzen, die zur Aktivierung mit Palladium, Platin oder Silber belegt wurden. Als Elektrolyt wird 5n KOH-Lösung verwendet. Die Brennstoffe (H<sub>2</sub>-Gas, Hydrazin, Alkohole) umspülen die Brennstoffelektrode (Anode) oder sind im Elektrolyt des

Anodenraumes gelöst. Die „Sauerstoffelektrode“ (Kathode) taucht entweder in eine Wasserstoffperoxidlösung oder wird von Luft oder reinem Sauerstoff umspült. Bei unserer – besonders einfachen – Versuchsanordnung dient Methanol als Brennstoff und Luftsauerstoff als Oxidationsmittel (32).

Theorie:

Kathodenreaktion („Sauerstoffelektrode“):  
 $O_2 + 2 HOH + 4e^- \rightarrow 4 OH^-$   
 Anodenreaktion („Brennstoffelektrode“):  
 $CH_3OH + 4 OH^- \rightarrow HCOOH + 3 HOH + 4e^-$   
 Gesamtreaktion:  
 $O_2 + CH_3OH \rightarrow HCOOH + HOH$

(Ameisensäure bildet mit KOH sofort Kaliumformiat.)

Da diese Reaktionen ohne Katalysatoren zu langsam ablaufen würden, dienen fein verteiltes Platin an der Anode und Silber an der Kathode als Katalysatoren.

Praktische Durchführung:

Die als Elektrolyt verwendete Kalilauge wird hergestellt, indem man in einem 600-ml-Becherglas 100 g KOH unter ständigem Rühren in 300 ml Wasser löst.

AgNO<sub>3</sub>-Lösung zum Versilbern der Kathode: 5g AgNO<sub>3</sub> in 100 ml Wasser.

Lösung von Hexachloroplatinäure, H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> · 6H<sub>2</sub>O zum Überziehen der Anode mit fein verteiltem Platin („Platin-schwarz“): 1 g H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> · 6H<sub>2</sub>O in 100 ml Wasser.

Man reinigt zwei Nickeldrahtnetze (ca. 50 × 150 mm) in einem organischen Lösungsmittel und stellt das eine eine Stunde lang in die Silbernitratlösung, das andere ebenso lang in die Lösung der Hexachloroplatinäure (von Zeit zu Zeit wenden!). Die Netze werden anschließend sorgfältig mit Wasser abgespült und in Wasser aufbewahrt. Sie dürfen niemals völlig austrocknen! Die beiden Lösungen können immer wieder verwendet werden.

Die beiden Elektroden werden in das die Kalilauge enthaltende 600-ml-Becherglas gestellt und mit Krokodilsklemmen an dessen Rand befestigt. Ein Glasstab sorgt dafür, daß die Netze einander nicht berühren. Nun fügt man 35 ml Methanol hinzu. Mittels eines Gummigebläses wird abschließend ein kontinuierlicher Luftstrom vom Boden des Becherglases her über die Sauerstoffelektrode geblasen.

Man schaltet die Brennstoffzelle in Serie mit einem Strommeßgerät (0–10 mA) und einem 100-Ohm-Widerstand. Mit Hilfe eines Spannungsmeßgerätes (0–1 V) kann die Klemmenspannung der Zelle gemessen werden.

### Die Synthesen von Cyclohexen und Dibromcyclohexan (zweistufige Synthese)

Aufgabe: Aus Cyclohexanol ist Cyclohexen und aus diesem Dibromcyclohexan darzustellen.

Prinzip: Unter der Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure wird Cyclohexanol Wasser entzogen, und es entsteht eine Doppelbindung (Eliminierungsreaktion; E-Reaktion); an diese Doppelbindung wird – als zweite „Stufe“ der Synthese – Brom addiert (Additionsreaktion; A-Reaktion). (Reaktionsschemata unter Verwendung von Konstitutionsformeln.)

Theorie: Mechanismen der E-Reaktion und der A-Reaktion.

Praktische Durchführung (33) (Skizze und Foto der aufzubauenen Apparatur): 20 ml Cyclohexanol und 1 ml conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> werden über einen Tropftrichter in einen mit Kühler und Vorlage versehenen Destillierkolben (mit aufgesetztem Thermometer) gebracht. Das Kühlwasser wird aufgedreht, und ein Ölbad, in das der Kolben eintaucht, wird ca. eine Stunde lang auf 155–160 °C erhitzt.

Die Vorlage wird abgeschraubt und das Destillat mit NaCl versetzt, solange dieses noch in Lösung geht. Nun gießt man das Destillat in einen Schütteltrichter und trennt die untere wäßrige Phase ab. Die organische Phase läßt man in einen Erlenmeyerkolben fließen und versetzt sie mit etwas Calciumchlorid als Trocknungsmittel. Das klare Produkt filtert man über etwas Watte in einen zweiten Kolben.

Dieses Produkt müßte nun nochmals durch Destillation gereinigt werden! Wir führen mit einem Teil desselben jedoch eine Additionsreaktion aus, indem wir Bromwasser zufügen. Die rote Farbe des Broms verschwindet, und es entsteht die neue organische Phase des Dibromcyclohexans! (Siedepunkt von Cyclohexen: 84 °C.)

### Die Synthese von Benzoesäure

Aufgabe: Benzoesäure soll aus Toluol hergestellt werden.

Prinzip: Toluol wird durch Kaliumpermanganat zu Benzoesäure

oxidiert (vereinfachtes Reaktionsschema). Der entstandene Braunstein wird abfiltriert und die Benzoesäure durch Ansäuern des Filtrats ausgefällt.

Theorie: Die Synthese von Benzoesäure benötigt etwa neunzig Minuten. In dieser Zeit sollten die Schüler die Reaktionsmechanismen der übrigen organischen Synthesen des Praktikums mit Hilfe eines KLETT-Molekülbaukastens durchspielen: Cyclohexen (E-Reaktion), Dibromcyclohexan (A-Reaktion), Triphenylcarbinol (S<sub>1</sub>-Reaktion) und Diethylether (S<sub>2</sub>-Reaktion). Die Arbeitsvorschrift enthielt daher an dieser Stelle ursprünglich ausführliche Anweisungen für das „Kattenspiel“!

Praktische Durchführung: Man erhitzt eine Mischung von 3 g Kaliumpermanganat, 1 g Soda, 75 ml Wasser und 1,5 ml Toluol neunzig Minuten unter Rückfluß (Siedesteine). Zur Seiteigung restlichen Permanganats versetzt man tropfenweise mit Alkohol und erhitzt noch kurze Zeit. Die heiße Lösung wird vom Braunstein abgeseugt und mit halbkonzentrierter Schwefelsäure angesäuert. Nach dem Abkühlen saugt man die kristalline Benzoesäure ab (33).

### Die optische Aktivität und der Faraday-Effekt

Aufgabe: Es ist eine Gesetzmäßigkeit aufzufinden, welche es erlaubt, die Konzentration „optisch aktiver“ Substanzen mit Hilfe von linear polarisiertem Licht zu bestimmen („Polarimetrie“).

Bei einem zweiten Versuch soll beobachtet werden, daß auch optisch inaktive Substanzen im Magnetfeld optisch aktiv werden (Faraday-Effekt).

Prinzip: Lösungen von Molekülen, die weder eine Spiegelebene noch ein Symmetriezentrum noch eine Drehspiegelachse aufweisen, haben die Eigenschaft, die Polarisations-ebene linear polarisierten Lichtes zu drehen („optisch aktive Stoffe“). Der Drehwinkel kann mit Hilfe eines Polarimeters festgestellt werden.

Ein Polarimeter besteht aus einem „Polarisator“, der das polarisierte Licht erzeugt, einer Küvette, welche die optisch aktive Lösung enthält, und einem „Analysator“, der das aus der Küvette kommende polarisierte Licht – je nach seiner Orientierung relativ zu dessen Schwingungsebene – mehr oder weniger gut hindurchläßt (Abb. 43).

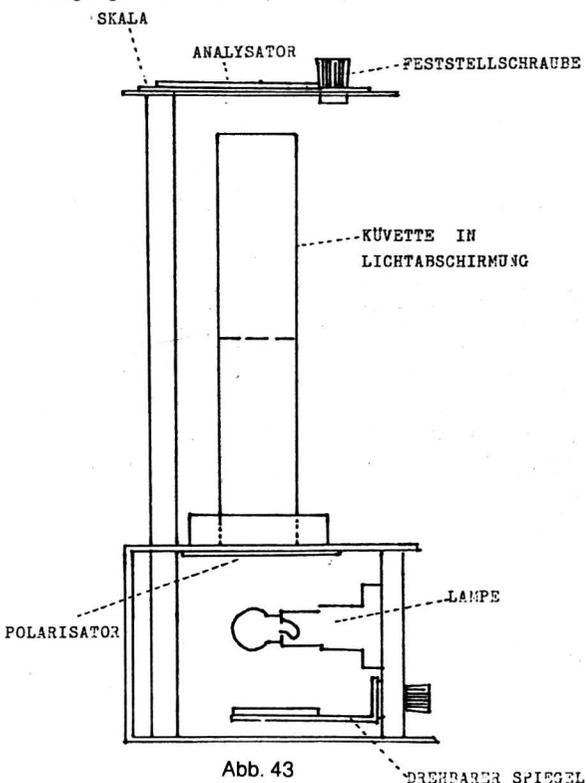
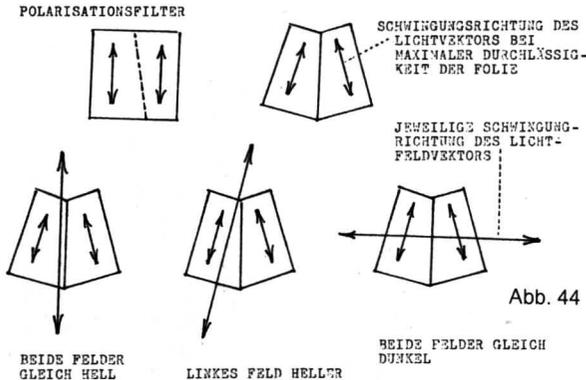


Abb. 43

Polarisator und Analysator (Folien aus parallel liegenden Kettenmolekülen) werden zunächst so justiert, daß das polarisierte Licht einer Natriumdampflampe maximal absorbiert wird, das Gesichtsfeld am Analysator also in größtmöglicher Dunkelheit erscheint. Nach Eingießen der optisch aktiven

Lösung in die Küvette wird die Polarisationssebene gedreht und das Gesichtsfeld aufgehellt. Nachdrehen des Analysators auf maximale Dunkelheit erlaubt die Ablesung eines Drehwinkels (erläuternde Skizze in der Originalvorschrift). Eine Abhängigkeit dieses Winkels von der Konzentration der optisch aktiven Lösung sollte für quantitative Analysen herangezogen werden können.

**Theorie: Chiralität; Erzeugung polarisierten Lichtes; Zustandekommen einer linear polarisierten Welle aus einer rechts- und einer linkszirkular polarisierten Welle mit verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten im optisch aktiven Medium; Erklärung des Spaltfeld-Polarisators:**  
Das menschliche Auge ist unfähig, absolute Lichtintensitäten abzuschätzen. Es kann aber die Intensitäten nebeneinander sichtbarer Lichter gut vergleichen. Ein „Spaltfeldpolarisator“ erlaubt eine bessere Abschätzung maximal dunkler oder maximal heller Gesichtsfelder. Er wird hergestellt, indem man ein Polarisationsfilter in der geeigneten Weise durchschneidet und wieder zusammenfügt (Abb. 44): (wird fortgesetzt)



## Buchbesprechungen

**Wasser und Wasseruntersuchung:** Leonhard A. Hütter, 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage; Methodik, Theorie und Praxis chemischer, chemisch-physikalischer und bakteriologischer Untersuchungsverfahren 1984. VIII, 344 S., zahlr. Abb., brosch. DM 48,-  
DIESTERWEG/SALLE – SAUERLÄNDER ISBN 3-425-05075-3

Schon ein erster und oberflächlicher Vergleich zwischen der 1. und 2. Auflage macht auf die Unterschiede und vor allem die fortschrittliche Entwicklung dieses Werkes aufmerksam. Die neue, erweiterte Auflage liegt nunmehr gebunden und

nicht als Ringbuch vor, die Seitenzahl wurde von 223 Seiten auf 344 Seiten angehoben. Dementsprechend ist auch der Informationsgehalt gestiegen. Die Zahl der großen Kapitel 1. Wasser und Wasseranalyse, 2. Experimentelle Methoden der Wasseruntersuchung, 3. Bakteriologische Wasseruntersuchung wurde um ein viertes Kapitel Literatur und Informationen, wo auch Bezugsquellen und eine Auswahl von Normen und Vorschriften angegeben sind, erweitert. Auch die Unterkapitel sind besonders im Hinblick auf modernste Verfahren ergänzt worden. Diese Erweiterungen fallen besonders bei 1.1.3 und 1.1.4 durch die vollkommenen neuen Abschnitte über „Anforderungen an das Laboratorium – Gerätezusammenstellung und praktische Hinweise“ und „Einsatz spezieller Apparate und Methoden“ auf. Auch den Inhaltsstoffen von Wasser verschiedenster Art und den dadurch möglichen Schädigungen ist viel mehr Raum als in der 1. Auflage gewidmet. Diese Erweiterungen folgen dem allgemeinen Wunsch, mehr Kenntnisse über diese, besonders die Umweltproblematik aufzeigenden Fakten, zu gewinnen. Diese Tendenz führte den Autor auch dazu, ein ganz neues Gebiet, den Abschnitt „1.9 Fischereigewässer – Anforderungen, Untersuchung und Beurteilung“ aufzunehmen. Auch der Abschnitt „1.12 Abwasser – Beschaffenheit, Reinigung, Untersuchung und Beurteilung“ wurde ganz wesentlich erweitert, vor allem durch Beschreibung von Kläranlagen. Im Kapitel 2, das sich mit den experimentellen Methoden befaßt, findet man wichtige Ergänzungen. So ist insbesondere im Abschnitt „2.3 Chemische und biochemische Summenbestimmung“ neben einer Umstrukturierung des ganzen Abschnittes viel neue Methodik zu finden, so vor allem die Einbeziehung moderner Analyseverfahren. Das 3. Kapitel wendet sich vor allem an den Biologen, wie auch bereits in der 1. Auflage. Die Zahl der Abbildungen wurde stark erweitert bzw. alte Fotos wurden durch neue ersetzt. Den Abschluß bildet ein umfangreiches Literaturverzeichnis und – neu – auch ein Stichwortverzeichnis (etwa 10 Seiten) trägt weiter zum praktikablen Gebrauch bei.

Diese neue, umfassende Darstellung des gesamten Problemkreises „Wasser“ berücksichtigt im 4. Kapitel auch geltende Vorschriften und Normen (BRD, DDR, Österreich und Schweiz, samt Adressen der zuständigen Stellen), was sicher auch zum Vergleich über die Entwicklung des Umweltschutzes auf diesem Gebiet beitragen kann. Das Werk wendet sich somit an alle, die am Thema „Wasser“ interessiert sind und ist daher auch für den Einsatz im AHS-Bereich bestens geeignet, vor allem dort, wo auch bei Schülerübungen Wasseruntersuchungen durchgeführt werden. Aber auch darüber hinaus bietet dieses Werk wichtige Informationen für Lehrer und Schüler. (E. J.)

**Waselowsky, K.: 225 x Chemie – Ein Experimentierbuch; Ausgewählte Versuche aus der anorganischen Chemie.** 176 S., 93 Schwarzweißzeichnungen im Text; Franck'sche Verlagsbuchhandlung (Kosmos), Stuttgart 1982, gebunden, Preis DM 36,-

Experimentieren ist immer noch der „Kunst“ des Chemieunterrichts edelster Teil und durch keine noch so geschickten Erklärungen zu ergänzen. Beeindruckend, was Schüler der Unterstufe (und nicht nur diese) konkret an festem Wissen mitnehmen, wenn es mit dem „anschaulichen Erlebnis eines Experiments verbunden wurde, wie scharf sie beobachten, wie kritisch sie Überlegungen anstellen – wie begeistert sie „nachmachen“ –, und wer von uns heutigen Chemielehrern hat nicht in einer Jugend auch daheim ein kleines Labor gehabt und unschuldige Löcher in Hosen und Teppich erzeugt? Was aber tun, wenn Chemiekästen und bewährte Experimentierbücher (und KOSMOS ist in beidem ein Spezialist!) nichts Neues mehr zu bieten haben und die ausgesprochenen Fachbücher doch noch eine Nummer zu hoch sind... dann sollte man sich das hier vorgestellte Buch anschauen! 225 Versuche aus der anorganischen Chemie, die nicht in jedem Anfängerbuch stehen, andererseits aber auch nicht zu schwierig sind, einschließlich „Etwas Theorie“ (S. 133 bis 156) und vielen recht „Nützlichen Ratschlägen für die praktische Arbeit“ (S. 9 bis 28).

Mancher von den heutigen Lehrbüchern „Bilderverwöhnte“ wird die skizzenhaften Darstellungen und Versuche bekräftigen; er möge sich wieder in Erinnerung rufen, daß gerade diese Art der Darstellung der Phantasie Aufgaben stellt, weit mehr als un-nachdemlich „schöne“ Bilder, bei denen es nichts mehr zu erfinden und zu denken gibt. Kein modernes Buch also – aber ein gutes! Man sollte es sich anschaffen. Man sollte es den Schülern zeigen.

Leonhard A. Hütter

# EXPERIMENTALPHYSIK

Prof. Richard Lederer

Leopold Stadler, HTL Wien 1

## Einige interessante Schulversuche

Die anschließend beschriebenen Versuche stellen sicher nicht experimentelle Neuheiten dar, sondern sind in der weitläufig einschlägigen Literatur aufzufinden. Als Lieferanten von Ideen dienen: enzyklopädische Handbücher (A. Friedrich, Girke-Sprockhoff), Fachzeitschriften, alte Lehrmittel-Kataloge (zirka 1910 bis 1928); dabei stößt man auf so blendende Ideen, daß es erstaunt, daß diese Versuche oder auch Geräte weitgehend unbekannt geblieben sind.

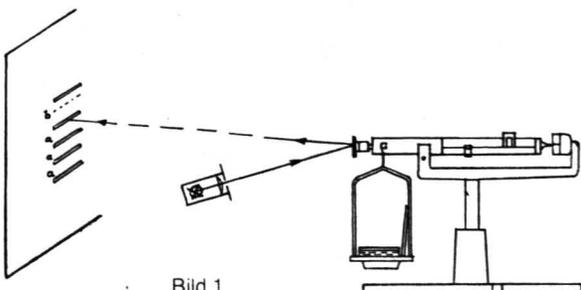
Alle geschilderten Experimente hat der Verfasser im Laufe der letzten Jahre im Rahmen der Fortbildungswoche oder der Jahreshauptversammlung des Vereines zur F. d. ph. u. ch. Unterrichts vorgeführt und dabei erfahren, daß er den anwesenden Fachkollegen fast durchwegs Neues bieten konnte.

Die folgenden Versuchs-Darstellungen erfolgen im Bewußtsein, daß es schier unmöglich ist, ein Experiment so zu beschreiben, daß es auf Anhieb sicher und erfolgreich nachvollzogen werden kann. Trotzdem seien jedesmal einige praktische Durchführungshinweise angeschlossen. Auf teure, hochspezialisierte Einzelgeräte wird verzichtet, ebenso auf umfangreiche Basteleien; i. a. kommen die Versuche aus mit Teilen der Aufbauphysik, wie sie jede Schulsammlung besitzen sollte.

### 1. Messung der Durchschnittsgeschwindigkeit von Gasmolekülen

Voraussetzung ist eine auf 0,01 g empfindliche und leidlich gedämpfte Waage. Eine solche steht heute in Gestalt der praktischen Laufgewichtswaage (OHAUS, Cent-O-Gramm, Bereich 311 Gramm) mit Magnetdämpfung zur Verfügung.

Auf der Waagschale steht eine kleine Kristallisierschale (Ø zirka 6...8 cm) mit Schliifrand, ziemlich hoch gefüllt mit Methylalkohol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $M = 32 \text{ kg/kmol} = M \text{ von } \text{O}_2$ ) sowie eine kleine Glasplatte, groß genug, die Schale abzudecken (Bild 1). Um die Gewichtsabnahme durch Verdunsten deutlich zeigen und auch messen zu können, wird die Bewegung des Waagebalkens optisch vergrößert: auf die Tarier-Schraube am Balkenende klebt oder steckt man einen kleinen Spiegel, am be-



sten einen abbildenden Hohlspiegel (jener der Schürholzschsen Drehwaage paßt mit seiner Klemmfeder genau!). Er entwirft auf der 3 bis 5 m entfernten Wand ein Bild der horizontalen Spaltblende, die auf der Kondensorlinse der Experimentierleuchte steckt.

Die Waagschale soll sich frei von störenden Schwingungen langsam heben. Dazu stellt man die Laufgewichte so, daß der Waagbalken ganz leicht am unteren Anschlag aufsitzt und bald infolge Verdunstens freispielt. Vor laufender Demonstrations-Stoppuhr wird alle  $\Delta t = 30$  sec die Stellung des Lichtzeigers markiert, man erhält konstante Stufen  $a$  (ca. 10 cm). Am Ende eines weiteren 30-sec-Intervalls wird das Verdunsten durch Auflegen der Glasplatte mit der einen Hand beendet, während die andere Hand die Waagschale festhält. Nachdem sich die Waage wieder beruhigt hat, stellt man einen größeren Hub fest als erwartet,  $b > a$  ( $b$  ca.  $1^{3/4} \cdot a$ ).

Grund: die Waage arbeitet als Kraftmesser und es entfiel mit der Abdeckung die Rückstoßkraft der aus der Flüssigkeitsoberfläche entweichenden Moleküle!

Ebenso überraschend wie die Tatsache, daß dieser Effekt überhaupt darstellbar ist, ist die Einfachheit der Auswertung:

Das Gewicht der je  $\Delta t$  verdunsteten Alkoholmasse  $\Delta m$  entspricht  $a$ , die Rückstoßkraft dieser Masse, die mit einer durchschnittlichen Normalkomponente der Geschwindigkeit,  $v_{\perp}$  entweicht, liefert  $b - a$  und es gilt:

$$(1) \quad \Delta G = \Delta m \cdot g = K \cdot a$$

$$(2) \quad F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = \frac{\Delta m \cdot v_{\perp}}{\Delta t} = K \cdot (b - a)$$

$K$  ist eine Konstante, die Empfindlichkeit der Waage und optische Vergrößerung enthält. Division der Gleichungen, (2) : (1), liefert nach Kürzen von  $K$  und  $\Delta m$  sofort:

$$v_{\perp} = \frac{g \cdot \Delta t \cdot (b - a)}{a}$$

$$\text{Z. B. ergibt sich } v_{\perp} = \frac{9,81 \text{ m} \cdot 30 \text{ s} \cdot 8 \text{ cm}}{\text{s}^2 \cdot 10 \text{ cm}} = 235 \text{ m/s} \quad (\pm 10 \dots 15\%).$$

Der integrale Mittelwert der Normalkomponente  $v_{\perp}$  beträgt genau die Hälfte von  $v$  selbst, daher wurde gemessen  $v = 470 \text{ m/s}$ ! Andererseits berechnet man für  $20^{\circ}\text{C}$

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 293}{0,032} \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 478 \text{ m/s!}$$

Hinweise:

- Der Schlifftrand der Schale gehört vorher eingefettet, damit das Verdunsten auch völlig unterbunden wird.
- Achtung beim Auflegen der Glasplatte! Schwappet dabei etwas Flüssigkeit heraus, so ist der Versuch mißlungen.
- Alkohol so hoch wie lt. obigem Hinweis möglich einfüllen, damit das Verdunsten in die freie Atmosphäre hinein erfolgen kann und nicht in einen „See“ von Alkoholdampf hinein.

## 2. Darstellung des Konzentrationsgefälles bei Diffusion zweier Flüssigkeiten

Eine konzentrierte Lösung sei durch eine Trennwand vom reinen Lösungsmittel getrennt; wird diese zum Zeitpunkt  $t = 0$  entfernt, so „verschwimmt“ dieser Konzentrationssprung im Lauf der Zeit durch Diffusion und bei Abwesenheit anderer Kräfte immer mehr gemäß der Diffusionsgleichung

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

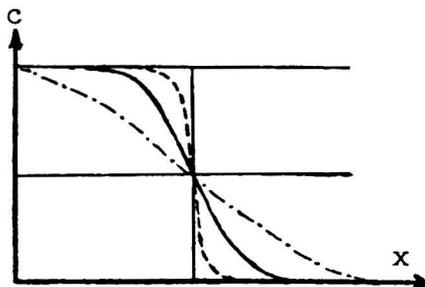


Bild 2

Einige solcher Konzentrationsverteilungen zeigt Bild 2; die zugehörigen Konzentrationsgefälle  $\partial c / \partial x$  sind in Bild 3 aufgetragen. Diese Kurven – 45grädig geschert – lassen sich experimentell herstellen wie folgt:

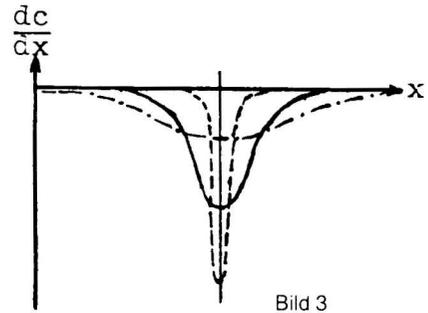


Bild 3

Auf einer optischen Bank beleuchtet eine Experimentierleuchte mit Kondensor einen Verstell-Spalt, der in seiner Fassung  $45^{\circ}$  schräg gestellt ist; ein Objektiv ( $f = 10 \text{ cm}$  oder  $15 \text{ cm}$ ) bildet den Spalt auf eine Projektionsfläche oder auch Tafel (zwecks Nachziehen der Bildkurven mit Kreide) ab. In einigem Abstand bildseitig des Objektivs, wo die Lichtstrahlen schon zu einem unscharfen Spaltbild geordnet sind, wird eine Projektions-Küvette postiert; dermaßen, daß das Lichtbündel einen größeren mittleren Bereich der Küvette durchsetzt.

Die Küvette wird zur Hälfte mit konzentrierter Kochsalzlösung gefüllt und darüber vorsichtig reines Wasser geschichtet. Da der Brechungsindex der Flüssigkeit etwa proportional zur Salzkonzentration steigt, wird das Licht in der Diffusionszone proportional zum Konzentrationsgradienten abgelenkt und das Spaltbild zeigt eine tiefe „Scharte“ – um so tiefer, je freier von Vermischung das Überschichten gelungen war. Von nun an kann man alle zehn Minuten die Projektionslampe kurz einschalten und das „Auseinanderfließen“ des Tales in der Bildkurve verfolgen. Ist die Bildfläche eine Tafel oder ein Stück Papier, kann man diese Kurven nachzeichnen und so die Wirkung der Diffusion auf das Konzentrationsgefälle festhalten (Bild 4).

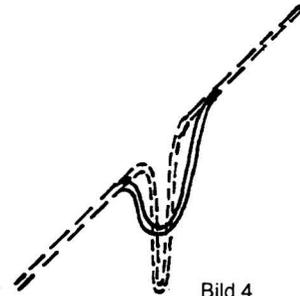


Bild 4

Hinweise:

- Wärmt man Salzlösung und Wasser vorher an, so schreitet die Diffusion rascher voran.
- Zur Herstellung der Salzlösung ist gewöhnliches Kochsalz besser geeignet als Tafelsalz mit Zusätzen; diese trüben die Lösung.
- Überschichten der Salzlösung mit Wasser: Man schneidet ein kleines, leichtes Holzbrettchen zurecht (z. B. aus einer Zündholzschatel), welches dem Grundriß der Küvette entspricht und läßt es auf der Salzlösung schwimmen. Das Wasser wird aus einer Spritzflasche knapp über die Fläche des Brettchens aufgebracht und dieses langsam hochschwimmen gelassen.

## 3. Mechanisches Analogon zum Franck-Hertz-Versuch

Mechanische Analogie-Versuche zu weniger anschaulichen Sachverhalten sind didaktisch besonders wirksam. Eine originelle Möglichkeit, die zunächst elastischen und bei  $4,9 \text{ eV}$  Anregungsenergie unelastisch verlaufenden Stöße zwischen Elektronen und Quecksilberatomen zu illustrieren, kann man mit Hilfe eines alten Tennisballes herstellen:

Mittels einer feineren Säge wird ein Tennisball halbiert und die eine Hälfte am Scheitelpunkt durchbohrt ( $5 \text{ mm}$   $\varnothing$ ). Gemäß Bild 5 wird ein Saugnapf innen angeschraubt (Zylinderkopfschraube  $M 5 \times 20 \text{ mm}$ , eine Mutter, eine Beilagscheibe und der Schraubenkopf gegen das Innere des Saugnapfes luftdicht mittels Zweikomponenten-Kleber gedichtet).

Versuch: Man legt den halben Ball („Hg-Atom“) auf eine glatte Platte und läßt einen mittelschweren Hammer („anstoßendes Elektron“) aus zunehmender Höhe immer wieder auf

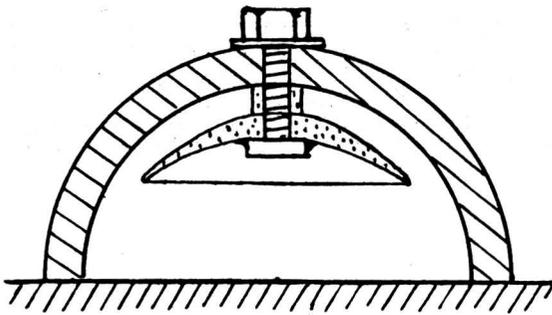


Bild 5

die Mutter am Ball fallen. Zunächst springt der Hammer elastisch zurück, während bei größerer Fallhöhe bzw. Geschwindigkeit der Tennisball so weit eingedellt wird, daß sich der Napf auf der Platte festsaugt und der Stoß unelastisch verläuft. Wählt man die Unterlage geeignet, so sickert Luft ein und unser kleines Gerät hüpfet nach wenigen Sekunden wieder hoch („Rückkehr in den Grundzustand“).

#### 4. Abhängigkeit der Brennweite einer Linse von Krümmungsradien und Brechungsindex

In der einschlägigen Literatur findet man zahlreiche Vorschläge zur messenden Überprüfung der Beziehung

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \cdot \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right).$$

Die Mehrzahl dieser Methoden arbeitet mit einer Wasserlinse in einer Uhrglasschale. Mißlich daran ist die Bestimmung des Krümmungsradius. Diesen Mangel hat der Verf. dadurch behoben, daß eine kleine Wasserlinse in einem gläsernen Kugelkolben als Abbildungslinse fungiert. Der Krümmungsradius dieser Plankonvex-Linse ist somit simpel als halber Kolbendurchmesser zu bestimmen (Schieblehre).

Die wenigen Bauteile klemmt man gemäß Bild 6 an eine kleine optische Bank oder eine Stativstange, welche vertikal am Tischrand befestigt ist. Die Leuchte mit transparentem Gegenstand verschiebt man senkrecht derart, daß am Fußboden ein leuchtend scharfes Bild erscheint.

Nachteilig ist, daß dieses Bild höchstens die Schüler der ersten Reihe sehen können. Man kann es aber den anderen über einen vorgeneigten Handspiegel vorzeigen.

Auswertung:

Die Brennweite  $f$  der Wasserlinse wird einerseits aus Gegenstands- und Bildweite berechnet (Maßband). Andererseits werden in die zu prüfende Gleichung  $n = 4/3$ ,  $r_1 =$  halber Kolbendurchmesser und  $r_2 = \infty$  eingesetzt. Die Genauigkeit ist angesichts der einfachen Hilfsmittel erfreulich.

Hinweis:

- Ist die Wassermenge zu groß, so verschlechtert sich das Bild durch zu große Linsendicke; macht man die Wasserlinse zu klein, so wird der Meniskus am Rand zu störend. Das Optimum dazwischen ist zu erproben.
- Vom halben Kolbendurchmesser kann man ein bis zwei Millimeter für die Glasdicke abziehen.

#### 5. Kaltwasser-Schwimmer

Die drei Fälle der Wirkung des Auftriebes auf einen völlig untergetauchten Festkörper, nämlich Sinken ( $\rho_K > \rho_F$ ), Schweben ( $\rho_K = \rho_F$ ) und Aufsteigen ( $\rho_K < \rho_F$ ) werden meistens mit

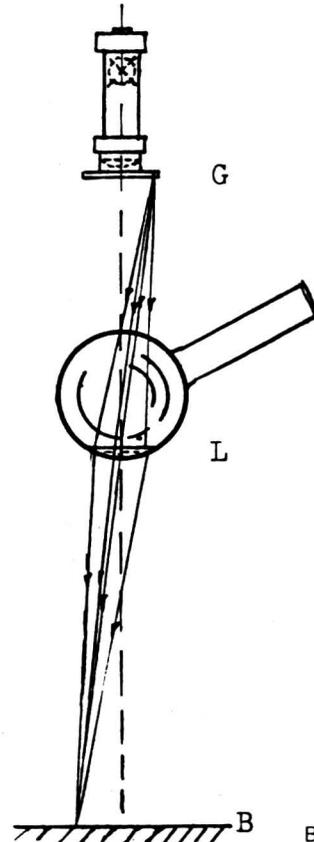


Bild 6

Hilfe des Cartesianischen Tauchers vorgeführt; dabei wird die Dichte des Schwimmkörpers verändert. Schon Lehrmittelkataloge der Zeit um die Jahrhundertwende bieten den „Kaltwasserschwimmer nach Weinhold“ an: eine sorgfältig tarierte Hohlkugel, die in kaltem Wasser eben noch schwimmt und in warmem Wasser untergeht. Es wird also primär die Dichte der Flüssigkeit geändert, um die genannten Fälle zu realisieren.

Verfasser hat eine Hohlkugel aus Messing mit Schrottfüllung grob tariert, die Öffnung zugeschraubt und verlötet und durch Befüllen des Lötzinns fein fertig tariert (und damit die Temperatur des Schwebens auf zirka 20 °C gebracht). Der Versuch kommt bei den Zusehern sehr gut an.

Ebenso gut eignet sich eine Christbaum-Kugel, ja selbst ein leeres Glasfläschchen leistet die gleichen Dienste. Zum Füllen kommen Bleischrott, Nägel verschiedener Größe oder auch Quecksilber in Frage. Eine Variante für geduldige Trierer: der Schwimmkörper ragt nur in etwa 4 °C kaltem Wasser etwas aus der Oberfläche, versinkt aber bereits in Eiswasser bzw. merklich wärmerem Wasser. In allen Fällen muß Warmwasser aus dem Durchlauferhitzer zum Untersinken ausreichen.

- Im Warmwasser setzen sich gerne Luftblasen an, diese sind abzuschütteln.
- Als Gefäß zu empfehlen ein Becherglas, hohe Form, zu 1 oder 2 l Inhalt.
- Eine weitere Variante: Schweben des Körpers, nachdem man Salzwasser mit Warmwasser sorgsam überschichtet hat.

(Wird fortgesetzt)

## Berichtigung

Der Fehlerteufel hat ganz kräftig zugeschlagen! In der September-Nummer (66) sollte der Titel des ersten Beitrages „Versuche zur Frequenzmodulation“ heißen. Die Verbindung des Titels mit dem Autorennamen erfolgte irrtümlich und sinnstörend.

Kurt Wagner, BG Klagenfurt

## Geometrie auf der Kassettendecke (I)

### 1. Problemstellung

Auf einer Frankreichreise im Sommer 1983 besuchte ich das Schloß Lapalisse in der Auvergne. Einige Räume dieses reich ausgestatteten Gebäudes sind noch mit Kassettendecken aus der Renaissancezeit versehen. Besonders eine dieser Decken beeindruckte mich nicht nur durch ihre Schönheit, sondern auch durch ihren interessanten geometrischen Inhalt. Obwohl die Führung nur wenige Minuten in dem Raum mit der schönen Decke verblieb, gelang es mir, die geometrische Struktur zu erkennen und sie mir zu merken. Nach Hause zurückgekehrt, zeichnete ich die Decke als Graph zunächst mit Zirkel und Dreieck und dann auf dem Bildschirm des Computers (siehe Abbildungen). Dabei ergaben sich wie von selbst eine Reihe von Problemen und die Aufgabenstellungen, die in der Schule auf etwas unkonventionelle Weise zum Erreichen von Lernzielen beitragen könnten. Besonders geeignet erscheint mir die Beschäftigung mit der Kassettendecke zur Wiederholung und Festigung bereits erarbeiteter Lerninhalte. Ich nenne einige Beispiele:

- Zeichnen der Decke als Graph mit Zirkel und Dreieck (Planimetrie, 2. u. 3. Klasse)
- Zeichnen der Decke als Graph auf dem Bildschirm in hochauflösender Graphik (Freigegegenstand EDV)
- Berechnung aller auftretenden Kantenlängen, aller Winkel sowie der Flächen aller konvexen Vielecke und deren Diagonalen (Planimetrie, Lehrsatz des Pythagoras, 3. Klasse, Rechnen mit Wurzeltermen, 6. Klasse)
- Berechnung von Weglängen und Weganzahlen zwischen zwei beliebigen Knoten des Graphen (Kombinatorik, vollständige Induktion, 6.–8. Klasse)
- Berechnung von Umfang und Fläche von „Lapalisse-Vielecken“ (Vektorrechnung, Analytische Geometrie, 5. u. 6. Klasse)

Sicherlich läßt sich diese Liste noch um einige andere ebenso interessante Problemstellungen erweitern. Betreiben wir also ein wenig „Lapalisse-Geometrie“!

### 2. Geometrischer Inhalt der Kassettendecke

#### 2.1 Erzeugung des Graphen

Der Graph, der das Modell für die Decke darstellt, kann durch ein regelmäßiges Achteck ( $A_1$  bis  $A_8$  in Abb. 1) erzeugt werden, das in  $x$ - bzw. in  $y$ -Richtung durch einen Vektor vom Betrag  $s$  (kürzeste Diagonale des Achtecks) verschoben wird. Die Achtecke überdecken sich teilweise. Je zwei benachbarte haben einen Rhombus gemeinsam. Die im Inneren jedes Achtecks freibleibende Fläche wird durch kreuzförmig aufeinander senkrecht stehende Kanten LR bzw. HT unterteilt.

Um Überdeckungen zu vermeiden, nehmen wir als erzeugendes Vieleck jedoch besser das sternförmige, gleichseitige Achteck  $A_1T A_3RA_5HA_7L$ . Es läßt sich einem Quadrat mit der Seite  $s = A_1A_3$  einschreiben. Dieses Quadrat nennen wir **Elementarzelle** (Abb. 1 links unten). Die in die Eckpunkte der Elementarzelle fallenden Knoten sollen **Gitterpunkte** heißen. Es ist noch zu betonen, daß die Seiten der Elementarzelle keine Kanten des Graphen sind.

#### 2.2 Bestimmung der Winkel

Die vier auftretenden Winkel ergeben sich einfach aus dem Achteckswinkel  $135^\circ$ :

$$\alpha = 135^\circ, \beta = 5/6 \cdot \alpha = 112,5^\circ, \gamma = 2/3 \cdot \alpha = 90^\circ, \delta = 1/3 \cdot \alpha = 45^\circ.$$

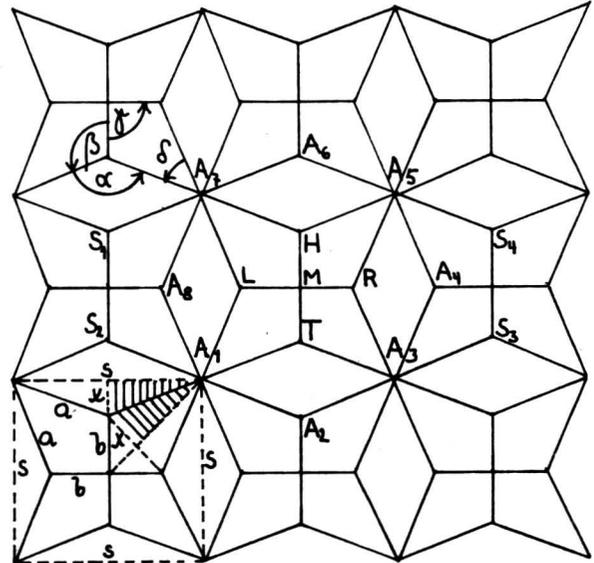


Abb. 1: Geometrischer Inhalt der Kassettendecke.

#### 2.3 Berechnung der Kanten

Es treten zwei verschiedene Kantenlängen  $a$  und  $b$  auf. Aus der Kongruenz der schraffierten Dreiecke (Abb. 1 links unten) ergibt sich

$$(1) \quad x = \frac{s}{2} \cdot (\sqrt{2} - 1) = 0,207s \text{ und}$$

$$(2) \quad b = x \cdot \sqrt{2} = \frac{s}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot (\sqrt{2} - 1) = 0,293s.$$

Die Kante  $a$  erhält man nach Pythagoras aus dem schraffierten Dreieck

$$(3) \quad a = \left[ \frac{s^2}{4} + \frac{s^2}{4} (3 - 2\sqrt{2}) \right]^{1/2} = \frac{s}{2} (4 - 2\sqrt{2})^{1/2} = 0,541s$$

#### 2.4 Berechnung von Flächeninhalten

Zunächst wollen wir erheben, welche und wieviele konvexe Vielecke aus den Kanten des Graphen gebildet werden können. Da der größte Winkel  $135^\circ$  beträgt, kann es kein konvexes Vieleck mit mehr als acht Seiten geben. Aus Abb. 1 entnehmen wir:

Deltoid	$A_1TML$
Rhombus	$A_1LA_7A_8$
Fünfeck	$A_1THA_7A_8$
Kleines Sechseck	$A_1THA_7S_1S_2$
großes Sechseck	$S_1S_2A_2S_3S_4A_6$
Siebeneck	$S_1S_2A_2A_3A_4A_5A_6$
Achteck	$A_1A_2A_3A_4A_5A_6A_7A_8$

Nur das Achteck ist regelmäßig. Die übrigen Vielecke sind auch nicht gleichseitig.

Die Diagonalen des Deltoids sind  $\frac{s}{2}\sqrt{2}$  und  $2x$ , daher

$$(4) \quad A_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{s}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 2x = \frac{s}{2} \cdot b = \frac{s^2}{4} \cdot \sqrt{2}(\sqrt{2} - 1) = 0,147s^2.$$

Die Diagonalen des Rhombus haben die Länge  $s$  und  $2x$

$$(5) \quad A_r = \frac{1}{2} \cdot s \cdot 2x = \frac{s^2}{2} (\sqrt{2} - 1) = 0,207s^2.$$

Zur Kontrolle: Die Elementarzelle wird von 2 Rhomben und 4 Deltoiden gebildet,

$$4A_d + 2A_r = s^2(2 - \sqrt{2} + \sqrt{2} - 1) = s^2.$$

Die übrigen Vielecke sind aus Rhomben und Deltoiden zusammengesetzt:

$$A_5 = A_r + 2A_d = \frac{s^2}{2}$$

$$A_{6,kl} = A_r + 4A_d = s^2 - A_r = \frac{s^2}{2} (3 - \sqrt{2})$$

$$A_{6,gr} = 4A_r + 8A_d = 2s^2$$

$$A_7 = A_{6,gr} - 2A_d = \frac{s^2}{2} (2 + \sqrt{2})$$

$$A_8 = 4A_r + 4A_d = s^2 (2\sqrt{2} - 2 + 2 - \sqrt{2}) = s^2 \sqrt{2}$$

### 3. Weglängen und Weganzahlen

Unter einem **Weg** soll die kürzeste nur längs Kanten verlaufende Verbindung zwischen zwei beliebigen Knoten des Graphen verstanden werden.

Wir wollen ausrechnen, wie lang ein Weg zwischen zwei gegebenen Knoten ist und wieviel Wege es zwischen ihnen gibt, beschränken uns jedoch auf Gitterpunkte. Als Beispiel betrachten wir die Wege zwischen den Knoten  $P_1(0/0)$  und  $P_2(4/2)$  in Abb. 2. (Die Seite  $s$  der Elementarzelle soll ab jetzt als 1 angenommen werden). Da die Verbindung  $A_1A_5$  über  $M$  (Abb. 1) mit  $2(a+b)$  kürzer ist als die über  $A_3$  (sie beträgt  $4a$ ) müssen soviele „Diagonalen“ als möglich benützt werden, um einen Weg zu erhalten. Im Beispiel der Abb. 2 kann dies zweimal geschehen, zwei Elementarzellen sind längs der Seiten zu passieren, so daß der Weg von  $P_1$  nach  $P_2$  die Länge

$$l_{1,2} = 2 \cdot 2(a+b) + 2 \cdot 2a = 8a + 4b$$

hat. Allgemein gibt es soviele „Diagonalen“ als der Betrag des Minimums der beiden Koordinatendifferenzen ausmacht. Mit

$$P_1(x_1/y_1), P_2(x_2/y_2),$$

$$M = \max(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|) \text{ und } m = \min(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|)$$

erhalten wir

$$(6) \quad l_{1,2} = m \cdot 2(a+b) + (M-m) \cdot 2a = 2(Ma + mb)$$

Wir fragen jetzt nach dem Verhältnis des Weges  $l_{1,2}$  zur Strecke  $P_1P_2$ .

$$v = l_{1,2}/P_1P_2 = 2(Ma + mb)/\sqrt{M^2 + m^2} = 2(a + bx)/\sqrt{1 + x^2} \text{ mit}$$

$$x = m/M.$$

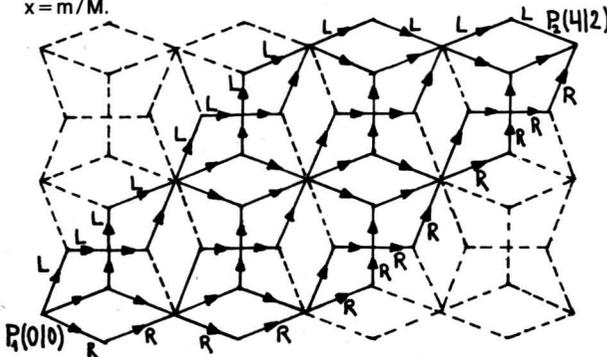


Abb. 2

Die Ableitung der Funktion  $f(x) = 2(a + bx)/\sqrt{1 + x^2}$  hat eine Nullstelle bei  $x = b/a$ . Die Funktionswerte für diese Stelle und für die Randpunkte des Intervalls lauten:

$$f(0) = 2a = 1,08; f(1) = (a+b)\sqrt{2} = 1,18; f(b/a) = 2\sqrt{a^2 + b^2} = 1,23.$$

Somit übertrifft der Lapalisse-Weg zwischen zwei Punkten  $P_1$  und  $P_2$  die Strecke  $P_1P_2$  am wenigsten für  $m=0$ , dies trifft zu, wenn die Endpunkte des Weges entweder gleiche  $x$ - oder gleiche  $y$ -Koordinaten haben. Das Verhältnis  $v$  wird besonders groß, wenn  $m/M$  in die Nähe von  $b/a$  kommt, etwa  $M=54$  und  $m=29$ .

In Abb. 2 sind sämtliche Wege von  $P_1$  nach  $P_2$  eingezeichnet (Pfeile). Sie umschließen eine Fläche, die durch zwei besondere Wege begrenzt wird. Wir definieren:

Ein Weg heißt rechter (linker) **Grenzweg**, wenn in keinem Knoten, den er berührt – in Richtung von  $P_1$  nach  $P_2$  gesehen –, ein anderer rechts (links) abzweigt.

In Abb. 2 sind die Grenzwege mit R bzw. L gekennzeichnet. Nicht alle Kanten innerhalb der beiden Grenzwege können von Wegen benützt werden. In unserem Beispiel sind die nach links aufwärts verlaufenden Kanten der aufrecht stehenden Rhomben keine Wegkanten. Bei der Zählung der möglichen Wege von  $P_1$  nach  $P_2$  ist zu beachten, daß zwei Wege dann als verschieden gelten, wenn es mindestens eine Kante gibt, die sie nicht gemeinsam benützen. Um eine Elementarzelle von  $A_1$  nach  $A_5$  (Abb. 1) zu durchwandern, sind vier Wege möglich, nämlich  $A_1LMHA_5$ ,  $A_1LMRA_5$ ,  $A_1TMHA_5$  und  $A_1TMRA_5$ . Von einer Ecke zur nächst benachbarten sind dagegen nur zwei Wege möglich:  $A_1TA_3$  und  $A_1A_2A_3$ . Da man frei wählen kann, in welcher Reihenfolge man die  $m$  Diagonalbewegungen und die  $M-m$  Seitwärts- bzw. Aufwärtsbewegungen durchführt, ergibt sich für die Anzahl der Wege von  $P_1$  nach  $P_2$ .

$$(7) \quad z_{1,2} = \binom{M}{m} 4^m \cdot 2^{(M-m)} = \binom{M}{m} 2^{M+m}$$

In unserem Beispiel in Abb. 2 ergeben sich von  $P_1$  nach  $P_2$

$$\binom{4}{2} \cdot 2^6 = 384$$

mögliche Wege der gleichen Länge  $8a + 4b$ .

Weglängen und Weganzahlen zwischen zwei beliebigen Knoten, die nicht Gitterpunkte sein müssen, lassen sich ebenfalls durch Terme ausdrücken. Die Untersuchung erfordert jedoch Fallunterscheidungen und soll hier nicht weiter verfolgt werden.

### 4. Lapalisse-Vielecke

Ein Lapalisse-Vieleck (kurz **L-Vieleck**) entsteht aus einem konvexen Vieleck (im Sinne der ebenen Geometrie), dessen Eckpunkte der Reihe nach und im positiven Umlaufsinn mit  $P_1, P_2, \dots, P_n$  bezeichnet werden, wenn diese Punkte in der gleichen Reihenfolge statt durch Strecken durch **rechte Grenzwege** verbunden werden. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Vielecken, die bei  $n=3$  beginnen, existiert auch schon ein L-Zweieck. In Abb. 2 erzeugen die rechten Grenzwege von  $P_1$  nach  $P_2$  und  $P_2$  wieder zurück nach  $P_1$  ein L-Zweieck. Wir wollen eine allgemeine Formel zur Berechnung von Umfang und Flächeninhalt der L-Vielecke gewinnen, wobei wir als erzeugende Punkte nur Gitterpunkte des Graphen zulassen.

In Abb. 3 sind  $P_i$  und  $P_{i+1}$  zwei aufeinanderfolgende Punkte des L-Vielecks und  $Q_i$  bzw.  $Q_{i+1}$  ihre Projektionen auf die  $x$ -Achse. Mit  $M_i$  und  $m_i$  bezeichnen wir wieder das Maximum bzw. das Minimum der Koordinatendifferenzen der beiden Punkte. Die Fläche  $Q_iP_iQ_{i+1}P_{i+1}$  wird von drei Geraden und dem rechten Grenzweg  $P_iP_{i+1}$  begrenzt. Sie setzt sich zusammen aus

dem Trapez  $Q_iP_iQ_{i+1}P_{i+1}$ , dem Dreieck  $P_iR_iP_{i+1}$

und den begrenzenden Halbrhomben bzw. Halbdeltoiden. Diese Fläche liefert daher zur Fläche des gesamten L-Vielecks den Beitrag

$$A_i = \frac{1}{2} \cdot ((x_i - x_{i+1})(y_i + y_{i+1}) + (M_i - m_i)m_i + (M_i - m_i)A_r + 2m_iA_d).$$

Man kann also ganz ähnlich vorgehen wie bei der Trapezmethode zur Flächenberechnung gewöhnlicher Vielecke. Wenn  $x_i < x_{i+1}$  ist, wird nur der erste Term von  $A_i$  negativ, die übrigen drei, die auf die Definition der Grenzwege abgestimmt sind, bleiben positiv. Der Beitrag zum Umfang ist die Weglänge  $P_iP_{i+1}$

$$u = 2(M_i a + m_i b).$$

Wir erhalten mit

$$P_i(x_i/y_i) \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad x_{n+1} = x_1, \quad y_{n+1} = y_1;$$

$$M_i = \max(|x_i - x_{i+1}|, |y_i - y_{i+1}|), \quad m_i = \min(|x_i - x_{i+1}|, |y_i - y_{i+1}|)$$

$$(8) \quad u_n = 2 \sum_{i=1}^n (M_i a + m_i b)$$

$$(9) \quad A_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(x_i - x_{i+1})(y_i + y_{i+1}) + (M_i - m_i)m_i + (M_i - m_i)A_r + 2m_iA_d].$$

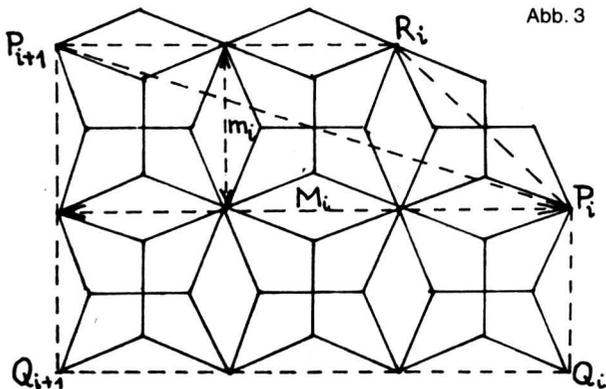


Abb. 3

Für das L-Zweieck vereinfachen sich die Formeln zu

$$u_2 = 4(Ma + mb), A_2 = (M - m)m + (M - m)A_r + 2mA_d$$

$$(M_1 = M_2 = M, m_1 = m_2 = m)$$

Sonderfälle:  $m = 0, u_2 = 4Ma, A_2 = MA_r,$   
 $M = m, u_2 = 4(a + b)m, A_2 = 2mA_d,$   
 $M = 2m, u_2 = 4(2a + b)m, A_2 = m^2 + m(A_r + 2A_d).$

Nur im letzten Fall ist die Fläche des L-Zweiecks, ausgedrückt in Elementarzellenflächen, rational.

$$[A_r + 2A_d = 0,5, \text{ siehe Gl. (4) u. (5)}].$$

Für das L-Zweieck in Abb. 2 erhalten wir mit

$$P_1(1/2), P_2(5/4), M = 4, m = 2$$

$$u_2 = 4 \cdot 2(2a + b) = 16a + 8b$$

$$A_2 = 4 + 2(A_r + 2A_d) = 8A_r + 16A_d + 2A_r + 4A_d = 10(A_r + 2A_d) = 5.$$

An Stelle einer Dezimalzahl ist es i. a. günstiger, die Fläche eines L-Vielecks in der Form  $\lambda_1 A_r + \lambda_2 A_d$  anzugeben. Durch Abzählen der Rhomben und Deltoiden in der Skizze kann dann die Richtigkeit der Angabe leicht verifiziert werden.

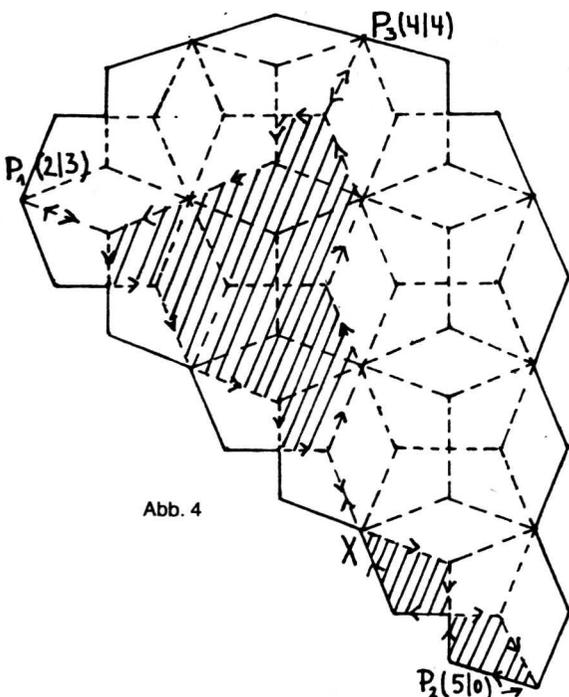


Abb. 4

Nun berechnen wir die Dreiecksfläche in Abb. 4.

$$P_1(2/3), P_2(5/0), P_3(4/4), P_4(2/3)$$

$$M_1 = m_1 = 3, M_2 = 4, m_2 = 1, M_3 = 2, m_3 = 1.$$

$$2A_3 = -3 \cdot 3 + 0 + 0 + 6A_d +$$

$$+ 1 \cdot 4 + 3 + 3A_r + 2A_d +$$

$$+ 2 \cdot 7 + 1 + A_r + 2A_d = 9 + 4 + 4A_r + 10A_d = 30A_r + 62A_d.$$

$$A_3 = 15A_r + 31A_d,$$

$$u_3 = 2(3a + 3b + 4a + b + 2a + b) = 2(9a + 5b).$$

Innerhalb des L-Dreiecks  $P_1P_2P_3$  in Abb. 4 sehen wir eine punktierte Linie. Sie begrenzt die „innere“ Fläche  $I_3$  des L-Dreiecks, man erhält sie, wenn man **linke Grenzwege** zur Verbindung der Punkte benützt. In der Flächenformel bekommen die letzten drei Terme negatives Vorzeichen:

$$(10) \quad A_n = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(x_i - x_{i+1})(y_i + y_{i+1}) -$$

$$(M_i - m_i)m_i - (M_i - m_i)A_r - 2m_iA_d].$$

Für das L-Dreieck in Abb. 4 erhalten wir

$$2I_3 = 9 - 4 - 4A_r - 10A_d = 6A_r + 10A_d, I_3 = 3A_r + 5A_d.$$

Wenn man nachzählt (schraffierte Fläche), kommt man jedoch auf  $3A_r + 9A_d$ ! Die Ursache der Differenz liegt in der Tatsache, daß die Fläche – wie in der Integralrechnung – auch ein Vorzeichen hat. Das L-Dreieck  $P_1XP_3$  wird positiv umlaufen, das L-Zweieck  $XP_2$  jedoch negativ. Durch Flächenteilung mittels des Punktes  $X(4/1)$  und Summierung der Beträge der Teilflächen gelangt man zum geometrisch richtigen Ergebnis

$$I_3 = I(P_1XP_3) + I(P_2X) = 3A_r + 7A_d + 2A_d = 3A_r + 9A_d.$$

### 5. Durchschnitt zweier Flächenstreifen

Zur Definition eines (unendlichen) Flächenstreifens gehen wir von einem L-Zweieck  $P_1, P_2$  aus, für das gilt

$$x_2 > x_1, y_2 > y_1, M = x_2 - x_1, m = y_2 - y_1.$$

Das L-Zweieck von Abb. 2 erfüllt z. B. diese Bedingung. Die Punkte  $P_1$  und  $P_2$  sollen nun eine Folge durchlaufen, gemäß

$$x_{1,n} = x_1 - n, y_{1,n} = y_1 - n, x_{2,n} = x_2 + n, y_{2,n} = y_2 + n.$$

Dabei vergrößern sich die Maxima und Minima der Koordinatendifferenz zwar andauernd, ihre Differenz bleibt jedoch konstant.

$$M_n = x_2 - x_1 + 2n, m_n = y_2 - y_1 + 2n, \text{ aber}$$

$$M_n - m_n = x_2 - x_1 - (y_2 - y_1) = M - m \dots \text{konstant.}$$

Den Graphen müssen wir uns nach allen Richtungen bis ins Unendliche ausgedehnt denken. Wir definieren daher: Ein **rechter (linker) Flächenstreifen** entsteht als uneigentlicher Grenzwert der Folge der L-Zweiecke  $P_{1,n}, P_{2,n}$  für  $n$  gegen unendlich. Dabei gilt

$$P_{1,n}(x_1 - n/y_1 - n), P_{2,n}(x_2 + n/y_2 + n)$$

$$\text{mit } x_1, x_2, y_1, y_2, n \in \mathbb{N},$$

$$x_2 > x_1, (x_2 < x_1), y_2 > y_1, M = |x_2 - x_1|, m = y_2 - y_1.$$

Die konstante Größe  $M - m = 2r (= 2l)$  heißt **Breite** des rechten (linken) Flächenstreifens. Nach der Bedeutung von  $M$  und  $m$  ist die Breite immer ganzzahlig.

Wir können einen Flächenstreifen eindeutig bestimmen durch die Angabe seiner Aufstiegsrichtung, seiner Breite und eines beliebigen Gitterpunktes seines linken Grenzweges:

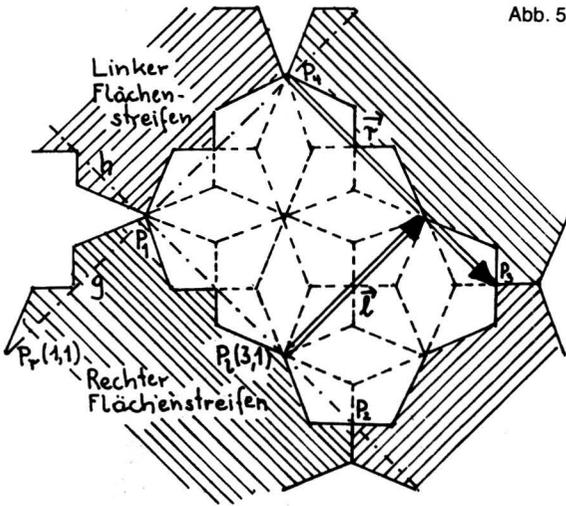
$$P_r(x_r/y_r, 2r) \text{ bzw. } P_l(x_l/y_l, 2l).$$

# Das gleichflächige Tetraeder

## I. Einleitung und Problemstellung

Die Anregung zu diesem Aufsatz verdanke ich meinem verehrten Lehrer aus Geometrischem Zeichnen, Herrn OStR Mag. Josef SZMEJ, Graz; für „gleichflächiges Tetraeder“ hat er im Unterricht auch das griechische Wort mit lateinischer Endung „Sphenisk“ (der keilförmige Körper) gebraucht.

Hälftet man im Dreieck EFG die Seiten und bezeichnet man die Halbierpunkte mit ABC, so entstehen 4 kongruente Dreiecke. Man betrachte [ABC] als Bildebene  $\pi$  einer kotierten Normalprojektion. Man kann die drei äußeren Dreiecke so klappen, daß – unter Bedingungen, die noch zu besprechen sind – ein gleichflächiges Tetraeder mit der Spitze D entsteht. D' ist der Höhenschnittpunkt des Dreiecks EFG. Ist z reell, so kann z durch Stützdreieck konstruiert werden (Abb. 1).



In Abb. 5 sind die beiden Streifen  $P_r(1/1; 3)$  und  $P_l(3/1; 2)$  sowie ihr Durchschnitt eingezeichnet. Die Durchschnittsfläche bildet ein L-Viereck. Wir wollen Eckpunkte, Umfang und Fläche des Durchschnitts eines beliebigen rechten mit einem beliebigen linken Streifen berechnen.

Einen Eckpunkt erhalten wir, wenn wir die Gerade g durch  $P_r$  mit der Steigung 1 mit der Geraden h durch  $P_l$  mit der Steigung -1 schneiden.

$$g: \vec{x} = \begin{pmatrix} x_r \\ y_r \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, h: \vec{x} = \begin{pmatrix} x_l \\ y_l \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix},$$

$$\lambda = (x_l - x_r + y_l - y_r) / 2,$$

$$\vec{x}_1 = \begin{pmatrix} x_r + \lambda \\ y_r + \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}.$$

Die übrigen Eckpunkte erhalten wir mit Hilfe der beiden Vektoren  $\vec{r} = r(1, -1)$  und  $\vec{l} = l(1, 1)$

$$\vec{x}_2 = \vec{x} + \vec{r}, \vec{x}_3 = \vec{x}_1 + \vec{r} + \vec{l}, \vec{x}_4 = \vec{x}_1 + \vec{l}.$$

Umfang und Fläche berechnen sich zu

$$u = (2r + 2l)(2a + 2b) = 4(r + l)(a + b)$$

$$A = |\vec{l}| \cdot |\vec{r}| + 2(r + l)A_d = 2rl + 2(r + l)A_d = 2rl(2A_r + 4A_d) + 2(r + l)A_d.$$

$$A = 4rl \cdot A_r + 2(r + l + 4rl) \cdot A_d.$$

Ein Streifen kann auch die Breite 0 haben, er besteht dann nur aus Deltoiden. Der Durchschnitt eines Streifens mit  $r \neq 0$  und eines Streifens mit der Breite  $l = 0$  ist ein L-Zweieck mit

$$u = 4r(a + b), A = 2rA_d.$$

Wir wenden nun die Ergebnisse auf den Durchschnitt der beiden Flächenstreifen von Abb. 5 an. Mit

$$P_r(1/1), P_l(3/1), r = 3/2, l = 1 \text{ und } \lambda = (3 - 1 + 1 - 1) / 2 = 1$$

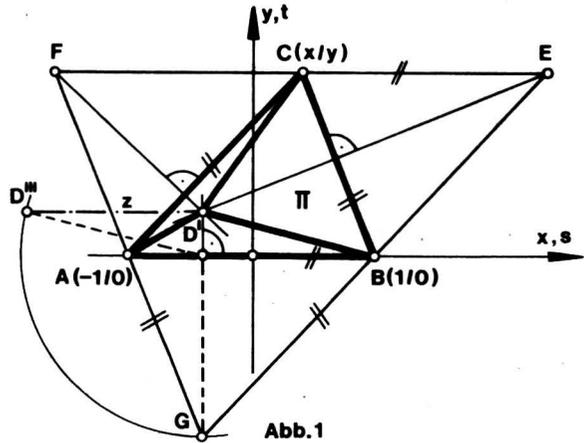
erhalten wir die Eckpunkte

$$P_1(2/2), P_2(3,5/0,5), P_3(4,5/1,5), P_4(3/3)$$

sowie Umfang und Fläche des Durchschnitts

$$u = 4 \cdot 5/2 \cdot (a + b) = 10a + 10b,$$

$$A = 4 \cdot 3/2 \cdot 1 \cdot A_r + 2(3/2 + 1 + 4 \cdot 3/2 \cdot 1) \cdot A_d = 6A_r + 17A_d.$$



## II. Reelle Spheniske

Alle Sphenisk-Gestalten werden, abgesehen von Ähnlichkeiten, erfaßt, wenn man A und B festhält und C variabel läßt. Man führe ein Koordinatensystem wie in Abb. 1 ein, dann hat man:

- A (-1/0)
- B (1/0)
- C (x/y)
- E (x + 2/y)
- F (x - 2/y)
- G (-x/-y)
- D' (s/t)

Es ist sofort klar, daß  $s = -x$  ..... (1)

Die Verbindung [BC] hat  $k = \frac{y}{x-1}$ , der Klappungsstrahl durch

$$E \text{ also die Einpunktform } t - y = \frac{1-x}{y} \cdot (s - 2 - x);$$

daraus folgt  $t = \frac{2x^2 + y^2 - 2}{y}$  ... (2) ... Man muß also  $y \neq 0$  verlangen.

$$\text{Es ist } D' \left( -x / \frac{2x^2 + y^2 - 2}{y} \right).$$

Das Stützdreieck in Abb. 1 zeigt  $z^2 = y^2 - t^2$  ..... (3a),

$$\text{es ist also } z = \pm \sqrt{y^2 - \frac{(2x^2 + y^2 - 2)^2}{y^2}} \text{ ..... (3b).}$$

Setzt man  $z=0$ , so bekommt man die Grenzkurve für C mit „flachen“ Sphenisken. An einem Ufer der Grenzkurve werden die C mit „echten“ Sphenisken sein, am anderen Ufer jene C, für die die D konjugiert-komplex sind.

$$z=0 \dots y^4 - (2x^2 + y^2 - 2)^2 = 0$$

$$\underline{x^4 + x^2y^2 - 2x^2 - y^2 + 1 = 0} \dots \dots \dots (4)$$

Diese zirkulare Grenzkurve 4. Ordnung zerfällt aber in  $(x-1)(x+1)(x^2+y^2-1)=0$ , d. h. in zwei Geraden und den Einheitskreis, der auch als THALES-Kreis zu verstehen ist.

Abb. 2 zeigt schwarz das zulässige Gebiet für C.

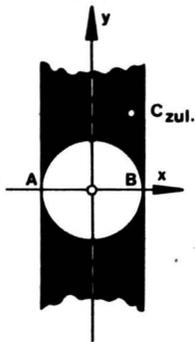


Abb. 2

**Satz:** Nur spitzwinkelige Dreiecke ABC geben echte Spheniske; rechtwinkelige Dreiecke ABC geben flache Spheniske; stumpfwinkelige Dreiecke ABC geben keine reellen Spheniske.

Die Abb. 2 wie den Satz könnte man durch einfache elementargeometrische Überlegungen auch herleiten.

### III. Fallunterscheidungen bei reellen Sphenisken

Für echte Spheniske gibt es Fallunterscheidungen (Flache Spheniske sind mit Kap. II erklärt):

- (a) Wann ist  $D'$  im Inneren von  $\triangle ABC$ , m.a.W. wann ist der Sphenisk „spitz“?
  - (b) Wann ist  $D'$  im Äußeren von  $\triangle ABC$ , m.a.W. wann ist der Sphenisk „überhängend“?
  - (c) Wann liegt  $D'$  auf einer Seite des Dreiecks ABC, m.a.W. wann hat der Sphenisk eine lotrechte Wand, wann ist er „lotrecht“?
- (c) ist am leichtesten zu formulieren und (a) und (b) ergeben sich daraus als Gebiete.
- (c) zerfällt in ca) ...  $D'e[AB]$   
 cb) ...  $D'e[BC]$   
 cc) ...  $D'e[AC]$

**Ad ca)**

$t=0 \dots 2x^2 + y^2 - 2 = 0$ , dies ist die  
 Ellipse ...  $x^2 + \frac{y^2}{2} = 1$  ... (5) mit  $a = 1$  und  $b = \sqrt{2}$

**Ad cb)**

Area  $D'CB = 0 \dots$

$$\dots \begin{vmatrix} -x & \frac{2x^2 + y^2 - 2}{y} & 1 \\ x & y & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

dies ist eine zirkulare Kurve 3. Ordnung mit lotrechter Asymptote, sie liegt im II. und III. Quadranten und hat außerdem in  $(1/0)$  einen isolierten Doppelpunkt.

Ihre Gleichung lautet ...

$$\underline{x^3 + xy^2 - x^2 - x + 1 = 0} \dots c_3 \text{ links} \dots (6)$$

Zum Listen und Plotten eignet sich die explizite Form

$$\underline{y = \pm \sqrt{\frac{-x^3 + x^2 + x - 1}{x}}} \dots (7) \quad (\text{Abb. 3})$$

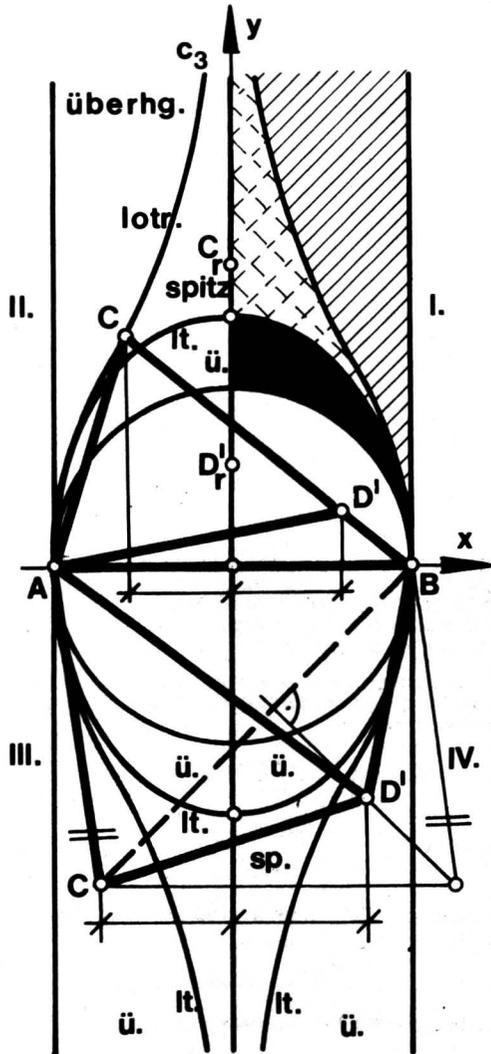


Abb. 3

Der Schnitt der Ellipse (5) ist besonders einfach, er führt auf  $x^3 + x^2 - x - 1 = 0$ ;

diese Gleichung hat  $x_1 = 1$  und  $x_{2,3} = -1$ , also haben die Kurven in B zwei Punkte und in A vier Punkte gemeinsam, sie hyperoskulieren in A.

Eine längere Differentialrechnung zeigt, daß die linke  $c_3$  Wendepunkte hat, die der Gleichung

$$5x^4 - 12x^3 + 6x^2 + 4x - 3 = 0 \text{ genügen;}$$

die Gleichung hat die Lösungen

$$x_{1,2,3} = 1 \text{ und } x_4 = -\frac{3}{5}$$

die praktisch relevanten Wendepunkte liegen bei

$$W(-0,6/\pm 1,306 \dots)$$

**ad cc)**

Die Rechnung verläuft analog zum Fall cb) und ergibt

implizit ...  $x^3 + xy^2 + x^2 - x - 1 = 0$   $c_3$  rechts ... (8)

explizit ...  $y = \pm \sqrt{\frac{-x^3 - x^2 + x + 1}{x}}$  ... (9) (Abb. 3)

Im I. Quadranten sind in Abb. 3 die zulässigen C kenntlich gemacht und die Gebiete unterschieden.

- (b) Geschrafft sind C mit überhängenden Sphenisken
- (a) Gekreuzt sind C mit spitzen Sphenisken
- (b) Schwarz sind C mit überhängenden Sphenisken

Die Grenzkurven sind durch die Kapitel II. und III. erläutert. Auch das reguläre Tetraeder ist durch C, und D', angedeutet.

#### IV. Die Abbildung C → D'

Für jedes reelle C ergibt sich aus (1) und (2) genau ein reelles D', nur y=0 ist verboten. Reelle z ergeben sich nach Abb. 2 und Abb. 3 durch die dort dargestellten Einschränkungen. Wie bildet sich nun etwa der zulässige Teil des I. Quadranten der [xy]-Ebene ab?

Die Formeln (1) und (2) haben die Umkehrung

$$x = -s \dots (10) \text{ und}$$

$$y = \frac{t}{2} \pm \sqrt{\frac{t^2}{4} - 2s^2 + 2} \dots (11)$$

Die lotrechten Grenzgeraden der Abb. 2 werden vertauscht; außerhalb dieses Streifens ist die Diskussion unnötig.

Der Grenzkreis  $x^2 + y^2 = 1$  geht über in

$$s^2 + \frac{t^2}{4} \pm t \cdot \sqrt{\frac{t^2}{4} - 2s^2 + 2} + \frac{t^2}{4} - 2s^2 + 2 = 1,$$

dies ist die zerfallende Kurve 4. Ordnung

$$(s^2 - 1)(s^2 + t^2 - 1) = 0 \dots (12);$$

dem Viertelkreis im I. Quadranten der [xy]-Ebene entspricht allerdings ein Viertelkreis im III. Quadranten der [st]-Ebene (Abb. 4).

Nun soll die linke Grenzkurve 3. Ordnung transformiert werden. Weil D'e [BC] ist, gilt

$$t : (1-s) = y : (1+s);$$

statt Formel (11) kann ausnahmsweise leichter verwendet werden:

$$y = \frac{t(1+s)}{1-s}$$

Gleichung (6) wird

$$-s^3 - s \cdot \frac{t^2(1+s)^2}{(1-s)^2} - s^2 + s + 1 = 0.$$

Diese Kurve 5. Ordnung zerfällt in

$$(1+s) \cdot (1+s) \cdot ((1-s)^3 - st^2) = 0.$$

Die linke Grenzgerade hat sich doppelt abgespalten, interessant bleibt eine gespitzte Kurve 3. Ordnung

$$(1-s)^3 - st^2 = 0 \dots (13),$$

die explizit als

$$t = \pm \sqrt{\frac{(1-s)^3}{s}} \dots (14)$$

geschrieben werden kann und im I. und IV. Quadranten der [st]-Ebene liegt (Abb. 4).

Der Kurve (8) entspricht ebenso die gespitzte Kurve 3. Ordnung

$$(1+s)^3 + st^2 = 0 \dots (15),$$

oder explizit

$$t = \pm \sqrt{\frac{(1+s)^3}{-s}} \dots (16)$$

im II. und III. Quadranten der [st]-Ebene.

Nun wird verständlich, wie die drei Gebiete der Abb. 3 in die Abb. 4 übergehen. Bei Betrachtung der ganzen [st]-Ebene ist allerdings die Kreisfläche  $s^2 + t^2 \leq 1$  doppelt überdeckt.

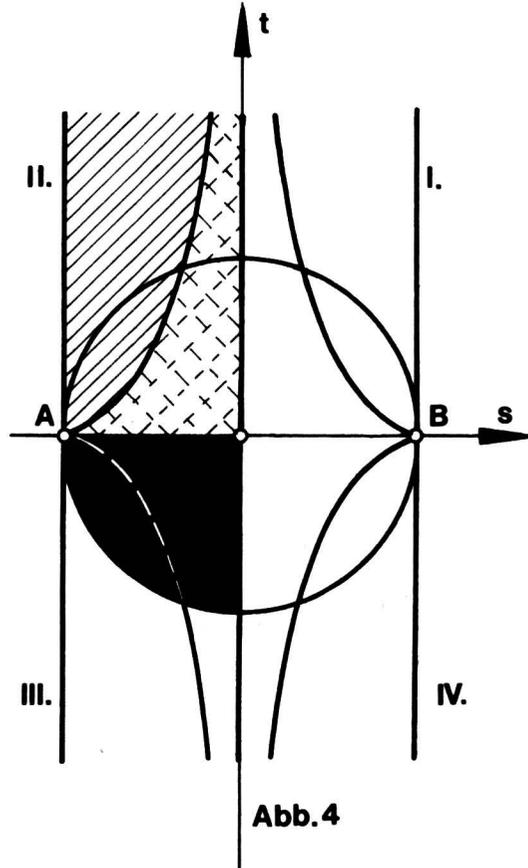


Abb. 4

#### V. Die Abbildung D' → C

Im algebraischen Sinne ist diese Abbildung nach den Formeln (10) und (11) zweideutig. (Allerdings hat Formel (11) eine Diskriminante; setzt man

$$\frac{t^2}{4} - 2s^2 + 2 = 0, \text{ so ergibt sich eine Grenzhyperbel}$$

außerhalb des zulässigen Streifens; D' innerhalb der Grenzhyperbel würden keine reellen C mehr geben; für reelle Spheniske ist diese Bemerkung ohne Bedeutung.)

Für reelle Spheniske genügt: Es muß  $|s| \leq 1$  sein ... (17).

Ist D'e der Kreisfläche  $s^2 + t^2 \leq 1$  ... (18), so gibt es zwei C mit reellen Sphenisken. Außerhalb (18) unter Berücksichtigung von (17) gibt es zwei C, aber nur ein Sphenisk davon ist reell.

#### VI. Die Fläche Φ aller D

Von D' (s/t) ausgehend kann man C(x/y) und auch gleich D(s/t/z) ermitteln; es ist klar, daß dies in Kapitel V vorbereitet ist. Abb. 5 zeigt im Grundriß (Schichtendarstellung), im Auf- und Kreuzriß diese Fläche Φ.

Nach (3a) und (11) ist

$$z^2 = \frac{t^2}{4} \pm t \cdot \sqrt{\frac{t^2}{4} - 2s^2 + 2} + \frac{t^2}{4} - 2s^2 + 2 - t^2, \text{ also ist}$$

$$z = \pm \sqrt{2 - \frac{t^2}{2} - 2s^2 \pm t \cdot \sqrt{\frac{t^2}{4} - 2s^2 + 2}} \dots (19) \text{ eine}$$

explizite Darstellung von Φ. Implizit lautet sie

$$4s^2 + 4s^2t^2 + 4s^2z^2 + t^2z^2 + z^4 - 8s^2 - 4t^2 - 4z^2 + 4 = 0 \dots (20),$$

Φ ist eine Fläche 4. Ordnung.

Man kann nach längerer Rechnung zeigen, daß die Gleichung (19) für  $t \rightarrow \infty$

$$z = \pm \sqrt{4 - 4s^2} \dots (21) \text{ wird,}$$

daß also im Grenzfall  $z \rightarrow \pm 2 \dots (22)$  geht.

**Satz:** Unter der Annahme des Kapitels II gilt für alle reellen Spheniske  $|z| < 2$ ;  $|z| = 2$  wird nur im Grenzfall erreicht.

Den Satz kann man sich auch synthetisch überlegen: Windschiefe Kanten des Sphenisk sind gleich lang, speziell ist  $AB = CD = 2$ . Ist  $s \neq 0$ , so liegt  $CD$  schief gegenüber  $\pi$  und es ist  $|z| < 2$ . Ist  $s = 0$ , so hat der Sphenisk lauter gleichschenkelige Dreiecke und  $CD'$  ist ein Teil der  $t$ -Achse; noch ist  $CD$  schief und  $|z| < 2$ . Geht aber  $t \rightarrow \infty$ , so gehen die Basiswinkel  $\alpha$  und  $\beta \rightarrow 100^\circ$  und  $CD$  geht gegen die lotrechte Stellung; im Grenzfall wird  $|z| = 2$ .

Nun sollen die **Hauptschnitte** von  $\Phi$  ermittelt werden:

$t = 0$  gibt in der  $[sz]$ -Ebene die doppelt zu zählende Ellipse  $e$   $(2s^2 + z^2 - 2)^2 = 0 \dots (23)$  mit den Achsenlängen 1 und  $\sqrt{2}$ .  $e$  ist eine Selbstdurchdringungskurve zweier Schalen von  $\Phi$ ,  $e$  ist im Kreuzriß der Abb. 5 zu sehen.

$s = 0$  gibt in der  $[tz]$ -Ebene

$t^2 z^2 + z^4 - 4t^2 - 4z^2 + 4 = 0 \dots (24)$ ; diese aus 2 schneidenden Zügen bestehende Kurve 4. Ordnung läßt sich als

$$t = \pm \sqrt{\frac{4z^2 - z^4 - 4}{z^2 - 4}} \dots (25) \text{ günstig schreiben und ist}$$

im Aufriß der Abb. 5 als Umrißkurve zu sehen.

$z = 0$  gibt in der  $[st]$ -Ebene

$$4s^4 + 4s^2 t^2 - 8s^2 - 4t^2 + 4 = 0, \text{ d. h.}$$

$(s-1)(s+1)(s^2+t^2-1) = 0$ , das ist die Formel (12), nämlich das Geradenpaar und der Einheitskreis; sie bilden im Grundriß der Abb. 5 den Umriß und die Schichtenkurve für  $z = 0$ .

Von allen expliziten Darstellungen der Gleichung (20) ist

$$t = \pm \sqrt{\frac{8s^2 + 4z^2 - 4 - 4s^4 - 4s^2 z^2 - z^4}{4s^2 + z^2 - 4}} \dots (26)$$

am günstigsten. Man kann daraus ersehen, daß für  $t \rightarrow \infty$  sich die Schnittfigur parallel zur  $[sz]$ -Ebene der Ellipse  $f$

$$s^2 + \frac{z^2}{4} = 1 \dots (27) \text{ nähert,}$$

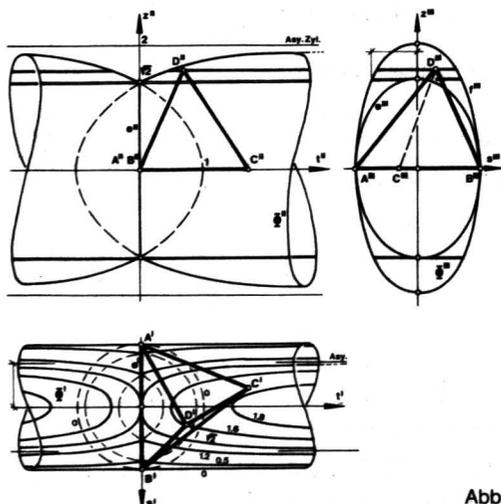


Abb. 5

daraus folgt der

**Satz:** Die Fläche  $\Phi$  aller  $D$  besitzt den asymptotischen, in zwei Geraden dauernd berührenden, elliptischen Zylinder (27) mit den Achsenlängen 1 und 2.

Die Ellipse  $f$  ist im Kreuzriß der Abb. 5 dargestellt.

Zum Abschluß seien die Schichtenkurven in  $e // [st]$  gezeigt. So eine Ebene  $e$  besitzt  $z = \text{const.}$  und die Schichtenkurve hat auch die Gleichung (20). Jede  $e$  schneidet aus dem asymptotischen Zylinder (27) das Asymptotenpaar der Schichtenkurve heraus (siehe Abb. 5, Kreuzriß und Grundriß), die  $z$ -Koten stehen bei den Kurven. Besonders einfach ist die Schichtenkurve für  $z = \pm \sqrt{2}$ , sie wird

$$2s^4 + 2s^2 t^2 - t^2 = 0 \dots (28)$$

und ist eine Kappa-Kurve, wie sie auch z. B. als Grundriß der Umrißkurve einer Regelschraubfläche auftritt.

## Ein wenig bekannter Zugang zu den komplexen Zahlen

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, im Unterricht der Oberstufe die komplexen Zahlen einzuführen. Das **axiomatische Verfahren** ist zwar für den Lehrer bequem, muß aber darauf verzichten, dem Schüler das „Aha“-Erlebnis zu verschaffen, das erst den neuen Zahlbereich als einleuchtende Erweiterungsstruktur erkennen läßt. Deshalb ist dieser Weg aus psychologischen Gründen abzulehnen.

Die Einführung mittels **Matrizen** (s. Wiss. Nachr., Nr. 61, Jänner 1983, S. 23, Einführung der komplexen und hyperkomplexen Zahlen mittels Matrizen) begegnet keiner psychischen Barriere, weil zweireihige Matrizen einen anschaulichen Bezug zur Analytischen Geometrie haben. Leider stehen aber Matrizen nicht in allen Schultypen zur Verfügung, was die Benützung des Verfahrens stark einschränkt.

Die rein **geometrische Interpretation** der komplexen Zahlen mittels Schiebungen (Addition) und Drehstreckungen bzgl. des Ursprungs (Multiplikation) in der Ebene eignet sich ausgezeichnet für den angestrebten Zweck, wovon sich der Verfasser dieser Zeilen wiederholt in der eigenen Unterrichtspraxis überzeugen konnte.

Eine Wissenschaft gilt u. a. dann als reizvoll, wenn sie gestattet, ihre Aussagen in mannigfaltiger Form zu begründen. Das trifft in hohem Maße auf die Theoreme der Mathematik im allgemeinen und – wie aus der einleitenden Aufzählung ersichtlich – auf die komplexen Zahlen im besonderen zu. Die komplexen Zahlen können nämlich noch auf eine vierte Art eingeführt werden, die auf **Cauchy** zurückgeht. Sie wird im folgenden erläutert.

Der Begriff der **Restklasse** sowie das **Rechnen mit Restklassen** ist den Schülern zu dem Zeitpunkt meist bekannt, in dem der Lehrplan das Thema „Komplexe Zahlen“ vorschreibt. Restklassen lassen sich natürlich auch für Polynome mit reellen (speziell mit rationalen) Koeffizienten definieren. Besonders handlich sind die Restklassen nach dem **Modul  $x^2 + 1$** . Ist  $p(x)$  irgendein Polynom, dann ergibt sich die Restklasse von  $p(x)$  als der Rest, der bei der Division  $p(x) : (x^2 + 1)$  auftritt. Er hat stets die Form  $a + bx$ ,  $a, b \in R$ . Man kann ihn kürzer als geordnetes Paar  $(a, b)$  der Koeffizienten  $a, b$  notieren, was künftig geschehen soll.

Das Rechnen mit den Restklassen  $\text{mod}(x^2 + 1)$  unterscheidet sich lediglich bei der Multiplikation vom „gewöhnlichen“ Rechnen mit Polynomen, weil dabei die höheren als ersten Potenzen von  $x$  durch lineare Ausdrücke zu ersetzen sind. Addition und Multiplikation sind kommutativ, assoziativ und durch das Distributivgesetz verbunden. Erscheint im Produkt zweier Restklassen das quadratische Glied  $x^2$ , dann ist es durch seine Restklasse  $(-1)$  zu ersetzen, denn

$$x^2 = 1 \cdot (x^2 + 1) + (-1).$$

Die neutralen Elemente für Addition und Multiplikation sind die Restklassen 0 bzw. 1, wie unmittelbar einzusehen ist.

Zu  $a + bx$  sind in eindeutiger Weise  $-a - bx$  additiv bzw.  $(a - bx)/(a^2 + b^2)$  multiplikativ invers, die Restklasse 0 besitzt

kein multiplikativ inverses Element. Es gilt nämlich  $(a + bx) \cdot (a - bx)/(a^2 + b^2) = (a^2 - b^2x^2)/(a^2 + b^2) \equiv (a^2 + b^2)/(a^2 + b^2) \equiv 1 \pmod{x^2 - 1}$ .

Also bilden die Restklassen der Polynome mod  $(x^2 + 1)$  einen **kommutativen Körper K**.

In der Darstellung der Restklassen durch Binome  $a + bx$  einerseits und durch Zahlenpaare  $(a, b)$  andererseits lauten die Rechenregeln wie folgt:

- (1')  $k \cdot (a + bx) = a \cdot k + b \cdot k \cdot x,$
- (1)  $k \cdot (a, b) = (ak, bk),$
- (2')  $(a + bx) + (c + dx) = (a + c) + (b + d) \cdot x,$
- (2)  $(a, b) + (c, d) = (a + c, b + d),$
- (3')  $(a + bx) \cdot (c + dx) = ac + (ad + bc) \cdot x + bd \cdot x^2 \equiv (ac - bd) + (ad + bc) \cdot x \pmod{x^2 + 1},$
- (3)  $(a, b) \cdot (c, d) = (ac - bd, ad + bc);$
- (4)  $(a, b) = a \cdot (1, 0) + b \cdot (0, 1).$

Die Teilstruktur  $K' = (a, 0)$ ,  $a$  beliebig reell, des Körpers  $K$  ist mit dem Körper der reellen Zahlen isomorph. **Daher ist es sinnvoll, K als einen Erweiterungskörper des Körpers der reellen Zahlen anzusehen.**

$K$  umfaßt sämtliche Linearkombinationen der unabhängigen Basiselemente  $(1, 0)$ ,  $(0, 1)$ , ähnlich, wie dies bei den Vektoren der Ebene

$\vec{r} = (x, y) = x(1, 0) + y(0, 1)$  der Fall ist. Man kann daher noch einen Schritt weitergehen und den beiden Basiselementen von  $K$  eigene Symbole zuordnen. Wegen der Isomorphie von  $K'$  mit dem Körper der reellen Zahlen liegt es nahe,  $(1, 0)$  das Symbol  $1$  zuzuordnen. Das zweite Basiselement von  $K$  werde mit  $i$  bezeichnet. Die Elemente von  $K$  erhalten auf diese Weise die Gestalt

$$(a, b) = a \cdot 1 + b \cdot i$$

oder, nach Weglassen des Symbols  $1$ ,

$$(a, b) = a + b \cdot i.$$

Die algebraische Struktur  $C = (a + bi, +, \cdot)$ ,  $a, b$  reell, heißt **Körper der komplexen Zahlen**. Nach der Multiplikationsregel (3) gilt

$$(5) \quad i^2 = (0, 1) \cdot (0, 1) = (-1, 0) = -1,$$

ein Ergebnis, das unmittelbar aus der Kongruenz  $x^2 \equiv -1 \pmod{x^2 + 1}$

abzulesen wäre, aber aus didaktischen Gründen erst hier hergehoben werden sollte!

Obwohl noch nicht im Unterricht erprobt, dürfte dieser Zugang zu den komplexen Zahlen von den Schülern als folgerichtig und nicht als „Zauber“ empfunden werden. Vielleicht finden sich einige Kolleginnen und Kollegen, die einmal in der Praxis die pädagogische Effizienz dieses Vorschlages erproben. Ich wäre dankbar, wenn sie mir die dabei gewonnenen Erfahrungen mitteilen würden.

Walter Kranzer

## Nachtrag

zu

„Elementarer Beweis der Formel  $e^{ix} = \cos x + i \cdot \sin x$ “ in Nr. 66 der Wiss. Nachr.

Es ist zu erwarten, daß sich kritisch denkende Schüler mit der formalen Einführung des Terms  $e^{ix}$  nicht zufrieden geben. Daher ist die Bemerkung angebracht, daß die Exponentialfunktion, ausgedehnt auf komplexe Exponenten, einen ähnlichen Erweiterungsschritt darstellt, wie er bei der Fortsetzung der Winkelfunktionen über das Intervall  $]0, \pi/2[$  hinaus getan wird. Die Rechen- und Ableitungsregeln bleiben davon unberührt.

Ferner bedürfte das Differenzieren im komplexen Bereich eigener Untersuchungen, die aber für das AHS-Niveau zu aufwendig sind. Sie müssen deshalb unterbleiben. Erst der Nachweis für das Gültigbleiben der Differentiationsregeln erlaubt die gegebene Herleitung der Eulerformel.

Betrachtet man von Haus aus die Gleichung  $e^{ix} = \cos x + i \cdot \sin x$  als **Definition** des Ausdrucks  $e^{ix}$ , dann sind die Moivre'schen Formeln für sich herzuleiten und daraus die Regel  $e^{aix} \cdot e^{bix} = e^{(a+bi)x}$  zu gewinnen.

Walter Kranzer

## Aufgabenecke Wilhelm Körperth

### Aufgabe Nr. 4:

Auf zwei Geraden  $g$  und  $g_1$  sind je drei Punkte  $A, B, C$  bzw.  $A_1, B_1, C_1$  gegeben.  $O$  sei ein Punkt von  $g_1$ , der vom Schnittpunkt der beiden Geraden verschieden ist. Es ist zu entscheiden, ob

man die Gerade  $g_1$  durch eine passende Drehung um  $O$  stets in eine solche Lage bringen kann, daß sich  $A, B, C$  und  $A_1, B_1, C_1$  in perspektiver Lage befinden (d. h., daß die Geraden  $AA_1, BB_1, CC_1$  einander in einem einzigen Punkt schneiden).

(O. Univ.-Prof. Dr. Karl Prachar)

Um Zusendung der Lösungen von Aufgabe Nr. 4 an den Bearbeiter der Aufgabenecke, Herrn **OSTr. Wilhelm Körperth**, 1070 Wien, Neustiftgasse 111/14 bis 15. März 1985 wird gebeten. Die Namen der Zusender richtiger Lösungen werden samt Andeutung der Lösungsgedanken in Nr. 69, September 1985, der Wissenschaftlichen Nachrichten erscheinen.

### Lösung von Aufgabe Nr. 2:

a) Eine durch den Term  $x + 10y$  dargestellte Zahl sei durch  $n$  teilbar. Für welchen Wert von  $\xi$  legt  $y + \xi x$  eine ebenfalls durch  $n$  teilbare Zahl fest? ( $x, y, \xi \in \mathbb{Z}; n \in \mathbb{N}$ )

b) Wie läßt sich unter Benützung des Ergebnisses aus a) die Teilbarkeit einer ganzen Zahl durch  $7, 11, 13, 17, 19, 23, \dots$  untersuchen? (Mag. Ernst Domkowsch)

Einsender von richtigen Lösungen: Mag. Ernst DOMKOWITSCH, Wien; Mag. Peter GRÖBNER, Höhere Internatsschule des Bundes, Wien; Mag. Walter HOFMANN, Wien; Mag. Walther JANOUS, WRG Innsbruck; Mag. Dr. Johanna TIBAUDO, BORG Innsbruck; OSTr. Mag. Kurt WAGNER, BG Klagenfurt; OSTr. Dr. Wolfgang WEIHS, BG V. Wien.

### 1. Lösung (Wagner):

$$a) \quad x + 10y \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow \xi x + 10\xi y \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow \xi x + y \equiv 0 \pmod{n},$$

wenn  $10\xi \equiv 1 \pmod{n}$ .

$$y + \xi x \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow 10y + 10\xi x \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow 10y + x \equiv 0 \pmod{n},$$

wenn  $10\xi \equiv 1 \pmod{n}$ .

Somit ist  $10\xi \equiv 1 \pmod{n}$  eine notwendige und hinreichende Bedingung für die Faktoren  $\xi$ .

Diese Kongruenz ist nur für  $\text{ggT}(10, n) = 1$  lösbar. Für  $\text{ggT}(10, n) \neq 1$  hat die Aufgabe für  $n$  daher keine Lösung.

In der nachstehenden Tabelle sind für  $n < 30$  und  $\text{ggT}(10, n) = 1$  die absolut kleinsten Faktoren  $\xi$  angegeben:

$n$	3	7	9	11	13	17	19	21	23	27	29
$\xi$	1	-2	1	-1	4	-5	2	-2	7	-8	3

b) Aus a) ergibt sich folgende **Teilbarkeitsregel für eine natürliche Zahl  $n$  mit  $\text{ggT}(10, n) = 1$** : Bedeutet  $x$  die Einerziffer einer ganzen Zahl  $a$  und  $y$  die Zahl, die man durch Streichen der Einerziffer erhält, so ist die Zahl  $a$  genau dann durch  $n$  teilbar, wenn  $y + \xi x$  durch  $n$  teilbar ist. Dabei bedeutet  $\xi$  eine Lösung von  $10\xi \equiv 1 \pmod{n}$ .

Beispiel:  $n = 7, a = 19\ 481$

$$x = 1, y = 1948, \xi = -2 \quad 1948 \cdot (-2) = -3896$$

$$1948 \cdot (-2) = -3896$$

$$18 \cdot (-2) = -36$$

$$14 \cdot (-2) = -28$$

$$\Rightarrow 7 \mid 19481$$

### 2. Lösung (Janous):

a) O.B.D.A. sei  $\text{ggT}(x, y, n) = 1$ .

Ist die Kongruenz  $10\xi \equiv 1 \pmod{n}$  lösbar, was genau dann der Fall ist, wenn  $\text{ggT}(10, n) = 1$  gilt, so leistet wegen  $x + 10y \equiv 0 \pmod{n} \Leftrightarrow 0 \equiv \xi(x + 10y) \equiv \xi x + y \pmod{n}$  genau das Inverse von  $10$  in  $\mathbb{Z}_n$  das Gewünschte.

Ist  $10\xi \equiv 1 \pmod{n}$  nicht lösbar, also  $d = \text{ggT}(10, n) \neq 1$ , so folgt  $n = dn'$  und somit  $x + 10y \equiv 0 \pmod{dn'} \Rightarrow x + 10y \equiv 0 \pmod{d} \Rightarrow x = dx', y = dn'$ . Aus  $\text{ggT}(dx', y, dn') = 1$  folgt  $d \mid y \Rightarrow y + \xi x = y + d\xi x' \not\equiv 0 \pmod{dn'}$ .

### 3. Lösung (Gröbner):

a) Sei  $\text{ggT}(10, n) = 1$ .

$$\text{Wenn } 10\xi - 1 \equiv 0 \pmod{n} \text{ ist, gilt } x + 10y \equiv 0 \pmod{n} \Leftrightarrow x + 10y + (10\xi - 1)x \equiv 0 \pmod{n} \Leftrightarrow 10y + 10\xi x \equiv 0 \pmod{n} \Leftrightarrow y + \xi x \equiv 0 \pmod{n}.$$

Wegen  $\text{ggT}(10, n) = 1$  hat  $n$  die Einerziffer  $e = 1, 3, 7$  oder  $9$ . Die Werte für  $\xi$  ergeben sich dann aus der folgenden Tabelle:

e	1	3	7	9
$\xi$	$-\frac{n-1}{10}$	$\frac{3n+1}{10}$	$-\frac{3n-1}{10}$	$\frac{n+1}{10}$

Beweis für  $e = 3$ :  $n = 10z + 3 \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow 30z + 9 \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow 10(3z + 1) - 1 \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow \xi = 3z + 1 = \frac{3n+1}{10}$

#### 4. Lösung (Weihls):

a) Es sei  $\text{ggT}(y, n) = T, y = T\eta, n = Tv, (\eta, v) = 1$ .

Aus der Voraussetzung  $x \equiv -10y \pmod{n}$  folgt  $\xi x + y \equiv y(1 - 10\xi) \pmod{n}$ .  
 $y(1 - 10\xi) \equiv 0 \pmod{n} \Leftrightarrow \eta(1 - 10\xi) \equiv 0 \pmod{v} \Leftrightarrow 1 - 10\xi \equiv 0 \pmod{v}$ .  
 Demnach ist für  $\xi x + y \equiv 0 \pmod{n}$  die Bedingung  $1 - 10\xi \equiv 0 \pmod{v}$  notwendig und hinreichend. Alle Lösungen der Kongruenz  $1 - 10\xi \equiv 0 \pmod{v}$  sind im Fall  $\text{ggT}(10, v) = 1$  gegeben durch  $\xi = \xi_0 + \lambda v, \lambda \in \mathbb{Z}, \xi_0$  partikuläre Lösung.

b) Für  $\text{ggT}(10, t) = 1$  gilt  $x + 10y \equiv 0 \pmod{t} \Leftrightarrow \xi_0 x + y \equiv 0 \pmod{t}$  mit  $10\xi_0 \equiv 1 \pmod{t}$ .

Beweis: (1) Sei  $x + 10y \equiv 0 \pmod{t}$ .  $10(\xi_0 x + y) = 10\xi_0 x + 10y \equiv x + 10y \equiv 0 \pmod{t}$ , also  $\xi_0 x + y \equiv 0 \pmod{t}$ .

(2) Sei  $\xi_0 x + y \equiv 0 \pmod{t}$ .  $\xi_0(x + 10y) = \xi_0 x + 10\xi_0 y \equiv \xi_0 x + y \equiv 0 \pmod{t}$ , also  $x + 10y \equiv 0 \pmod{t}$ .

Die Werte für  $\xi_0$  können der Tabelle in Lösung 3 entnommen werden.

#### 5. Lösung (Tibaudo):

a) Gesucht ist  $\xi$ , so daß  $n \mid x + 10y$  und  $n \mid \xi x + y$  mit  $x, y, \xi \in \mathbb{Z}, n \in \mathbb{N}$ .

Einschränkung der Grundmenge für  $n$ :

(1)

$$n = 2m, m \in \mathbb{N}.$$

$$2m \mid x + 10y \Rightarrow x = 2u, u \in \mathbb{Z}. \quad 2m \mid 2u + 10y \Rightarrow m \mid u + 5y.$$

$$2m \mid \xi x + y \Rightarrow 2m \mid 2\xi u + y \Rightarrow y = 2v, v \in \mathbb{Z}.$$

$$2m \mid 2\xi u + 2v \Rightarrow m \mid \xi u + v$$

Die Aufgabe lautet also: Gesucht ist  $\xi$ , so daß  $m \mid u + 5v$  und  $m \mid \xi u + v$ . Die Abspaltung des Faktors 2 führt also wieder auf das ursprüngliche Problem. Ist  $m$  auch durch 2 teilbar, so wird das Verfahren wiederholt, und zwar so lange bis alle Faktoren 2 abgespalten sind.

(2)  $n = 5m, m \in \mathbb{N}$ . Analog zu (1).

(3) Man darf somit o.B.d.A. annehmen, daß  $n$  die Einerziffer 1, 3, 7 oder 9 hat.

Setzt man  $a = x + 10y$  und  $\bar{a} = \xi x + y$ , so folgt aus  $n \mid a$  und  $n \mid \bar{a}$ , daß  $n$  auch jede Linearkombination von  $a$  und  $\bar{a}$  teilt:  $n \mid Aa + B\bar{a}; A, B \in \mathbb{Z}$ .

Wegen  $Aa + B\bar{a} = (A + B\xi)x + (10A + B)y$  genügt es,  $A$  und  $B$  so zu wählen, daß  $n \mid 10A + B$ . Daraus folgt  $n \mid A + B\xi$ , woraus sich  $\xi$  berechnen läßt.

(1)  $n = 10m + 1: A = m, B = 1; m + \xi = 10m + 1 \Rightarrow \xi = 9m + 1 \equiv -m \pmod{n}$

(2)  $n = 10m + 3: A = m, B = 3; m + 3\xi = 10m + 3 \Rightarrow \xi = 3m + 1 \equiv -7m - 2 \pmod{n}$

(3)  $n = 10m + 7: A = m, B = 7; m + 7\xi = 5(10m + 7) \Rightarrow \xi = 7m + 5 \equiv -3m - 2 \pmod{n}$

(4)  $n = 10m + 9: A = m, B = 9; m + 9\xi = 10m + 9 \Rightarrow \xi = m + 1 \equiv -9m - 8 \pmod{n}$

Der Faktor  $\xi$  läßt sich auch als Funktion von  $n$  darstellen:

$$10\xi = 1 + (-1)^{(e-1)/2} \cdot (10 - e) \cdot n \text{ mit } e = n - 10 \lfloor n/10 \rfloor$$

Dieser Term liefert für die Einerziffer  $e = 1$  oder  $9$  die positiven Werte, für die Einerziffer  $e = 3$  oder  $7$  die negativen Werte der obigen Aufstellung.

b) Aus a) ergibt sich folgende **Teilbarkeitsregel** für eine natürliche Zahl  $n$  mit  $\text{ggT}(10, n) = 1$ :

Bedeutet  $x$  die Einerziffer einer Zahl  $a$  und  $y$  die Zahl, die man durch Streichen der Einerziffer erhält, so ist die Zahl  $a$  genau dann durch  $n$  teilbar, wenn  $y + \xi x$  durch  $n$  teilbar ist. Dabei ist  $\xi$  der folgenden Tabelle zu entnehmen:

$$n = 10m + 1: \xi = -m$$

$$n = 10m + 3: \xi = 3m + 1$$

$$n = 10m + 7: \xi = -(3m + 2)$$

$$n = 10m + 9: \xi = m + 1$$

Bemerkung: Die in der Tabelle angegebenen Terme liefern die absolut kleinsten Werte für  $\xi$ .

#### 6. Lösung (Domkowitzsch):

$$a) n \mid x + 10y \Rightarrow x + 10y = \lambda n \Leftrightarrow (x = -10t + \lambda n) \wedge (y = t) \Rightarrow y + \xi x = t(1 - 10\xi) + \xi \lambda n (\lambda, t \in \mathbb{Z})$$

$\xi$  ist daher so zu wählen, daß  $1 - 10\xi$  durch  $n$  teilbar ist:

n	7	11	13	17	19	23
$1 - 10\xi$	21	11	91	51	171	161
$\xi$	-2	-1	-9	-5	-17	-16

b) Aus  $n \mid y + \xi x$  folgt  $n \mid y + (\xi + \mu n)x$  und auch  $n \mid y - \rho n + (\xi + \mu n)x; \rho, \mu \in \mathbb{Z}$ .

Um die Teilbarkeit einer ganzen Zahl  $a = x + 10y$  durch  $n$  zu untersuchen, subtrahiert man den mit einem geeigneten  $\rho$  gebildeten Term  $\rho n - (\xi + \mu n)x$  vom Bestandteil  $y$  der Zahl  $a$ . Dieses Verfahren wendet man so oft an, bis man eine hinlänglich absolut kleine Differenz erhält, aus der unmittelbar zu erkennen ist, ob sie  $n$  als Teiler besitzt oder nicht. Im ersten Fall ist dann auch  $a$  durch  $n$  teilbar, im letzten Fall nicht.

#### Beispiel:

$$n = 7: a = 5033$$

$$\xi = -2 \quad \begin{array}{r} 5033 \\ -496 \\ \hline 7 \end{array} \quad \rho n - \xi x = 490 - (-2) \cdot 3 = 496$$

$$\Rightarrow 7 \mid 5033$$

#### 7. Lösung (Hofmann):

a) Es wird eine **Verallgemeinerung** der gestellten Aufgabe bewiesen:

Es sei  $n$  eine natürliche Zahl, die weder durch 2 noch durch 5 teilbar ist. Mit ganzen Zahlen  $x, y$  und einer natürlichen Zahl  $h$  gibt es zu jeder Zahl  $x + 10^h y$ , die durch  $n$  teilbar ist, beliebig viele ganze Zahlen  $\xi$ , so daß auch jede Zahl  $y + \xi x$  durch  $n$  teilbar ist. Die Zahlen  $\xi$  sind die Lösungen der Kongruenz  $10^h \xi \equiv 1 \pmod{n}$ .

Beweis: Der Kongruenz  $10^h \xi \equiv 1 \pmod{n}$  entspricht die diophantische Gleichung  $10^h \xi - m \eta = 1$ . Wegen  $\text{ggT}(10^h, n) = 1$  besitzt diese Gleichung unendlich viele Paare ganzer Zahlen  $\xi, \eta$  als Lösungen. Für jedes solche  $\xi$  gilt:

$$(10^h \xi - 1)x \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow 10^h \xi x - x + 10^h y - 10^h y \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow 10^h (y + \xi x) - (x + 10^h y) \equiv 0 \pmod{n} \Rightarrow y + \xi x \equiv 0 \pmod{n} \text{ wegen } x + 10^h y \equiv 0 \pmod{n}.$$

b) Die Teilbarkeit großer Zahlen kann mit Hochzahlen  $h > 1$  durch wiederholtes Anwenden der Beziehung zwischen  $x + 10^h y$  und  $y + \xi x$  untersucht werden.

Um die Teilbarkeit einer größeren Zahl durch 7, 11 oder 13 festzustellen, rechnet man wegen  $7 \cdot 11 \cdot 13 = 1001$  mit  $h = 3$  und  $\xi = -1$ .

#### Beispiel:

$$a = 247 \ 357 \ 937 \ 827$$

$$h=3, \xi=-1: \begin{array}{r} 247357937827 \\ 247357110 \\ \hline 247247 \\ 0 \end{array}$$

$$\Rightarrow 7 \mid a, 11 \mid a, 13 \mid a$$

Um die Teilbarkeit durch 17 zu untersuchen, rechnet man wegen  $353 \cdot 17 = 6001$  mit  $h = 3, \xi = -6$  oder wegen  $2 \cdot 10^6 \equiv 1 \pmod{17}$  mit  $h = 6, \xi = 2$ .

## Buchbesprechungen

**D. Dorninger, W. Müller: Allgemeine Algebra und Anwendungen.** B.-G-Teubner-Verlag, Stuttgart 1984, 324 S., geb. Preis ca. S 300,-  
 Wer sich noch an die vor 50 Jahren üblichen Algebravorlesungen erinnert, erkennt an dem nun vorgestellten Werk die tiefgreifenden Wandlungen in Richtung Strukturanalyse, die seither stattgefunden haben. Das Buch führt den Leser, ergänzt durch zahlreiche, zumeist außerthematische Anwendungen (Ampelschaltungen, Quantenmechanik und -logik, Tresorsicherung, formale Sprachen, chemische Strukturen,

Antizest-Heiratsregeln, Glockenspiele, Kristallgitter, Halsketten, Medizin, Getreide- und Tabakbehandlung, Telefonkabel, Kodierung, Kryptographie, aber auch Zirkel-Lineal-Konstruktionen, Galois-Theorie u. a.) in klarer, nur geringfügig über das AHS-Niveau hinausgehende Kenntnisse benutzender Sprache durch die fundamentalen Denkgebilde der Algebra. Insbesondere findet der Mathematiklehrer jenen allgemeinsten strukturellen Hintergrund und umfassend aufbereitet, mit dem er bekannt sein sollte, um die wenigen im Unterricht auftretenden einfachsten algebraischen Gebilde von einem höheren Standpunkt aus zu sehen.

Natürlich ist die Abfolge laufend neu eingeführter Begriffe und Theoreme außerordentlich dicht, so daß sie sich der Leser aneignen muß, ehe er im Studium weiterstreitet. Es ist aber zu betonen, daß die Darstellungsklarheit ohne Schwankungen bis zum Schluß erhalten bleibt, kurz, daß die letzten Kapitel ebensogut verständlich sind wie die ersten, so man das Vorgehende beherrscht.

Die zahlreich eingestreuten Abbildungen und Tabellen unterstützen die Lektüre ebenso wie die an Hand konkreter Beispiele gegebenen Erläuterungen. Häufig wird vom einzelnen zum Allgemeinen übergegangen. Mit Hilfe der vielen eingestreuten Aufgaben hat der Leser Gelegenheit, sein Verständnis ständig zu überprüfen. Lösungen werden allerdings nicht gegeben.

Vielleicht könnte man das schwerfällige Wort „Hintereinanderausführen von Operationen“ durch den Terminus „Verknüpfen“ ersetzen. Die Erklärung des Idealbegriffes sollte schon vor dessen Verwendung erfolgen. Vorteilhaft wäre auch eine Liste der auftretenden Symbole.

Die beiden Autoren haben die gewaltige Arbeit – und das nicht nur thematisch – zu bewältigen gehabt, die sogar Erhebungen über das „Rote Telefon“ zwischen den Führungsspitzen der USA und der SU umfaßte. Sie läßt sich durchaus auch aus den Titeln der einzelnen Abschnitte erahnen:

- I. Operationen und Relationen.
- II. Verbände und Boolesche Algebren.
- III. Halbgruppen.
- IV. Gruppen.
- V. Ringe und Körper.
- VI. Algebraische Kodierungstheorie und Kryptographie.

Literaturhinweise und Index beschließen das Werk, dem man in jeder Lehrerbibliothek einen vordergründigen Platz wünscht!

Walter Kranzer

**Jahrbuch Überblicke der Mathematik 1984.** Hrsg.: S. D. Chatterji, I. Fenyö, U. Kulisch, D. Laugwitz, R. Riedl. Mathematical Surveys, Bd. 17. B.-I.-Wissenschaftsverlag Mannheim – Wien – Zürich 1984. 275 S., kart., DM 44.–.

Diese Jahrbücher, deren 17. Band wir hiermit vorstellen, geben eine Gesamtüberblicke über neuere Fortschritte der Mathematik. Sie informieren vielmehr einer-

seits über spezielle aktuelle Forschungsgebiete (deren Verständnis ein gerütteltes Maß an einschlägigen Vorkenntnissen erfordert), andererseits bieten sie auch sehr allgemeine, gut verständlich gehaltene Berichte über Forscher, historische Entwicklungen u. ä. deren Lektüre gerade dem AHS-Mathematiker viel Brauchbares für den Unterricht zur Verfügung stellt. Das bereichert das Hintergrundwissen zur Unterrichtsgestaltung.

Die rein mathematisch aufgelegenen Themen der 1984er-Ausgabe lauten:

- „Soliton-Gleichungen“ (am Anfang steht eine gut verständliche Rechnung über die Höhe einer durch Seebeben ausgelösten Flutwelle, die Hawaii überrollen könnte).
- „Siebmethoden in algebraischen Zahlkörpern“.
- „From local to global investigations of linear differential equations of the n-th order“.

„The integral as limit of integral sums“.

„Aus dem mathematischen Werk von Friedrich Bachmann“ (interessant für Abbildungsgeometer, nur minimale Vorkenntnisse nötig).

Von den übrigen (mit Ausnahme des Euklidartikels als Marginalien bezeichneten) Aufsätze seien dem Mathematiklehrer besonders folgende ans Herz gelegt:

„Alfred Tauber – ein österreichischer Mathematiklehrer“ samt „Tauber's theorem – a few historical remarks“ sowie

„Erinnerungen an eine Epoche der Mathematik in München 1930–1960“ (nicht nur amüsant geschrieben, auch interessante Einblicke in das persönliche Räderwerk der Forschung während).

„Ähnliches gilt vom Thema „Felix Klein – a biographical sketch“, das diese bedeutende Persönlichkeit und ihren Einsatz für den naturwissenschaftlichen Unterricht ausführlich beleuchtet.

Die Dokumentation „Euklid durch die Jahrhunderte“ liefert detailliertesten Aufschluß über Euklids Werk und dessen Weitergabe von der Antike bis zur Gegenwart. Dem Lehrer präsentiert sich eine unerhörte reiche Auswahl an für den Unterricht brauchbaren Einzelheiten, die er kaum woanders findet.

„Wie verteilt man die Mandate bei einer Verhältniswahl“ ist eine elementar behandelte Problematik, die sich gut für einen nichttrivialen Beitrag zum Komplex Politische Bildung im Mathematikunterricht eignet.

Die weiteren Marginalien:

- „Fields-Medaillen, Minimalflächen und die Beziehung zwischen Analysis und Geometrie“.
- „Geometrische Topologie, Dynamik und das Werk von W. P. Thurston“ stellen sehr hohe Anforderungen an den Leser. Die Besprechung des als „Buch des Jahres“ bezeichneten Werkes von Dieudonné „Éléments d'Analyse“ verzichtet zwar auf Formeln, setzt aber gute Vertrautheit mit dem mathematischen Umfeld voraus.

Walter Kranzer

# PHYSIK, ASTRONOMIE

Dr. Walter Kranzer

## Die CERN-Physiker Carlo Rubbia und Simon van der Meer erhielten den Physik-Nobelpreis 1984

Die Größe und Bedeutung der Entdeckung der **intermediären Bosonen  $W^{\pm}$ ,  $Z^0$**  im europäischen Kernforschungsinstitut **CERN** wird am deutlichsten dadurch ersichtlich, daß die beiden am maßgeblichsten am Erfolg beteiligten CERN-Forscher **Rubbia** und **van der Meer** schon ca. ein Jahr nach der spektakulären Entdeckung mit dem Nobelpreis für Physik geehrt wurden.

**Carlo Rubbia**, geb. 1934 in Götz (dem heutigen Garica, Italien), gehört seit dem Jahr 1960 dem CERN-Stab an. Er betrieb nachdrücklich den Ausbau des SPS (Super-Protonen-Synchrotron) zur Proton-Antiproton-Kollisionsanlage. Dort leitete er das UA1-Experiment, das den Existenznachweis für die  $W$  und das  $Z$ -Teilchen erbrachte.

Der Holländer **Simon van der Meer** erblickte im Jahre 1956 in Den Haag das Licht der Welt. Seine überragende Leistung bestand in der Erfindung der **stochastischen Kühlung**, die den entscheidenden Schritt zum Aufbau starker Bündel von Antiprotonen in Collider leistete.

## 30 Jahre CERN

Im September 1984 feierte CERN, das berühmte europäische Zentrum zur Erforschung der elementaren Bausteine der Materie, das Fest seines 30jährigen Bestehens. Die Wiss. Nachr. hatten immer wieder Gelegenheit, ihre Leser über die Arbeit und die großartigen Entdeckungen der dortigen Forscher zu unterrichten.

Nachstehend bringen wir einen kleinen Ausschnitt aus der Festansprache von Peter Brook, dem Vertreter der Mitgliedsstaaten, weil darin Antrieb und Faszination der Forscher in einer Weise zum Ausdruck kommen, die wohl für alle in den Natur-

wissenschaften Tätigen und alle an ihnen Interessierten in gleichem Maße gelten. Brook sagte:

„Wenn es mir erlaubt ist, eine hochfliegende Metapher zu gebrauchen, so diese: Wir stehen im Begriff, in Europa eine Kathedrale zu errichten. Kathedralen sind in Planung und Ausführung Jahrhundertwerke. Da kann es manchmal sein, daß wir ganz im Gewühl der Baustelle versinken. In solchen Phasen bedarf es eines tiefen Vertrauens, um den Geist zu erheben und sich die Kathedrale nach der Vollendung vorzustellen. Um dieses Vertrauen zu besitzen, ist es nötig, sich auf das bereits Geleistete zu besinnen, auf die einzelnen Kapellen, welche die Kuppel des Doms überspannen und zu einer großartigen Einheit zusammenfügen wird. CERN ist eine der Kapellen, und ein einziger Blick genügt, nüchtern und sachlich, aber mit aller Freude, der die menschliche Natur fähig ist, zu erkennen, daß CERN der Aufgabe gerecht wird, die ihm gestellt ist.“

## Phasenkonjugierte Reflexion

Hinter dem wissenschaftlich nüchternen Terminus im Titel dieses Beitrages verbirgt sich ein aufsehenerregender Vorgang, der dem ehrwürdigen Reflexionsgesetz kraß zu widersprechen scheint. Handelt es sich doch um eine Art der Spiegelung, die jeden Lichtstrahl, gleich, unter welchem Winkel er den „Spiegel“ trifft, in sich zurückwirft (was normalerweise nur für senkrecht zum Spiegel einfallende Strahlen gilt), wobei allenfalls im Strahlengang befindliche durchsichtige Gegenstände (z. B. Glasflaschen) unsichtbar werden.

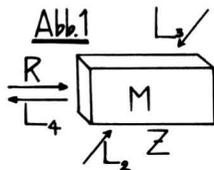
Nun, der in Rede stehende „Spiegel“ ist keine glatte Fläche, sondern eine ziemlich komplizierte Anordnung von Komponenten, bei der die sogenannte **nichtlineare Optik**, der **Laser** und die **Holographie** die maßgebliche Rolle spielen.

Beginnen wir mit der nichtlinearen Optik. Durchquert extrem intensives Licht gewisse durchsichtige Medien – sie können fest, flüssig, gasförmig sein oder ein Plasma bilden –, dann verändert die hohe elektrische Feldstärke der Lichtwelle den Brechungsindex  $n$  des Materials. Das kann u. a. zur Selbstfokussierung des Laserstrahls sowie zur Frequenzverdopplung führen. (Beide Effekte finden schon seit geraumer Zeit in der Laseroptik verbreitete Anwendung.) Das ist unter **nichtlinearer Optik** zu verstehen.

Gewöhnlich herrscht nicht in allen Punkten des Strahlquerschnittes dieselbe Lichtstärke. Daher erfährt der Brechungsindex des durchstrahlten Mediums lokal unterschiedliche Veränderungen, die wie ein Beugungsgitter wirken.

Um ein Hologramm zu erzeugen, zerlegt man zuerst den Laserstrahl L mittels Strahlteilers in zwei Teilstrahlen  $L_1, L_2, L_3$ , beleuchtet den Gegenstand G, von dem das Hologramm hergestellt werden soll.  $L_1$  wird an G reflektiert. Der reflektierte Strahl R (= Objektstrahl) trifft mit dem direkt zum Begegnungsort gelenkten Strahl  $L_2$  (= Referenzstrahl) zusammen. Die Überlagerung von R und  $L_2$  erzeugt das Hologramm als Interferenzmuster.

Findet die Überlagerung von R und  $L_2$  im nichtlinearen Medium M statt, dann bilden die in M infolge der über den Strahlquerschnitt variierenden Werte des Brechungsindex entstandenen optischen Inhomogenitäten das Hologramm H. Durchstrahlt man H mit einem dritten Laserstrahl, dann reproduziert sich das Bild des Gegenstandes G unter Erhaltung der in  $L_2$  bestehenden Phasenbeziehungen. Der Beobachter nimmt G in der bekannten sterischen Form wahr.



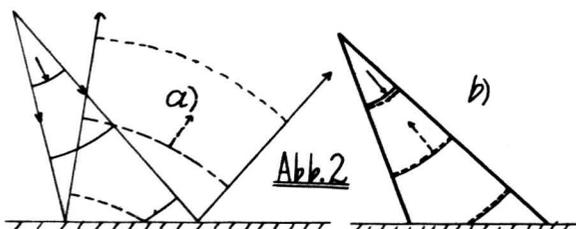
Nach den vorangegangenen kurzen Vorbemerkungen kann an die Beschreibung des Spiegelgerätes S geschritten werden, das in Abb. 1 angedeutet ist. Die Zelle Z enthält das nichtlineare Medium M. Objektstrahl R und Referenzstrahl  $L_2$  erzeugen in M das Hologramm. Der dritte Laserstrahl  $L_3$  (von gleicher Frequenz wie  $L_2$ , aber aus entgegengesetzter Richtung einfallend) durchstrahlt H und verläßt Z als Strahl  $L_4$ , der das sterisch getreue Bild von G entwirft.  $L_2$  und  $L_3$  sind in M ununterscheidbar, also wirken auch  $L_3$  als Referenz- und  $L_2$  als Durchleuchtungsstrahl und tragen zur Bildproduktion bei.

Die Mischung der drei kohärenten Wellen R,  $L_2, L_3$  in M polarisiert M elektrisch, wodurch eine vierte kohärente Welle  $L_4$  entsteht. Richtung und Wellenlänge von  $L_4$  hängen von den Frequenzen  $\omega_r, \omega_2, \omega_3$  bzw. von den relativen Winkeln zwischen R,  $L_2, L_3$  ab.  $L_4$  oszilliert mit der Frequenz  $\omega_4 = \omega_2 + \omega_3 - \omega_r$ . Die Phase von  $L_4$  ist  $\Phi_4 = \Phi_2 + \Phi_3 - \Phi_r$ , der Wellenvektor von  $L_4$  lautet  $\vec{k}_4 = \vec{k}_2 + \vec{k}_3 - \vec{k}_r$  (die Indizes beziehen sich auf  $L_2, L_3, L_r$ ). Wegen  $\omega_2 = \omega_3 = \omega$  hat auch  $L_4$  diese Frequenz. Die gegenlaufenden Wellen  $L_2, L_3$  sind zueinander konjugiert komplex, also gilt  $\Phi_2 = -\Phi_3, k_2 = -k_3$  und  $\Phi_4 = -\Phi_3$ . Daher ist  $L_4$  konjugiert komplex zu  $L_3$ , nämlich  $L_4 = L_3^*$ . M. a. W.:

**Aus dem Gerät tritt ein Strahl  $L_4$ , der in die Richtung fortschreitet, aus der  $L_3$  kommt und dessen Phase zu der von  $L_2$  komplementär ist.**

Die Reflexion von  $L_4$  an S erfolgt somit nicht wie in einem anderen Spiegel (Abb. 2a), sondern wie in Abb. 2b dargestellt. Das Licht läuft genau dorthin zurück, woher es gekommen ist. Damit ist der erste Teil der eingangs aufgestellten Behauptungen bewiesen. Bleibt noch zu klären, wie bzw. ob man ein durchsichtiges, im Strahlengang zwischen G und S befindliches Objekt F (z. B. eine Glasflasche) wahrnimmt.

Die von G (und zwar durch Reflexion des ursprünglichen Teilstrahls  $L_1$  an G) ausgehende Wellenfront erfährt beim Durchgang durch F Phasenverzerrungen, mit denen sie als  $L_1$  in S eintritt.  $L_4$  verläßt S als zu  $L_1$  konjugierte Welle, d. h. also, als ob ein Film, der die Ausbreitung des Strahls  $L_1$  zwischen G und



S in allen Details festgehalten hat, zeitverkehrt laufend gezeigt wird. Die Phasendeformation in F wird völlig aufgehoben, wenn die Welle  $L_4$ , da verkehrt laufend, in F die entgegengesetzten Phasenänderungen erleidet, und zwar in verkehrter Zeitfolge. Dies, da ja auch  $\Phi_4 = -\Phi_3$  gilt. D. h.,  $L_4$  verläßt F in Richtung G mit der ursprünglichen Wellenfront von  $L_1$ . Das Objekt F ist damit völlig aus dem Strahlengang eliminiert, ganz, als ob F überhaupt nicht vorhanden gewesen wäre. Ist das nicht faszinierend?

Das eben Geschilderte hat bereits die (geglückte) Laborerprobung hinter sich, man ist schon zu den ersten technischen Anwendungen übergegangen:

a) Wird das Hologramm von einem Strahl  $L_3$  mit kleinerer Frequenz als der von  $L_2$  „gelesen“, dann wird das Bild von G verkleinert. Das ist z. B. für die Photolithographie von Si-Chips wichtig.

Man erzielte bereits Auflösungen von 500 Linienpaaren pro mm auf einer 0,3 cm<sup>2</sup> großen Fläche.

b) Die Reflexionsstärke (das Albedo) hängt von den Strahlintensitäten und den Eigenschaften des nichtlinearen Mediums M ab. Leistung kann von den Pumpwellen auf  $L_2$  übertragen werden. Anstiege der Reflexivität um 10<sup>4</sup>% wurden schon beobachtet.

c) Mittels Brillouin-Streuung ist auch phasenkonjugierte Reflexion an gasförmigen Stoffen und Plasmen möglich.

e) Die Elimination durchsichtiger Objekte aus dem Strahlengang erlaubt die Korrektur fehlerhafter Linsen, Fenster und anderer optischer Geräte.

f) Wird G mit schwachem Laserlicht angestrahlt und  $L_4$  durch einen Hochleistungsverstärker geschickt, dann sendet der „Spiegel Z“ den Strahl  $L_4$  verstärkt zurück zu G und zerstört u. U. G ohne jegliche Führung von selbst.

Die zur phasenkonjugierten Reflexion erforderlichen Laserleistungen sind sehr unterschiedlich. Sie rangieren zwischen den Größenordnungen  $\mu$ W und MW.

#### LITERATUR:

1. Nature, 8. 3. 1984, S. 110, M. Gower, Mirrors that Reflect Time.
2. J. appl. Physics, Bd. 54, S. 4305 (1983), M. D. Levenson.
3. Ed. Fisher, R. A., Academic, N. Y. 1983, Optical Phase Conjugation.

## Excitonen

Fällt Licht auf die Oberfläche eines Metalls, dann werden Elektronen emittiert, falls die Photonenergie die Ablösungsarbeit überschreitet. Das ist der Photoeffekt. Erfolgt jedoch die Lichtabsorption in Halbleiterkristallen, dann treten andere Vorgänge auf.

Die Quantenzustände von Atomen und Molekülen in verdünnten Gasen offenbaren sich in diskreten Energieniveaus, also in scharfen Emissionslinien. Nur diese Niveaus können von Hüllenelektronen besetzt werden. In Festkörpern, wie Metallen und Halbleitern, sind die Gitterbausteine so dicht gelagert, daß die gegenseitigen Wechselwirkungen die Anzahl der quantenmäßig „erlaubten“ Energieniveaus außerordentlich vermehren, so daß von einem Kontinuum gesprochen werden darf. Die Auflösung in unterscheidbare Spektrallinien, die diesen Zuständen entsprechen, ist ausgeschlossen. Die Niveauanzahl stimmt, grob gesprochen, meist mit der Anzahl der Gitterbausteine in der Probe überein, das sind etwa 10<sup>23</sup> pro mol.

Das Zustandskontinuum verteilt sich auf die sogenannten Energiebänder, die an die Stelle der scharfen Niveaus bei Gasen treten. Sind I, II energetisch benachbarte Bänder

$$I \dots (E_1 \leq E \leq E_2), \quad II \dots (E_3 \leq E \leq E_4), \\ 0 < E_3 - E_2 = \Delta E,$$

dann besetzen Elektronen lediglich die Bereiche I und/oder II. Das Intervall (die Lücke) der Breite  $\Delta E$  zwischen I und II ist für Elektronen unzugänglich. Wie stets in der Natur streben auch Elektronen danach, die niedrigsten zugänglichen Energiezustände anzunehmen. An sich sollten daher die Energiebänder vom untersten an mit Elektronen – soweit ihr Vorrat reicht – besetzt sein. Die Gitterbausteine sind je nach der gerade herrschenden Temperatur in mehr oder weniger heftiger Schwingung begriffen. Dabei können diese in einem voll besetzten Band Energie auf Elektronen nur dann übertragen, wenn der Übertrag größer als die Energielücke  $\Delta E$  ist. Das Elektron befindet sich danach in einem höheren Band. Zurück bleibt eine Leerstelle, die wie ein positives Teilchen wirkt, an dem ursprünglich neutralen Platz ist ja eine negative Ladungseinheit verlorengegangen.

Das auf Band II „gehobene“ Elektron überträgt in Stößen auf die allenfalls vorhandenen übrigen II-Elektronen Energie, bis es einen möglichst niedrigen II-Zustand hat.

In Band I besetzt sofort ein „höheres“ I-Elektron die entstandene Leerstelle. Sie verschwindet also, und dort, wo das besetzte Elektron war, ist eine andere Leerstelle entstanden. M. a. W., das positive Loch rückt energetisch nach oben. Dies setzt sich fort, bis es den oberen Rand von I erreicht hat. Dieser Vorgang beansprucht etwa 1 ns. Die zwischen dem II-Elektron und dem I-Loch herrschende Coulombanziehung bindet beide Objekte aneinander. Das System ist also ebenso wie ein H-Atom aufgebaut mit dem einzigen Unterschied, daß das positive Loch an die Stelle des Protons getreten ist.

Der Unterschied zwischen Metall und Halbleiter besteht im Füllungsgrad des höchsten Bandes. Im Metall ist es nur unvollständig, im Halbleiter vollständig besetzt. Deswegen sind in Metallen mobile Elektronen vorhanden, die sich bei Anlegen einer Spannung in geordnete Bewegung setzen, ein elektrischer Strom fließt im Leiter. Im Halbleiter kann hingegen nur dann gezielte Ladungsbewegung stattfinden, wenn – etwa durch thermische bedingte Stöße – Elektronen ins (vorher unbesetzte) Band gelangt sind. Somit sind Halbleiter bei tiefen Temperaturen (wegen zu schwacher Stöße) Isolatoren, Band II bleibt leer. Band I wird als **Valenzband**, Band II als **Leitungsband** bezeichnet.

Die Bestrahlung eines Halbleiters mit Licht zeitigt dieselbe Wirkung wie thermische Stöße, falls die Photonenenergie  $h \cdot f$  größer als  $\Delta E$  ist. Elektron und Loch werden elektrostatisch aneinander gebunden, es entsteht ein Gebilde, das den Namen **Exciton** erhielt. Wegen seiner geringen Masse ist die Bindungsenergie Elektron–Loch des Excitons um 2 bis 3 Größenordnungen kleiner als die des H-Atoms (13,6 eV) und dementsprechend der Radius um ebensoviel größer. (Der Bohrradius von H beträgt 5 nm, die Distanz benachbarter Gitterbausteine in Kristallen 30 bis 50 nm. Als Beispiel: Bei Ge-Excitonen betragen Bindungsenergie und Radius 4,1 meV bzw. 13 nm. Die geringe Bindungsenergie der Excitonen macht sie gegen thermische Stöße äußerst empfindlich. Will man Excitonen in größerer Anzahl erzeugen, muß die Temperatur des Kristalls auf wenige Dutzend Kelvin gesenkt werden.

Die Analogie zum H-Atom geht weiter. Wie dieses besitzt auch das Exciton diskrete Energieniveaus, ist also anregbar und verfügt über ein diskretes Linien-Spektrum. Polychromatisches Licht, das den durchsichtigen Halbleiterkristall durchsetzt, erfährt in jenen Frequenzen Absorption, die den Anregungsenergien der Excitonen entsprechen, man beobachtet ein Absorptionsspektrum, dessen Linien über die Energieniveaus des Excitons Auskunft geben. Die Serienkante verrät die Bindungsenergie  $E_b$ . (Cu<sub>2</sub>O-Excitonen haben  $E_b = 0,14$  eV, die ersten 9 Linien wurden beobachtet.)

Aus dem Spektrum ist auch die Geschwindigkeitsverteilung der Excitonen abzulesen, falls sie das Leitungsband in größerer Anzahl bevölkern. Ihre Massenmittelpunkte bewegen sich im Kristall mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Der Dopplereffekt verbreitert die Linien, was den Rückschluß auf die Geschwindigkeitsverteilung erlaubt. Kurz, Excitonen verhalten sich wie ein verdünntes Gas, das mit den Gitterionen des Kristalls in thermischem Gleichgewicht steht. Also findet Energieaustausch in Form von Streuung an den schwingenden Gitterionen statt. Die Excitonen führen eine Brownsche Bewegung aus und wandern in deren Verlauf vom beleuchteten Bildungsort an der Kristalloberfläche ins Kristallinnere. Die Entfernung eines Excitons von seinem Geburtsort im Laufe der Brownschen Bewegung ist zu  $\sqrt{t}$  proportional ( $t =$  Zeit). Der Inhalt der Oberfläche A der Excitonenwolke wächst somit linear mit der Zeit ab ihrem Entstehungszeitpunkt:  $A = q \cdot t$ . Der Faktor q heißt **Diffusionskonstante**. Zur Messung von q beleuchtet ein kurzer Laserpuls (ca. 100 ns) einen Punkt der Kristalloberfläche. Die dort erzeugten Excitonen breiten sich als leuchtende Wolke (Rückkehr angeregter Excitonen in den Grundzustand!) ins Kristallinnere aus. Sukzessive Fotos in sehr kurzen Zeitabständen liefern Ausbreitungsdaten, die mit den erwarteten Werten der Theorie gut übereinstimmen. Die Lichtemission ist allerdings so gering, daß der Fotodetektor imstande sein muß, einzelne Photonen zu „sehen“ und abzuzählen.

Eine anschauliche Wiedergabe des Ausbreitungsvorganges der leuchtenden Excitonenwolke ist die Darstellung der Wolke während eines Zeitintervalls (0, t), ausgelöst durch einen erzeugenden Laserblitz, auf dem Bildschirm. Im A-t-Diagramm (A = Fläche des Wolkenquerschnittes, t = Zeit) erkennt man, daß das Eindringen der Wolke in den Kristall wie die Diffusion eines verdünnten Gases abläuft. Die Diffusionskonstante q ist jedoch wegen der kleinen Excitonenmasse erheblich größer.

So beträgt q der Excitonen in Cu<sub>2</sub>O bei 1,2 K ca. 1000 cm<sup>2</sup>/s, hingegen bei N<sub>2</sub> und 273 K nur 0,2 cm<sup>2</sup>/s. Das heißt, die Excitonenwolke dringt sehr rasch vor, sie hat eine große **Mobilität (M)**. Genauso wie sich ein aus großer Höhe frei fallender Stein infolge der Kollisionen mit den Luftmolekülen nach einiger Zeit nicht mehr beschleunigt, sondern mit konstanter Geschwindigkeit (**Driftgeschwindigkeit**) nach unten bewegt, so erlangen auch die an den Gitterbausteinen ständig gestreuten Excitonen alsbald eine konstante Driftgeschwindigkeit  $v_d$ . M ist das Verhältnis  $v_d$  zur beschleunigenden Kraft (auf die noch näher einzugehen ist). In sehr reinen, auf 1,5 K abgekühlten Kristallen haben Excitonen  $v_d = 100$  bis 1000 m/s, was M-Werten von 10<sup>6</sup> bis 10<sup>7</sup> cm<sup>2</sup>/V · s<sup>-1</sup> entspricht.

Excitonen sind elektrisch neutral, also gegen elektrische Felder unempfindlich. Es ist trotzdem möglich, auf Excitonen Kräfte auszuüben. Dazu genügt es, mit dem abgerundeten Ende einer Stange auf eine polierte Kristalloberfläche zu drücken. Das setzt die Breite  $\Delta E$  der Energielücke zwischen Valenz- und Leitungsband herab (am stärksten einige Zehntelmillimeter unter dem Druckpunkt), und die Excitonen setzen sich dorthin in Bewegung, weil sie dadurch potentielle Energie abgeben. Si-Kristalle halten sogar Drücken von der Größenordnung 10<sup>4</sup> bis 10<sup>5</sup> bar (d. s. 10<sup>3</sup> bis 10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>) stand. (Leitungselektronen driften in Cu-Draht bei der Stromdichte 1 A/mm<sup>2</sup> höchstens mit 0,1 mm/s dahin. Erst bei unrealisierbaren Stromdichten von 10<sup>7</sup> A/mm<sup>2</sup> würden sie mit 1 km/s driften!) In Cu<sub>2</sub>O von 1,5 K beträgt die mittlere freie Weglänge der Excitonen 0,03 mm, sie ist, verglichen mit Gasmolekülen, außerordentlich groß.

H-Atome sind elektrische Dipole. Deshalb ziehen zwei H-Atome einander an und bilden das H<sub>2</sub>-Molekül. Genau dasselbe gilt für Excitonen, je zwei können eine schwache, aber dennoch ausreichend kräftige Bindung eingehen. Man nennt solche Excitonenmoleküle **Biexcitonen**. Sie sind in Si, Ge, CuCl, CdS nachgewiesen worden. Man erkennt sie an einer bei einzelnen Excitonen nicht beobachtbaren Spektrallinie, die sie beim Zerfall in Einzelexcitonen emittieren.

Man hat auch die Frage aufgeworfen, ob Excitonen nicht auch eine Art flüssige oder feste Phase annehmen können. Vorläufig konnte man derartiges nicht feststellen. Wohl aber wurde eine Phase entdeckt, die als Excitonenkondensat aufzufassen ist. Es wird angenommen, daß das Kondensat schon bei 100 K erscheint, falls die Excitondichte 10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> beträgt. Man darf sicher sein, daß im Laufe der Zeit noch andere interessante Eigenschaften der Excitonen bemerkt und auch für Anwendungszwecke genutzt werden.

#### LITERATUR:

Scient. Am., März 1984, S. 70, J. P. Wolfe, A. Mysyrowicz, Excitonic Matter.

## Myoneneinsatz im Tiefbau

Wenn gelegentlich Presseerzeugnisse von den gewaltigen Ausgaben für die großen Forschungsanlagen der Hochenergiephysik (CERN, DESY, DUBNA, FERMI-Lab . . .) berichten, dann erhebt sich die Frage, ob dies denn auch praktischen Nutzen für die Menschen bringe, die mit einem Teil ihres Arbeitsertrages dafür aufkommen. Die Frage ist nicht aus dem Handgelenk zu beantworten. Der (richtige!) Hinweis, bis jetzt habe die Grundlagenforschung noch immer reiche – nicht vorhersehbare – praktische Früchte getragen, erscheint dem Laien zu vage, um für ihn überzeugend zu sein. Deshalb ist es besonders für die Physiklehrer wichtig, über nützliche praktische Anwendungen von Forschungsergebnissen unterrichtet zu werden, damit er dieses Wissen an seine Schüler weitergeben kann.

Im medizinischen Bereich können Protonen-Tomographie sowie die Zerstörung von Krebszellen bei Bestrahlung mit instabilen „exotischen“ Partikeln (z. B. Pionen) unter weitgehender (sonst fehlender) Schonung des gesunden Gewebes angeführt werden. Daß aber auch das Bauwesen aus den Eigenschaften der Myonen Nutzen zu ziehen vermag, ist eine ebenso überraschende wie schlagkräftige Antwort auf die Nutzenfrage.

Myonen haben schon vor ca. 20 Jahren für Aufsehen gesorgt. Damals ging ein ägyptisch-amerikanisches Team auf Betreiben des auch ägyptologisch interessierten Physik-Nobelpreisträgers **Alvarez** daran, mit Hilfe von Myonen die Große Pyramide auf noch unbekannte, etwa vorhandene Grabkammern zu untersuchen. Das Unternehmen wurde zunächst durch den 6-Tage-Krieg zwischen Ägypten und Israel unterbrochen, doch danach wieder aufgenommen. Verborgene Grabkammern fand man jedoch nicht. (S. Wiss. Nachr., Nr. 15, Sept. 1964, S. 40, Myonen in der Archäologie – das Pyramidenexperiment; Nr. 23, April 1970, S. 41, Bericht über das Pyramidenexperiment.)

Die aus dem Weltraum mit großer Gleichmäßigkeit (Schwankungen unter 1%) einfallenden Partikeln erzeugen in der Hochatmosphäre Pionen, die praktisch sofort wieder zerfallen. Zerfallsprodukte sind u. a. Myonen, die auf die Erde „herabregnen“ und kilometertief in die Erdkruste eindringen, wobei ihre Flußdichte infolge Streuung und Absorption exponentiell abnimmt. Detektoren (Myonen-Teleskope), die beispielsweise in einem Bergwerkstollen sowie auf der darüberliegenden Erdoberfläche postiert sind, registrieren unterschiedliche Einfallsraten der Myonen und ermöglichen so die Berechnung der über dem tiefer postierten Detektor befindlichen Masse. Die chemische Zusammensetzung des Krustenmaterials ist belanglos, nur die Anzahl der darin vorhandenen Nukleonen ist maßgeblich für Streuung und Absorption der Myonen.

Doch nun zum Titelthema selbst. Zur Bewältigung des beängstigend angestiegenen Verkehrs in den Großstädten wurden und werden ausgedehnte U-Bahn-Netze angelegt. Die unterirdischen Streckenabschnitte müssen manchmal unter sehr großen Bauten verlaufen, deren Masse beträchtlichen Druck auf die Unterlage ausübt. Um die Tunnelröhre gegen diese Belastung und deren Folgen abzusichern, ist die Kenntnis der Massenverteilung oberhalb der kritischen Streckenteile unerlässlich. Nun sind aber Bauwerke materialmäßig ziemlich heterogen, so daß das Druckprofil nicht genau genug abgeschätzt werden kann, um die Tunnelröhre richtig zu dimensionieren. Entweder man baut unter der Annahme der im Extremfall zu erwartenden Belastung (also zu kostspielig) oder man riskiert die Gefahren einer zu wenig widerstandsfähigen Ausführung.

In der Sowjetunion sind Myonenteleskope schon verschiedentlich mit gutem Erfolg zum bautechnischen Einsatz gekommen, und zwar:

a) Das große Radioteleskop RATAN-600 im Kaukasus (600 m Spiegeldurchmesser) befindet sich in 2100 m Seehöhe. Es steht auf einem Untergrund, der sich aus Felsen, Sand, Kies und Lehm in völlig unregelmäßiger Anordnung zusammensetzt. Außerdem verläuft der Grundwasserspiegel in geringer Tiefe unter der Oberfläche. Um brauchbare Daten für die Baustatiker der gewichtigen Radioanlage zu gewinnen, wurden, da andere Methoden nicht zielführend waren, 20 Schächte bis zu 10 m tief in den Boden getrieben und in kurzen Seitenstollen je ein Myonenteleskop aufgestellt. Aus dem so ermittelten geologischen Profil des Untergrundes ergaben sich alle für die Ingenieure relevanten Parameterwerte.

b) In Moskau verläuft eine Tunnelröhre der U-Bahn unter dem sehr massiven Moskwa-Hotel. Auch in diesem Falle stellte man mittels Myonenteleskops die Hotelmasse von fast 45 000 Tonnen fest. Sie übt 1,1 bar Druck aus.

c) In Bergmassiven bilden sich Hohlräume, wenn wasserlösliche Gesteinskomponenten ausgelaugt werden. Der Myonendetektor verrät die Hohlräume durch die Anzeige einer gegenüber der Umgebung höheren Flußdichte. Im Nordkaukasus entdeckte man auf diese Weise noch rechtzeitig einen gefährlichen Rutschhang am Gesteinsrand und konnte das drohende Unglück durch geeignete Maßnahmen verhindern.

d) Minerallager werden von Myonendetektoren hinsichtlich Mächtigkeit und Umfang geortet, falls die Materialdichte anders als in der Einbettungsmatrix ist. I. a. liegt die Dichte wirtschaftlich oder technisch nutzbarer Mineralien über der des umgebenden Gesteins.

e) Das **Kharam-Koul-Institut** für Angewandte Geophysik in Tadschikistan beschäftigt sich intensiv mit Lawinenkunde. Die „Myonendurchleuchtung“ wird dort herangezogen, um den Wassergehalt verdächtiger Schneedecken zu bestimmen. Die Experimente erwiesen das Verfahren als zuverlässig, obwohl Schnee nur eine geringe Dichte besitzt.

#### LITERATUR:

CERN Courier, Juni 1984, S. 197, Putting Cosmic Rays to Work.

## Aminosäuren überbrücken Datierungslücke

Die **Radiokarbon-** oder auch **C-14-Methode** zur Datierung ist ein ausgezeichnetes, vielbenutztes Mittel, um zu erfahren, vor welcher Zeit der Organismus, dessen Reste man untersucht, gelebt hat. Unter den ca. 30 derzeit bekannten absoluten Datierungsverfahren erfaßt die C-14-Methode den Zeitraum, der bestenfalls bis zu 70 000 Jahre zurückreicht. (Die Halbwertszeit des Kohlenstoffisotops  $^{14}\text{C}$  beträgt  $5730 \pm 40$  Jahre.) Die **Kalium-Argon-Methode** – sie beruht auf dem radioaktiven Übergang  $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$  – arbeitet erst verlässlich, wenn die Probe mindestens 100 000 Jahre alt ist. (Das C-14-Verfahren ist nur auf C-haltige Überreste von Organismen, das K-Ar-Verfahren nur auf mineralische Stoffe anwendbar.) Somit besteht eine Datierungslücke von gut 30 000 Jahren, die Geologen, Biologen, Archäologen u. a. schmerzlich empfinden. Leider helfen auch die übrigen Datierungsmethoden nicht darüber hinweg. Das hat sich nun geändert, weil neuere Forschungen die Brauchbarkeit gewisser **Aminosäuren** für Altersbestimmungen erwiesen haben.

Aminosäuren sind gegen Zerstörung ziemlich widerstandsfähig. (P. H. Abelson hat z. B. im Jahre 1954 bei der Analyse rd. 350 Mio. Jahre alter Trilobiten intakte Aminosäuren angetroffen.) Mit ihnen ist der Zeitraum von einigen 100 bis zu 120 000 Jahren zu erfassen, der glücklicherweise die oben erwähnte Datierungslücke umschließt. Mit der Aminosäure **Isoleucin** können sogar 20 000 bis 1,2 Mio. Jahre alte Fossilien zeitlich eingeordnet werden.

Die Aminosäure-Datierung stützt sich auf das Erzeugen von Protein aus linksdrehenden Aminosäuren. Aus dem Verhältnis der Anteile rechtsdrehender zu denen linksdrehender Konfigurationen ergibt sich das Alter der Probe. Die geringe Epimerisierungsgeschwindigkeit erlaubt, tief in die Vergangenheit zurückzugehen. Das Verfahren wurde zuerst im Jahre 1972 von **J. L. Bada, R. Protsch und R. A. Schroeder** angewendet.

Die Umwandlungsgeschwindigkeit der Konfigurationen hängt von der jeweils herrschenden Temperatur ab, weshalb die thermische Geschichte des Fossils bekannt sein muß, um verlässliche Aussagen zu erhalten. Der Vergleich mit allfällig vorliegenden Radiokarbon-Daten kann deshalb für die Kontrolle nützlich sein.

Das Kollagen der Wirbeltierknochen, das Kreatin des Haares, das Dentin der Zähne und das Conchiolin von Muscheln bilden wichtige Untersuchungsbasen. Erfreulicherweise findet die Analyse mit nur wenigen Milligramm des Materials das Auslangen.

#### LITERATUR:

Umschau i. W. u. T., 20. 1. 1984, S. 46, U. Zänge-Kumpf, R. Protsch, Aminosäure Datierung.

Johann Frantschi, HTBL Pinkafeld

## Relativistische Kinematik ohne höhere Mathematik

### 1. Einleitung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine anschauliche Einführung in die Kinematik der Speziellen Relativitätstheorie zu geben. Den Ausgangspunkt bildet dabei, wie auch in Einsteins Originalarbeit, die Relativität der Gleichzeitigkeit (Kap. 2). Daran werden dann Längenkontraktion (Kap. 3) und Zeitdilatation (Kap. 4) hergeleitet [1]. Die Anwendung dieser Ergebnisse wird schließlich in einem abschließenden Kapitel über das Geschwindigkeitsadditionstheorem (Kap. 5) u. a. in einem numerischen Beispiel illustriert [2].

Die hier gewählte Vorgangsweise soll vor allem dem Anfänger Einsicht in die zu den besprochenen Erscheinungen führenden physikal. Vorgänge vermitteln. Dazu wurde der mathematische Aufwand auf ein Maß beschränkt, das einem Schüler vor der Matura durchaus zugemutet werden kann. Daher könnten die folgenden Überlegungen auch als Grundlage für die Behandlung der Speziellen Relativitätstheorie in einer Höheren Schule dienen.

## 2. Die Relativität der Gleichzeitigkeit

Nach Einstein sind zwei Ereignisse gleichzeitig, wenn von ihnen ausgehende Lichtsignale einen in der Mitte zwischen ihnen befindlichen Beobachter zugleich erreichen. Diese Definition ist plausibel und hat weitreichende Konsequenzen [3].

Wir wollen in diesem Kapitel nun folgende Frage beantworten: Wenn zwei Ereignisse in einem Inertialsystem A gleichzeitig sind, sind sie es dann auch in einem Inertialsystem B, das sich relativ zu A mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt? Wenn nicht, welches Ereignis ist früher und um wie vieles?

Zur Beantwortung dieser Fragen betrachten wir ein Beispiel, das schon vor Einstein besprochen wurde: Ein Zug bewege sich mit der Geschwindigkeit  $v$  relativ zum Bahndamm und werde an beiden Enden von einem Blitz getroffen, der sowohl am Zug als auch am Bahndamm seine Spuren hinterläßt. Zug und Bahndamm seien Inertialsysteme, und wir nehmen an, die Blitzschläge erfolgen in dem Augenblick, da sich je ein Beobachter im Zug und am Bahndamm genau in der Mitte zwischen den Einschlägen befindet (Abb. 1a).

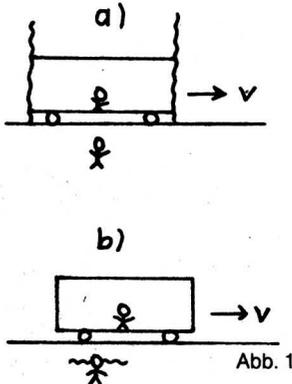


Abb. 1

Der Beobachter am Bahndamm stellt folgendes fest: Für ihn sind die Blitzschläge gleichzeitig, weil die entsprechenden Lichtsignale gleichzeitig bei ihm eintreffen. Zu diesem Zeitpunkt (Abb. 1b) hat der Lichtstrahl vom vorderen Ende des Zuges den Beobachter im Zug, der sich ja mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt, bereits passiert, während der Lichtstrahl vom hinteren Ende ihn noch nicht erreicht hat. Für ihn passiert der Blitzschlag am vorderen Ende also früher als am hinteren Ende.

Zur mathematischen Beschreibung der Situation nehmen wir der Einfachheit halber an, die Blitzschläge seien gleichzeitig für den Beobachter A im Zug und beschreiben die Situation vom Standpunkt des Beobachters B am Bahndamm (Abb. 2), für den der Blitzschlag an der Hinterseite zuerst, und zwar zur Zeit  $t_0$ , stattfindet (Abb. 2a). Etwas später, zur Zeit  $t_1$ , erfolgt dann der Blitzschlag an der Vorderseite des Waggons (Abb. 2b), und zur Zeit  $t_2$  erreichen die Lichtsignale der beiden Blitzschläge schließlich den Beobachter A (Abb. 2c).

Ist im System des Bahndamms die Länge des Waggons  $2d$ , so gilt für das erste Lichtsignal nach Abb. 2c:

$$c(t_2 - t_0) = d + v(t_2 - t_0) \quad (2.1)$$

Für das zweite Lichtsignal gilt:

$$c(t_2 - t_1) = d - v(t_2 - t_1) \quad (2.2)$$

Eliminiert man  $t_2$  aus (2.1) und (2.2), erhält man für den zeitlichen Abstand der Blitzschläge im System des Bahndamms

$$t_1 - t_0 = \frac{2dv}{c^2 - v^2} \quad (2.3)$$

Nun soll noch die Waggonlänge  $2d$  im System des Bahndamms ausgedrückt werden durch den räumlichen Abstand  $s$  der Blitzschläge im System des Bahndamms, für welchen nach Abb. 2b gilt:

$$s = 2d + v(t_1 - t_0) \quad (2.4)$$

Elimination von  $2d$  aus (2.3) und (2.4) ergibt mit  $t_1 - t_0 = \Delta t$

$$\Delta t = \frac{sv}{c^2} \quad (2.5)$$

(2.5) enthält nun die Antwort auf die anfangs gestellte Frage: Im System A gleichzeitige Ereignisse sind im System B nicht gleichzeitig; das in Bewegungsrichtung von B weiter vorne liegende Ereignis ist in B um die Zeitspanne  $\frac{v}{c^2} \times$  (räuml. Abstand der Ereignisse in B) früher.

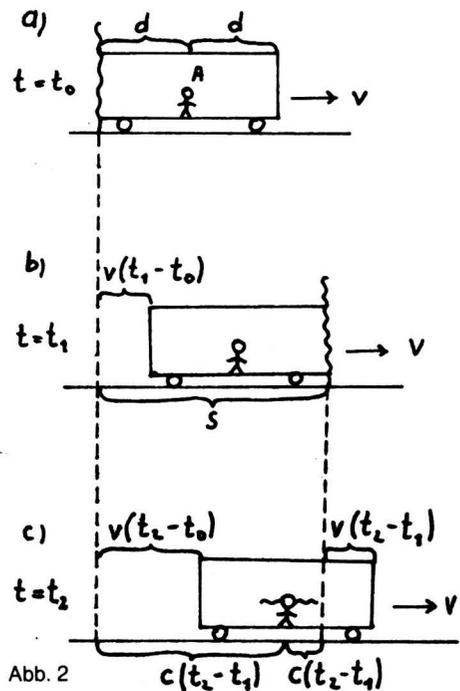


Abb. 2

## 3. Die Längenkontraktion

Mit Hilfe der im vorigen Kapitel gewonnenen Ergebnisse soll zunächst qualitativ gezeigt werden, wie es zur Längenkontraktion bewegter Gegenstände kommt.

Dazu betrachten wir wieder den Zug von vorher und nehmen an, der Beobachter B am Bahndamm möchte die Länge eines Waggons messen. Dies wird er vernünftigerweise so machen, daß er die beiden Enden des Waggons etwa durch für ihn gleichzeitige Blitzschläge am Boden markiert und den Abstand der Marken mißt. Der Beobachter A im Zug wird dabei jedoch einwenden, daß die beiden Enden nicht gleichzeitig markiert wurden, sondern das hintere Ende später als das vordere, weil ihn die entsprechenden Lichtsignale in dieser Reihenfolge erreichen. Daher würde nach Beobachter A aus dem Zug der Beobachter B am Bahndamm einen zu kleinen Wert für die Länge des Waggons bekommen.

Zur quantitativen Formulierung dieser Überlegungen führen wir folgende drei Längen ein:

- $l_0$  Ruhelänge des Waggons, gemessen vom Waggon aus
- $l$  Länge des Waggons, gemessen vom Bahndamm aus
- $l'$  Abstand der von B zur Messung von  $l$  verwendeten Markierungen am Bahndamm, vom Zug aus beurteilt; m. a. W.  $l'$  ist die vom Zug aus gemessene Länge eines Objekts mit der Ruhelänge  $l$ .

Man beachte, daß  $l'$  und  $l_0$  vom Zug aus gemessene Längen sind, die voneinander verschieden sind, weil die Markierungen am Boden gleichzeitig im System des Bahndamms und nicht des Zuges gemacht werden.

Auf Grund unserer qualitativen Überlegungen ist es plausibel, anzunehmen, daß kontrahierte Länge und zugehörige Ruhelänge zueinander proportional sind und der Proportionalitätsfaktor  $\alpha(v)$ , der ein Maß für die Verkürzung ist, nur vom Betrag der Geschwindigkeit abhängt.

Dies führt zum Ansatz

$$l = \alpha l_0 \quad \text{und} \quad l' = \alpha l \quad (3.1)$$

Daraus folgt eine Beziehung zwischen den vom Zug aus gemessenen Längen  $l_0$  und  $l'$

$$l' = \alpha^2 l_0 \quad (3.2)$$

Im Grunde bezieht der Ansatz (3.1) seine Rechtfertigung erst im nachhinein aus der Übereinstimmung der daraus abgeleiteten Ergebnisse mit dem Experiment.

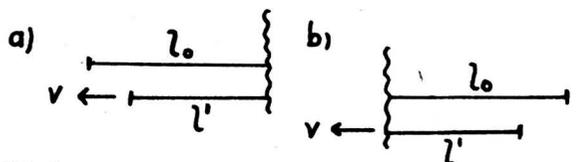


Abb. 3

Aus Abb. 3 erkennt man die Beziehung  $l_0 = l' + v\Delta t$ , wobei  $\Delta t$  das im Zug gemessene Zeitintervall zwischen den Blitzschlägen ist. Aus (2.5) ergibt sich mit  $s = l_0$  dafür  $\Delta t = l_0 v/c^2$  und in die letzte Gleichung eingesetzt erhält man  $l_0 = l' + l_0 v^2/c^2$  oder

$$l' = l_0 \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (3.3)$$

Durch Vergleich mit (3.2) findet man  $a = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ . Setzt man das in (3.1) ein, erhält man schließlich das bekannte Resultat

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (3.4)$$

#### 4. Die Zeitdilatation

Analog zur Längenkontraktion läßt sich auch die Zeitdilatation mit Hilfe der Relativität der Gleichzeitigkeit verstehen.

Wir nehmen an, ein Beobachter am Bahndamm möchte feststellen, ob eine im Zug mitbewegte Uhr gleich schnell geht wie seine eigene. Dazu wird er die bewegte Uhr an zwei im System des Bahndamms ruhenden und synchronisierten Uhren vorbeiführen und vergleichen. Ein Beobachter im Zug würde jedoch einwenden, daß die beiden Uhren am Bahndamm nicht synchronisiert sind, sondern daß nach Kap. 2 die Uhr, mit der er zuerst zusammentrifft, gegenüber der anderen nachgeht. Daher kommt er zum Schluß, daß der Beobachter am Bahndamm ein zu langes Zeitintervall zwischen dem Zusammentreffen seiner Uhr mit den beiden Uhren am Bahndamm mißt. Dies bedeutet umgekehrt, daß die Uhr im Zug langsamer geht als die Uhren am Bahndamm.

Zur mathematischen Formulierung dieser Überlegung führen wir folgende Bezeichnungen ein:

- X im Zug mitbewegte Uhr
- Y Uhr am Bahndamm, mit der X zuerst zusammentrifft
- Z zweite Bahndammuhr, mit Y synchronisiert

Ferner sei  $T_0$  die Zeit, die auf der Uhr X im Zug vergeht, während sie sich von Y zu Z bewegt. T sei die entsprechende, im System des Bahndamms auf Y bzw. Z abgelesene Zeit. Während also im System des Bahndamms die Zeit T vergeht, vergeht im Zug die Zeit  $T_0$ . Schließlich sei  $T'$  die auf X verstrichene Zeit, während auf Y bzw. Z die Zeit T vergeht.

Analog zu den verstrichenen Zeiten in verschiedenen Inertialsystemen an.

Wobei wieder  $b = b(v)$ . Daraus folgt für die im Zug gemessenen Zeiten  $T'$  und  $T_0$

$$T' = b^2 T_0 \quad (4.2)$$

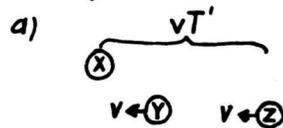


Abb. 4.1

Wir betrachten nun näher das im Zug gemessene Zeitintervall  $T'$ :

Wenn die Uhren X und Y zusammentreffen, beginnt auf X das Zeitintervall T (Abb. 4.1b). Auf Grund unserer Überlegungen aus Kap. 2 zeigt, vom Zug aus beurteilt, Z den Beginn des Zeitintervalls T um  $(vT') v/c^2 = T' v^2/c^2$  früher an als Y ( $vT'$  ist der anfängliche Abstand zwischen X und Z und spielt die Rolle von s in (2.5). Daher beginnt das Zeitintervall  $T'$  etwa in einer in Abb. 4.1a dargestellten Konfiguration. Wenn schließlich die Uhren X und Z zusammentreffen, enden die Zeitintervalle  $T_0$ , T und  $T'$  (Abb. 4.1c). Da auf der Uhr X zwischen Abb. 4.1a und b die Zeit  $T' v^2/c^2$  und zwischen Abb. 4.1b und c die Zeit  $T_0$  vergeht, folgt  $T' = T_0 + T' v^2/c^2$  oder

$$T' = \frac{T_0}{1 - v^2/c^2} \quad (4.3)$$

Durch Vergleich zwischen (4.2) und (4.3) erhalten wir  $b = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$  und damit aus (4.1) das bekannte Resultat

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (4.4)$$

Das Relativitätsprinzip verlangt nun etwas scheinbar Widersprüchliches: Wenn für einen Beobachter B die Uhr eines bewegten Beobachters B' langsamer geht als die eigene, so muß auch für B' die Uhr von B langsamer gehen als die eigene. Daß dies möglich ist, soll an einem Beispiel demonstriert werden [4].

Wir betrachten zwei Reihen von Uhren A, B, C... bzw. A', B', C'..., die jeweils untereinander synchronisiert sind. Ein Beobachter, relativ zu dem sich die beiden Uhrenreihen mit gleichen Geschwindigkeiten in entgegengesetzte Richtungen bewegen, macht in etwa Sekundenabständen einige Momentaufnahmen von den Uhren (Abb. 4.2). Wegen der Relativität der Gleichzeitigkeit (Kap. 2) werden die Uhren verschiedene Zeiten anzeigen.

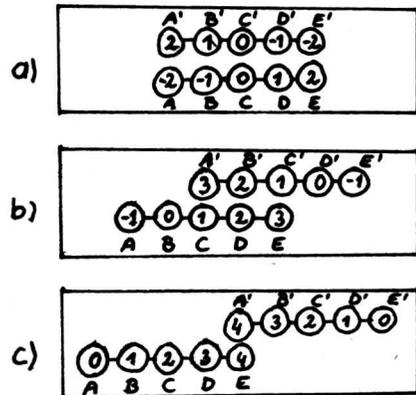


Abb. 4.2

Vergleichen kann man nun nur Uhren, die am selben Ort sind, d. h. die einander in Abb. 4.2 gegenüberstehen. Man erkennt, daß etwa Uhr A' 4 Sekunden gegenüber A (Abb. 4.2a), nur mehr 2 Sekunden gegenüber C (Abb. 4.2b) vorgeht und schließlich gleiche Anzeige wie E in Abb. 4.2c hat, d. h. A' geht langsamer als die Uhren im anderen System. Ebenso bleibt die Uhr E bei aufeinanderfolgenden Vergleichen mit E', C' und A' gegenüber diesen untereinander synchronisierten Uhren des anderen Bezugssystems hinten.

#### 5. Das Geschwindigkeitsadditionstheorem

Eine Frage, die aus dem Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für den Anfänger sofort erwächst, ist: Wie sind denn nun Geschwindigkeiten zu addieren, wenn das Ergebnis in keinem Fall größer als die Lichtgeschwindigkeit sein darf? Die Antwort darauf gibt das Geschwindigkeitstheorem, das in diesem Kapitel abgeleitet werden soll. Die Ableitung stellt zugleich eine Anwendung der Ergebnisse der vorigen Kapitel dar und soll zunächst an einem numerischen Beispiel durchgeführt werden, aus dem dann leicht die allgemeine Formel gewonnen werden kann [2].

Wir betrachten wieder einen Waggon der Ruhelänge  $l_0 = 24$  m, der sich relativ zum Bahndamm mit der Geschwindigkeit  $v = 8$  m/s bewegt. Im Waggon bewegt sich ein Teilchen mit der Geschwindigkeit  $u = 6$  m/s (relativ zum Waggon) von hinten nach vorne (Abb. 5.1). Die Lichtgeschwindigkeit nehmen wir mit  $c = 10$  m/s an.

Wir wollen die Geschwindigkeit des Teilchens relativ zum Bahndamm berechnen. Dazu müssen wir den vom Teilchen zurückgelegten Weg durch die benötigte Zeit dividieren, beides gemessen im System des Bahndamms.

Im System des Waggons gilt folgendes: Da die Länge des Waggons 24 m beträgt, dauert die Bewegung des Teilchens 4 s. Am Beginn der Bewegung werden von den Enden des Waggons gleichzeitig zwei Lichtsignale A und B ausgesandt, welche die Uhren 1 und 2 treffen (Abb. 5.1a). Am Ende der Bewegung treffen die Lichtsignale C und D auf die Uhren 3 und 4 (Abb. 5.1b). Da sich die Uhren relativ zum Waggon mit 8 m/s bewegen, errechnet man für den Abstand zwischen Uhr 1 und 3 32 m und zwischen Uhr 1 und 4 56 m.

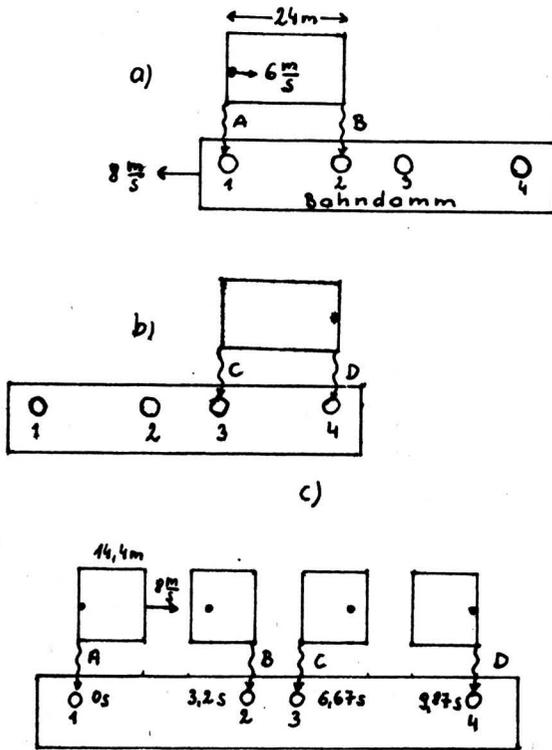


Abb. 5.1a, b, c

Für einen Beobachter am Bahndamm beträgt der Abstand zwischen den Uhren 1 und 4 jedoch  $56 \text{ m} / (1 - 0,8^2)^{1/2} = 93,33 \text{ m}$ . Auf analoge Weise erhält er  $40 \text{ m}$  für den Abstand zwischen den Uhren 1 und 2, während die Länge des Waggons  $24 \text{ m} \times (1 - 0,8^2)^{1/2} = 14,4 \text{ m}$  beträgt. Die Signale A und B können daher im System des Bahndamms nicht gleichzeitig abgegeben werden, sondern B wird  $3,2 \text{ s}$  nach A abgegeben: Wenn nämlich Signal A abgegeben wird, beginnen alle Uhren, die im System des Bahndamms synchronisiert sind, mit der Anzeige 0 zu laufen und das rechte Ende des Waggons ist  $25,6 \text{ m}$  von Uhr 2 entfernt. Für diese Strecke benötigt der Waggon  $3,2 \text{ s}$ , was Uhr 2 beim Eintreffen von Signal B anzeigt. Als nächstes bestimmen wir die Anzeige von Uhr 3, wenn Signal C eintrifft: Im System des Bahndamms war Signal C  $4 \text{ s}$  später als A. Daher ist im System des Bahndamms Signal C  $4 \text{ s} / (1 - 0,8^2)^{1/2} = 6,67 \text{ s}$  später als A, und dies ist auch die Anzeige von Uhr 3, wenn C eintrifft. Wiederum  $3,2 \text{ s}$  später, d. h., wenn Uhr 4 die Zeit  $9,87 \text{ s}$  anzeigt, empfängt diese Signal D.

Im System des Bahndamms benötigt das Teilchen also  $9,87 \text{ s}$  für  $93,33 \text{ m}$ . Daher beträgt in diesem System seine Geschwindigkeit  $9,46 \text{ m/s}$ .

Die hinter diesem Ergebnis steckende allgemeine Formel erhält man, indem man für die numerischen Werte gemäß folgender Tabelle einsetzt:

$l_0$	24 m
$v$	8 m/s
$u$	6 m/s
$c$	10 m/s
$\gamma$	$1/(1 - 0,8^2)^{1/2} = 1,67$
$l_0/u$	4 s
$vl_0/u$	32 m
$(vl_0/u) + l_0$	56 m
$\gamma l_0(1 + v/u)$	93,33 m
$\gamma l_0$	40 m
$l_0 \gamma$	14,4 m
$(\gamma l_0 - l_0 \gamma)/v$	3,2 s
$\gamma l_0/u$	6,67 s
$(\gamma l_0 - l_0 \gamma)v + \gamma l_0/u$	9,87 s
$= \gamma l_0(v/c^2 + 1/u)$	

Man erhält

$$w = \frac{\gamma l_0(1 + v/u)}{\gamma l_0(v/c^2 + 1/u)} = \frac{u + v}{1 + uv/c^2}$$

Dasselbe Ergebnis erhält man [5], wenn man im fahrenden Waggon (Geschwindigkeit  $v$ ) gleichzeitig ein Lichtsignal (Geschw.  $c$ ) und ein massives Teilchen (Geschw.  $w$ ) an der Rück-

wand startet (Fig. 5.2a). Da alle Geschwindigkeiten vom Bahndamm aus gemessen werden, ist  $v < w < c$ .  $T_1$  Sekunden nach dem Start wird das Lichtsignal an der Vorderwand reflektiert (Fig. 5.2c). Der in der Zeit  $T_2$  zurückgelegte Weg betrage den Bruchteil  $f$  der Waggonlänge<sup>1</sup>.

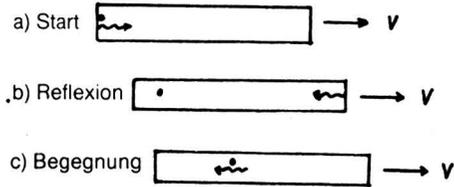


Abb. 5.2

Durch Vergleich der vom Teilchen bzw. Lichtsignal zurückgelegten Wege erhält man

$$w(T_1 + T_2) = c(T_1 - T_2) \quad (5.1)$$

Für die rechte Seite von (5.1) erhält man

$$cT_1 = l + vT_1, \text{ bzw. } cT_2 = fl - vT_2 \quad (5.2)$$

Nun kann man das Verhältnis  $T_1/T_2$  einerseits aus (5.1) und andererseits aus (5.2) durch Elimination von  $l$  berechnen und gleichsetzen und erhält

$$f = \frac{(c+v)(c-w)}{(c-v)(c+w)} \quad (5.3)$$

Da nirgends  $v \neq 0$  vorausgesetzt wurde, gilt (5.3) auch im System des Waggons ( $v = 0$ ), wenn  $v = 0$  und gleichzeitig für  $w$  die Geschwindigkeit  $u$  des Teilchens relativ zum Waggon gesetzt wird

$$f = \frac{c-u}{c+u} \quad (5.4)$$

Da ferner  $f$  eine systemunabhängige Invariante ist, kann man (5.3) und (5.4) gleichsetzen und erhält das Geschwindigkeitsadditionstheorem in multiplikativer Form

$$\frac{c+w}{c-w} = \frac{c+u}{c-u} \cdot \frac{c+v}{c-v} \quad (5.5)$$

bzw. durch Auflösung von (5.5) in der üblichen Form

$$w = \frac{u+v}{1 + uv/c^2} \quad (5.6)$$

#### LITERATUR:

- [1] A. I. Janis, Am. J. Phys. **51** (3), 209 (1983).
- [2] M. S. Greenwood, Am. J. Phys. **50** (12), 1156 (1982).
- [3] R. U. Sexl, H. K. Urbantke, „Relativität, Gruppen, Teilchen“, Springer, Wien 1976.
- [4] W. Rindler, „Essential Relativity“, van Nostrand, New York 1969.
- [5] N. D. Mermin, Am. J. Phys. **51** (12), 1130 (1983).

## Einstein auf dem Prüfstand

### Lichtablenkung durch die Sonne

Die relativistisch geforderte Ablenkung der Lichtstrahlen im solaren Gravitationsfeld wurde schon im Jahre 1919 einer kritischen Prüfung anlässlich einer totalen Sonnenfinsternis unterzogen. Seither wurden nicht nur diese Messungen mit stark verbesserten Geräten wiederholt, sondern auch auf Radiowellen ausgedehnt. Waren anfänglich die Meßfehler noch zu groß, um eine klare Entscheidung zugunsten oder zuungunsten der Einsteinschen Gravitationstheorie fällen zu können, so ist auch mit den sehr verfeinerten Methoden kein einziges Indiz zugunsten der mit ihr konkurrierenden Gravitationstheorien beobachtet worden. Trotzdem gehen die Anstrengungen in Richtung noch besserer Verfahren weiter.

Der theoretische Ablenkungswinkel bei streifendem Vorbeigang an der Sonne ist  $\delta = 1,75''$ , falls Einstein recht hat. Dem entspricht ein aus der Theorie abgeleiteter Parameterwert  $\gamma = 1$ . Gäbe es keine Ablenkung, also  $\delta = 0$ , müßte  $\gamma = -1$  gelten. Andere Theorien führen auf  $-1 < \gamma < +1$ .

Fehler von 20 bis 40%, mit denen frühere Messungen behaftet waren, sind zu groß, um andere Theorien auszuschließen. Das hat sich glücklicherweise radikal geändert, seit die Messungen durch Zusammenarbeit der Raumsonden-Projekte MERIT, POLARIS und IRIS mit ausgedehnten Radiointerferometern auf der Erde erfolgen.

Die drei Programme planten zunächst gar nichts in Richtung Licht- oder Radiowellenablenkung. Als man aber überlegte, daß drei der zu untersuchenden Radioquellen nahe der Ekliptik liegen, bezog man die Deviationsmessungen in die Programme ein. Sie fanden zu jenen Zeitpunkten statt, in denen die Sonne im Laufe ihrer scheinbaren Bewegung entlang der Ekliptik den Quellen am nächsten kam. Benützt wurden das X- und das S-Frequenzband, um den störenden Einfluß der Emissionen der Sonnenkorona sowie den der irdischen Ionosphäre auszuschalten. Die Beobachtungen erstreckten sich über den langen Zeitraum von 40 Monaten. Man bestimmte die Verspätungen, mit denen die Radiopulse infolge des ablenkungsbedingten etwas längeren Weges eintrafen, und das im Zeitraum von Sept. 1980 bis Jänner 1984 nicht weniger als 41 236mal! Die Messungen verteilten sich auf 163 Arbeitsintervalle. 12 Bodenobservatorien in Europa und in den USA unterstützten die Tätigkeit der Raumsonden. Die beiden Radioteleskope des Westford Obs., Massachusetts, und der General Relativity Agassiz Station (GRAS), Texas, waren als Interferometer zusammengeschaltet. Ihr Abstand, d. i. die Basislänge des Interferometers, beträgt 3100 km, was eine besonders hohe Auflösung gewährleistet.

Die Beobachtungsintervalle betragen meist 24<sup>h</sup>, in denen die Bodenstellen 100 bis 200 Verspätungen der Radiopulse von 20 Quellen, darunter der oben genannten drei ekliptiknahen, registrierten. Die Winkelabstände der letzteren zur Ekliptik betragen ungefähr 5°, 2,6° und 1°. (Leider ist die Strahlung der günstigsten gelegenen Quelle für gute Ergebnisse zu schwach.)

184 Daten wurden bei Sonnenwinkeln unter 10°, 26 bei Winkeln unter 5° eingebracht. 12 Beobachtungen erfolgten im August 1982 und im August 1983, in denen die Sonnenwinkel am kleinsten, nämlich ca. 3° waren. Die zugehörigen Ablenkungen betragen 0,150".

Das Ergebnis des intensiv betriebenen Forschungsprogramms spricht eindeutig für die Einsteinsche Version. Es lautet  $\gamma = 1,008 \pm 0,005$ .

#### LITERATUR:

Nature, 16. 8. 1984, S. 572, D. S. Robertson, W. E. Carter, Relativistic Deflection of Radio Signals in the Solar Gravitational Field.)

#### Gravitationsstrahlung

Der Pulsar PSR 1916+13 ist Partner in einem Binärsystem, der seinem Begleiter so nahe kommt, daß die Periastrondrehung des Systems den Rekordwert von etwa 4° pro Jahr ausmacht. (Das Merkurperihel beträgt nur 48" pro Jahrhundert!) Infolgedessen ist die bei jeder ungleichförmigen Massenbewegung emittierte Gravitationsstrahlung kräftig genug, um dem Stern soviel kinetische Energie zu entziehen, daß meßbare Verkürzungen der Bahnperiode auftreten: Die Sterne spiralen gegeneinander.

Das System wurde mit dem 300-m-Radioteleskop von Arecibo, Puerto Rico, zehn Jahre lang beobachtet. 3300 Messungen fanden statt, deren jede in 5-Minuten-Intervallen 5000 Wellenformen integrierte. Bahnperiode und Eigendrehdauer betragen  $P_{\text{Bahn}} = 27\,907\text{ s}$  bzw.  $P_{\text{eigen}} = 0,059\text{ s}$ .

Die Bahnperiode verkürzt sich, denn  $dP_{\text{Bahn}}/dt < 0$ . Die Bahnezentrizität beläuft sich auf 0,617.

Die Werte der Periastrondrehung und der Verkürzung der Bahnperiode stimmen mit den theoretischen Rechenwerten nur für die Einsteinsche Allgemeine Relativitätstheorie überein. U. zw. sind diese Daten so gut, daß andere Theorien ausscheiden, z. B. die Skalar-Tensor-Theorie von Dicke-Brans.

#### Das gravito-magnetische Erdfeld

Die Metrik der vierdimensionalen Raumzeit ist in der ART (= Allg. Rel. Th.) durch den symmetrischen Tensor  $g^{\mu\nu}$ , ( $\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$ ) festgelegt. Zerfällt man ihn in Raum- und Zeitkomponenten, dann ergeben sich drei unterschiedliche physikalische Deutungen:

- 1)  $g^{00}$  beschreibt das elektrische Verhalten,
- 2)  $g^{0i}$  beschreibt das magnetische Verhalten,  $i = 0, 1, 2, 3$ ,
- 3)  $g^{ij}$ ,  $i, j = 1, 2, 3$ , legt die Raumkrümmung fest.

Teil 2) ist das sogenannte **gravito-magnetische Feld (GM-Feld)**.

$g^{0i}$  und  $g^{ij}$  sind bereits mit 0,1% Genauigkeit bekannt. Hingegen ist das GM-Feld zu schwach, um den gegenwärtig verfügbaren Meßgeräten zugänglich zu sein. Das läßt die Physiker nicht ruhen. Tatsächlich wurde vor kurzem ein erwägenswerter Vorschlag gemacht, dessen Realisierung im Bereich des Möglichen zu liegen scheint. Würde zu diesem Zweck ein Satellit gestartet, der mit einem empfindlichen Gyroskop ausgestattet ist, dürfte (um beobachtet zu werden) die Präzession des sphärisch gestalteten rotierenden Gyroskops höchstens das  $5 \cdot 10^{-10}$ fache der Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation be-

tragen. Der neue Vorschlag enthält eine Version, die auf der Erde in unmittelbarer Nähe des Südpols (wo bereits Forschungsstationen ständig arbeiten) ausgeführt werden könnten. Das käme natürlich viel billiger als jeder Satelliteneinsatz.

Die Schwingungsebene eines Foucault-Pendels, auf dem Erdboden aufgestellt, vollführt eine Präzessionsbewegung, falls die Richtungen des lokalen Schwerelotes und der Drehachse der Erde einen von Null verschiedenen Winkel  $\alpha$  einschließen. Die Präzession wird in bezug auf sehr weit entfernte Sterne gemessen. Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ , mit der sich die Schwingungsebene des Pendels dreht, beträgt

$$\omega_{\text{Pendel}} = \omega_{\text{Erde}} \cdot (1 - \cos \alpha).$$

Ist  $\alpha \ll 1$ , so wirkt sich die Ungenauigkeit  $\delta\alpha$  in der Kenntnis von  $\alpha$  auf den Klammersausdruck wie  $\alpha \cdot \delta\alpha$  aus, muß also kleiner als  $10^{-10}$  ausfallen. Das soll feststellbar sein und bedeutet  $\delta \approx 0,1''$ .

Die Ausstattung der vorgesehenen Anlage besteht aus einem Foucault-Pendel und einem astronomischen Fernrohr in einer Vakuumkammer. Die Kammer ist im Untergrund aufgestellt, in nur 1 km Distanz zum Südpol.

Die GM-Feldstärke beträgt

$$B = 4(G/cr) \cdot L \text{ Einheiten.}$$

( $G$  = Gravitationskonstante,  $c$  = Lichtgeschwindigkeit,  $L$  = Drehimpuls der Erde,  $r$  = Erdradius.) Besitzt das Pendel bei Passage der Ruhelage die Geschwindigkeit  $\vec{v}$ , so übt das GM-Feld die Kraft

$$\vec{F} = m \cdot (d\vec{v}/dt) = m \cdot (\vec{v}/c) \times \vec{B}, \quad m = \text{Pendelmasse,}$$

aus. Infolgedessen präzediert die Pendelhauptachse relativ zum Azimut  $\Phi$  des fernen Bezugssterns mit der Winkelgeschwindigkeit

$$d\Phi/dt = \omega_{\text{GM}} = B/2c = 0,281'' \text{ pro Jahr.}$$

Ist  $T$  die Dauer des Experiments, so gilt für die zulässige Ungenauigkeit  $\delta\Phi_{\text{GM}}$

$$\delta\Phi_{\text{GM}} = \omega_{\text{GM}} \cdot T = 0,036''. \quad [T/60], \quad T \text{ in Tagen.}$$

Das Signal erweist sich 5mal stärker als bei GP-Bestimmungen durch Satelliten in polarer Bahn und ist viel billiger.

Wenn das Experiment einige Monate läuft, kann die GM-Feldstärke mit 10% Fehler festgestellt werden. Vielleicht ist man bis zum Jahre 1990 in der Entwicklung der Geräte genügend vorangekommen, um das Experiment mit Aussicht auf Erfolg zu starten.

#### LITERATUR:

Phys. Rev. Lett., 27. 8. 1984, S. 863, V. B. Braginsky, A. G. Polnarew, K. S. Thorne, Foucault Pendulum at the South Pole: Proposal for an Experiment to Detect the Earth's General Relativistic Gravitomagnetic Field.

## Neues Indiz für Schwerwellen

Die Abweichungen der relativistischen von den klassischen Aussagen der Kinematik sind bei gegenüber  $c$  kleinen Geschwindigkeiten geringfügig. Soweit sie auf das Konto der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) gehen, bestehen keine allzu-großen Schwierigkeiten, die Abweichungen messend festzustellen. Die Effekte aufgrund der Allgemeinen Rel. Th. (ART) rangieren hingegen hart an der Grenze der instrumentellen Möglichkeiten für die Messung. Insbesondere gilt das für den Nachweis der Gravitationswellen, der bisher noch nicht direkt erbracht werden konnte. Wohl aber sind indirekte Indizien für deren Realität bereits vorhanden (s. Wiss. Nachr., Nr. 51, Sept. 1979, S. 39, Ein handfester indirekter Nachweis von Gravitationswellen geglückt). Über ein weiteres Indiz darf nun berichtet werden.

Elektromagnetische Wellen, die von einem massiven Stern ausgehen, erfahren in dessen eigenem Schwerfeld eine Rotverschiebung, weil die Photonen gegen das Feld anlaufen und dabei Arbeit verrichten müssen. Das folgt bereits aus der SRT.

In Binärsystemen, deren Partner einander in elliptischen Bahnen umrunden, dreht sich die große Bahnachse, d. h. das Periastron rückt allmählich vor, u. zw. um so stärker, je größer die Massen sind und je enger die Partner beisammenstehen. (Die Periheldrehung des Merkur ist ein altbekannter Effekt dieser Art im System Merkur-Sonne.)

Die Bewegung der Doppelsternpartner um den gemeinsamen Massenmittelpunkt ist ungleichförmig, also müßten, ebenso, wie ungleichförmig bewegte Träger elektrischer Ladungen elektromagnetische Wellen abstrahlen, Doppelsterne Schwerwellen emittieren. Dadurch verliert das System kinetische Energie, der Umlauf der beiden Komponenten wird allmählich schneller, die Umlaufperiode  $P$  kürzer.

Dieser dritte, von der ART geforderte Effekt tritt zu den beiden oben erwähnten hinzu. Die Frage ist nur, ob er stark genug ist, um sich in erkennbaren Meßergebnissen kundzutun.

Man wird somit lediglich bei sehr engen Doppelsternen größer, extrem dichter Masse erwarten dürfen, aus der Abnahme der Bahnperiode  $P$ , also aus der Messung von  $dP/dt = P < 0$ , auf Gravitationswellen (nach Abzug sämtlicher klassisch und sonstig relativistisch bedingter Abweichungen von den Sollwerten) schließen zu können. Binärsysteme der in Betracht kommenden Art sind solche, in denen ein Neutronenstern (etwa Sonnenmasse, aber nur Planetenradius) zusammen mit einem massiven Begleiter in ganz geringer Distanz das System bildet.

Im August 1983 beobachtete das 300-m-Radioteleskop von Arecibo, Puerto Rico, mit gegenüber früheren Untersuchungen bedeutend verbesserten Mitteln neuerdings den Binärpulsar PSR 1913 + 16, der am ehesten die Voraussetzungen für eine Entscheidung pro oder kontra Schwerstrahlung verspricht. (Fast überflüssig zu sagen, daß noch andere Vorgänge die Bahngeschwindigkeit der zwei Objekte beeinflussen, z. B. die Energieeinbuße durch Emission elektromagnetischer Strahlung. Das wurde selbstverständlich berücksichtigt.) Gemessen wurde die Verschiebung der Ankunftszeit der Profile der vom Neutronenstern kommenden Radiopulse. Die Zeitauflösung der Geräte betrug  $1 \mu s$ .

Zur Befriedigung der Astronomen befanden sich die neuen, genaueren Meßdaten in bester Übereinstimmung mit den früher gewonnenen, die, trotz der damals weniger effizienten Beobachtungsmittel, richtige Ergebnisse erbracht hatten.

Gleichzeitig beobachtete man auch die übrigen relativistischen Effekte quantitativ. Das Ergebnis der Messungen lautet:

1. Vorrückung des Periastrons  $\omega = (4,2263 \pm 0,0003)$  Grad pro Jahr;
2. Rotverschiebung im Schwerfeld des Systems  $\gamma = 0,00438 \pm 0,00012$ ;
3. Zeitableitung d. Bahnperiode  $P = (-2,40 \pm 0,09) \cdot 10^{-12}$  s/s;
4. Fehlen aller bekannten klassischen dissipativen (= energieabführenden) Prozesse;
5. Das System ist ein Paar kompakter Massen ohne erkennbares Quadrupolmoment (durch welches das Periastron vorrücken könnte);
6. Die Massen der Partner sind  
 $m_{\text{Pulsar}} = (1,42 \pm 0,03) \cdot M_{\text{Sonne}}$   
 $m_{\text{Begl.}} = (1,40 \pm 0,03) \cdot M_{\text{Sonne}}$ ;
7. Neigung der Bahnebene zur Ekliptik  $\sin i = 0,76 \pm 0,14$ .

Der theoretische Wert  $\dot{P}_{\text{theor}} = (-2,403 \pm 0,002) \cdot 10^{-12}$  s/s unterscheidet sich fast gar nicht von der in 3) angegebenen Zahl. Also ist die Periodenänderung mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit der Gravitationsstrahlung in Einklang mit der ART zuzuschreiben. Eine Reihe anderer Gravitations-theorien als die Einsteinsche scheidet damit für die Theoretiker aus, weil jene andere  $\dot{P}$ -Werte fordern, als beobachtet wurden.

#### LITERATUR:

Phys. Rev. Lett., 9. 4. 1984, S. 1348, J. M. Weisberg, J. H. Taylor, Observations of Post-Newtonian Timing Effects in the Binary Pulsar PSR 1913 + 15.

## Wieder zwei Gravitationslinsen erkannt

Im Rahmen der gezielten Suche nach weiteren Gravitationslinsen wurde man zweimal fündig, so daß nun bereits fünf derartige Anordnungen von Quasaren und Galaxien bekannt sind. Mit dem 90-m-Radioteleskop des NRAO (Nat. Radio Astronomy Obs.) und der VLA-Anlage (Very large Array) fanden Chr. R. Lawrence und Mitarbeiter (Caltech, MIT, Princeton) im Sternbild Delphin das System 2016+112 A, B, C. Die Komponenten A, B (Winkelabstand  $3,4''$ ) haben nahezu identische optische Spektren und dieselbe scheinbare Helligkeit  $22,5^m$ . Ihre Emissionslinien weisen gegenüber den Laborwellenlängen eine Rotverschiebung um den Faktor 3,27 auf. Das diffuse  $23^m$ -Objekt C ist offenbar die elliptische Riesengalaxie, deren Schwerfeld als Linse wirkt und den Quasar in zwei getrennten Bildern A, B erscheinen läßt.

St. Djorgowski und H. Spinrad (Berkeley) berichteten beim Astronomentreffen in Las Vegas über die Entdeckung eines doppelt erscheinenden Quasars im Sternbild Herkules, bezeichnet als 1635+267 A, B. Die scheinbaren Helligkeiten sind  $19^m$  bzw.  $21^m$ . Das Paar (Abstand  $3,8''$ ) wurde bisher nur im sichtbaren Licht beobachtet, während bei 2016+112 auch die Radioerkundung beteiligt war.

Daß es sich auch in diesem Falle um die zwei getrennten Bilder desselben Himmelskörpers handelt, folgt aus der Übereinstimmung des A- mit dem B-Spektrum.

Die Gravitationslinse selbst wurde noch nicht gesichtet, wohl aber eine Absorptionslinie von Mg II (einfach ionisiertes Mg) mit der Rotverschiebung 1,12. Sie kann nur in einer (für uns) vor dem Quasar befindlichen Galaxie entstehen.

In beiden oben berichteten Fällen identischer Spektren blieb die Suche nach einem dritten Abbild vergeblich.

Die Identifizierung von nunmehr fünf Gravitationslinsen bestärkt die Vermutung, daß Gravitationslinsen keine Ausnahmerscheinungen sind, weshalb weiter gesucht wird. Hätte man einmal Kenntnis von einigen Dutzend dieser Objekte, könnten wohl nähere Aussagen über die Expansionsgeschwindigkeit des Universums aus ihnen abgeleitet werden, ebenso über die Verzögerung der Expansion.

#### LITERATUR:

Sky and Tel., April 1984, S. 318, News Letters: Two New Gravitation Lenses.

## Die natürlichen Planckschen Maßeinheiten

Die geltenden Maßeinheiten der physikalischen Grundgrößen: kg, m, s haben den Nachteil, nicht auf unabhängige natürliche Weise definiert zu werden. Die einzige Ausnahme bildet das Meter, weil es seit Okt. 1983 aus der Naturkonstante  $c$ , der Lichtgeschwindigkeit, abgeleitet ist. Wohl ist die Sekunde an der jederzeit reproduzierbaren Frequenz des bei einem wohldefinierten Quantenübergang emittierten Photons gemessen, aber auch die betreffende Linie geht aus einem konkreten Vorgang hervor und ist im Wesen nicht „natürlicher“ als die Maßeinheit kg.

Es gibt jedoch drei fundamentale Naturkonstanten, die von jeglicher individuellen Erscheinung unabhängig sind. Diese Naturkonstanten sind

das Plancksche Wirkungsquantum  $h$ ,

die Lichtgeschwindigkeit  $c$ ,

die Gravitationskonstante  $G$ .

In einem natürlichen Maßsystem erscheint es angezeigt, jeder von ihnen den Zahlenwert 1 zuzuschreiben. Das tat Planck. Sowohl  $h$  als auch  $c$  als auch  $G$  sind zusammengesetzte Größen mit den Dimensionen

$$[h] = M \cdot L^2 \cdot T^{-1},$$

$$[c] = L \cdot T^{-1},$$

$$[G] = M^{-1} \cdot L^3 \cdot T^{-2}.$$

Da die voneinander unabhängigen Dimensionen von  $h$ ,  $c$ ,  $G$  Potenzprodukte von  $M$  (Masse),  $L$  (Länge),  $T$  (Zeit) sind, ist es auch umgekehrt möglich,  $M$ ,  $L$ ,  $T$  als Potenzprodukte von  $[h]$ ,  $[c]$ ,  $[G]$  darzustellen:

$$[h^a \cdot c^b \cdot G^\gamma] = M^{a-\gamma} \cdot L^{2a+\beta+3\gamma} \cdot T^{-a-\beta-2\gamma}.$$

Je nachdem, ob  $M$  oder  $L$  oder  $T$  durch die drei Naturkonstanten ausgedrückt werden sollen, sind folgende Gleichungstriple zu lösen, u. zw.

für  $M$ :  $\alpha - \gamma = 1$   
 $2\alpha + \beta + 3\gamma = 0$   
 $-\alpha - \beta - 2\gamma = 0$ ;

für  $L$ :  $\alpha - \gamma = 0$   
 $2\alpha + \beta + 3\gamma = 1$   
 $-\alpha - \beta - 2\gamma = 0$ ;

für  $T$ :  $\alpha - \gamma = 0$   
 $2\alpha + \beta + 3\gamma = 0$   
 $-\alpha - \beta - 2\gamma = 1$ .

Die Lösungen lauten

für M:  $(\alpha, \beta, \gamma) = (1/2, 1/2, -1/2),$

$$M = \left[ \sqrt{\frac{h \cdot c}{G}} \right];$$

für L:  $(\alpha, \beta, \gamma) = (1/2, -3/2, 1/2),$

$$L = \left[ \sqrt{\frac{h \cdot G}{c^3}} \right];$$

für T:  $(\alpha, \beta, \gamma) = (1/2, -3/2, 1/2),$

$$T = \left[ \sqrt{\frac{h \cdot G}{c^5}} \right].$$

Die Substitution von

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s},$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

in die Ausdrücke für M, L, T liefert die Zahlenwerte, welche diese Größen erhalten müssen, wenn h, c, G den Zahlenwert 1 annehmen sollen. Man spricht dann von der

**Planck-Masse  $M_p$ , der Planck-Länge  $L_p$  und der Planck-Zeit  $T_p$ .**

Die Rechnung ergibt

$$M_p = 5,46 \cdot 10^{-7} \text{ kg},$$

$$L_p = 4,04 \cdot 10^{-35} \text{ m},$$

$$T_p = 1,35 \cdot 10^{-43} \text{ s}.$$

Hätte man, wie oft üblich,  $h/2\pi$  statt h genommen, hätte sich

$$M_p' = 2,18 \cdot 10^{-7} \text{ kg},$$

$$L_p' = 1,61 \cdot 10^{-35} \text{ m},$$

$$T_p' = 5,40 \cdot 10^{-44} \text{ s}.$$

ergeben.

## Quantentheorie der Gravitation

Die Geschichte der physikalischen Forschung ist in besonderem Maße durch die Reduktion sehr unterschiedlicher Erscheinungen auf gemeinsame Fundamente geprägt. Schall und Wärme erwiesen sich als im Grunde mechanische Vorgänge im Mikrobereich, Elektromagnetismus und das im weitesten Sinne als optisch zu bezeichnende Geschehen brachte Maxwell auf einen gemeinsamen Nenner, die spezielle Relativitätstheorie erkannte im Magnetismus einen Bewegungseffekt elektrischer Ladungsträger, und vor einem Jahr bestätigte die großartige Entdeckung individueller  $W^\pm$ - und  $Z^0$ -Teilchen die einheitliche Natur der Coulombschen und der Schwachen Wechselwirkung, welche die von Glashow, Salam und Weinberg konzipierte Theorie schon vor mehr als einem Jahrzehnt postuliert hatte.

In Fortsetzung dieses Vereinheitlichungstrends bemühen sich namhafte Physiker nun auch, die Elektroschwache und die Starke Wechselwirkung unter einen Hut zu bringen. Die Ansätze der GUT (= **Grand Unified Theory**) sind vielversprechend, aber doch noch in einem Stadium, das sowohl viele Fragen offenläßt als auch durch voneinander abweichende Konzepte charakterisiert ist.

Ermutigt von den bisherigen Erfolgen des Reduktionsbemühens holt man bereits zum letzten Schlag aus, der die Gravitation als vierte fundamentale Wechselwirkung dem im Aufbau befindlichen gemeinsamen Haus einfügen soll. Daß dies besonders große Schwierigkeiten bereitet, bedarf keiner Betonung.

Theorien erhalten erst durch die Überprüfung in Experimenten Leben eingehaucht. Je unscheinbarer die vorausgesagten Effekte ausfallen, desto schwerer haben es die Experimentatoren, darüber zu befinden. Nun ist die Gravitation mit weitem Abstand die schwächste Naturkraft, etwa 38 Größenordnungen

schwächer als die Coulombkraft. Nur die Akkumulation gewaltiger Massen in den Himmelskörpern läßt sie im kosmischen Geschehen die erste Geige spielen. Aber in der Mikrowelt wird sie gegenüber den drei anderen Wechselwirkungen völlig unbedeutend. Unterläge die Schwerkraft auch dem Quantenregime, dann müßten ihre Kraftwirkungen durch den Austausch virtueller Bosonen (Partikeln mit ganzzahliger Spinquantenzahl) vermittelt werden, die sogenannten **Gravitonen**, die den **Photonen** (Coulomb-WW), den **Weakonen** ( $W^\pm, Z^0$ , Schw. WW) und den **Gluonen** (g, Starke WW) zur Seite treten. Die von Gravitonen induzierten Effekte dürften – falls existent – um gleichfalls viele, viele Größenordnungen kleiner sein als die an Photonen, Weakonen und Gluonen – oft nur mit außerordentlichen Anstrengungen – beobachteten. Das wird den Experimentalphysikern wohl noch starken Kummer bereiten. Doch davon soll im folgenden kaum gesprochen werden. Vielmehr wenden wir uns einer anderen, noch tiefer verwurzelten Schwierigkeit zu, deren Bewältigung höchste Anforderungen an die kreative Phantasie der Theoretiker stellt.

Die Fundamenteilchen agieren im Raum-Zeit-Kontinuum nach den Quantengesetzen, die dem Einbau der spez. Relativitätstheorie (= SRT) keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bereiten. Die Verbindung beider Denkstrukturen zeitigte alsbald bedeutende Erfolge. Sie erreichte in der Dirac-Theorie des Elektrons, gefolgt von der Entdeckung des Positrons einen Höhepunkt, was im Gefolge zum Konzept der Antimaterie führte.

Die Einsteinsche Theorie der Gravitation ist aber nicht die spezielle, sondern die **allgemeine Relativitätstheorie (ART)**, nach der **Raum und Zeit selbst Wechselwirkungen unterliegen!** Nach einem Wort Einsteins ist „die Gravitation keine physikalische Eigenschaft der Materie, sondern eine geometrische Eigenschaft der Raumzeit“.

In einer Quantentheorie der Gravitation muß die Unschärferelation die Raumzeit selbst in den Geltungsbereich einbeziehen, so daß die Fluktationen der gemäß der SRT scharfen Abgrenzung zwischen Raum und Zeit (in Form des Lichtkegels, siehe Abb. a) undeterminierbar verschmiert sind (siehe Abb. b). Das wieder impliziert die ungeheuerliche Konsequenz, unter Umständen im lokalen Rahmen nicht mehr ganz scharf zwischen Vergangenheit und Zukunft unterscheiden zu können! Es wird schwer sein, solchen geistigen Sprengstoff unter rationale Kontrolle zu bringen. Um so faszinierender verfolgt man daher die einschlägigen Ansätze, zu neuen Erkenntnissen vorzudringen.

Die SRT befaßt sich mit Bezugssystemen, die in gleichförmiger Bewegung begriffen sind. Sie werden – wenn man sich zwecks Vereinfachung der Darstellung eines nur eindimensionalen Raumes bedient – durch Raum-Zeit-Diagramme (x-t-Diagramme) beschrieben. Ein Punkt P (x, t) bedeutet im x-t-Diagramm Ort und Zeitpunkt eines Ereignisses. Die Neigung der Verbindungsstrecke  $P_1 P_2$  zweier Ereignisse  $P_1 (x_1, t_1)$ ,  $P_2 (x_2, t_2)$ ,  $t_1 < t_2$ , entscheidet darüber, ob ein gleichförmig bewegtes Inertialsystem existiert, in dem ein Beobachter  $P_1$  und  $P_2$  als für ihn simultan wahrnimmt, oder ob kein solches vorhanden ist. Nimmt man die Lichtsekunde (Ls) als Längeneinheit, dann breitet sich ein von O ausgehender Lichtblitz entlang der ersten und der zweiten Mediane des Koordinatensystems aus (siehe Abb. a). Unterschreitet der Neigungswinkel der Strecke  $P_1 P_2$  zur positiven x-Achse  $45^\circ$ , dann existiert das erstgenannte Inertialsystem, in dem die zwei Ereignisse gleichzeitig erfolgen. Ist der Neigungswinkel jedoch größer als  $45^\circ$  ( $Q_1 Q_2$  in Abb. a), dann findet  $Q_2$  in jedem Inertialsystem später als  $Q_1$  statt.

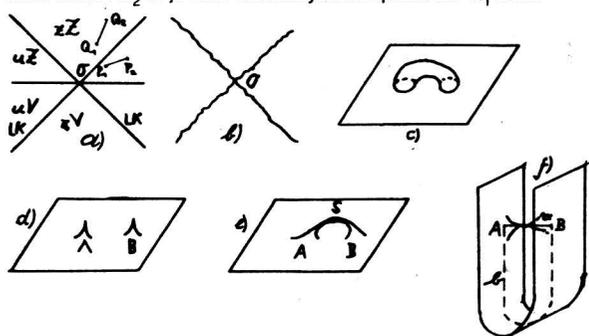


Abb. a) und b) sind räumlich 1 dimensionale ebene Schnitte der 4dimensionalen Raum-Zeit. Lk ist der Lichtkegel des Lichtblitzes in O.  $P_1, P_2$  ist ein raumartiges,  $Q_1, Q_2$  ein zeitartiges Linienelement.  $zZ (zV) =$  zugängliche Zukunft (Vergangenheit),  $uZ (uV) =$  unzugängliche Zukunft (Vergangenheit) für den Beobachter in O.

In einem der Unschärferelation unterworfenen Gravitationsfeld hat der Lichtkegel die in Abb. b angedeutete Form, die aber nicht mehr als starr anzusehen ist, sondern überall völlig willkürlich fluktuiert. (Natürlich ist das Auftreten von Fluktuationen um so unwahrscheinlicher, je größer sie sind!) Fluktuiert z. B. die Richtung des von  $P_1$  ausgehenden Lichtkegels zwischen den Lagen  $k, k'$ , dann kann im Laufe einer Schwankung einmal  $P_2$  für sämtliche Inertialsysteme später als  $P_1$ , dann wieder für einige Inertialsysteme gleichzeitig mit  $P_1$ , stattfinden. M. a. W., über die Attribute „zukünftig, gleichzeitig, vergangen“ sind lediglich **Wahrscheinlichkeitsaussagen** möglich. Das allein ist schon eine furchtbar aufregende Angelegenheit, obwohl derartige Effekte um ebenso viele Größenordnungen geringfügiger sein müßten, wie die Gravitation den anderen Wechselwirkungen unterlegen ist. Doch es kommt noch dicker!

Nach der ART geht die bei total fehlender Masse euklidische vierdimensionale Raumzeit unter dem Einfluß vorhandener Massen in eine gekrümmte geometrische Struktur über. Die Krümmung zieht natürlich nicht nur die raumartige, sondern auch die zeitartige Dimension der Raumzeit in Mitleidenschaft. Kräftefreie Bewegungen erfolgen in der gekrümmten Welt nicht mehr entlang gerader, sondern längs **geodätischer Linien**, welche die Rolle der euklidischen Geraden übernehmen. Die unbeschleunigte (also kräftefreie) Bewegung in der gekrümmten Raumzeit manifestiert sich hinsichtlich der drei Raumkoordinaten als die in Schwerfeldern ausgeführte Bewegung (Fall-, Planetenbewegung). Sie ist nicht das Ergebnis dynamischer Vorgänge zwischen materiellen Körpern, sondern allein in den topologischen Veränderungen der Raumzeit infolge der Anwesenheit von Materie begründet. Je weiter ein Raumgebiet von den materiellen Körpern entfernt ist und je kleiner deren Massen sind, desto weniger weicht die Umgebungsstruktur des betrachteten Gebietes von der euklidischen Metrik ab.

Im Universum ist die Materie, grob gesprochen, körnig verteilt. Also ist die Raumzeit eine bucklige Welt. Wegen der Kleinheit der Gravitationskonstante  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$  ist die Krümmung auch in der Nähe beträchtlicher Massen gering. Nur in der nächsten Umgebung von Neutronensternen und Schwarzen Löchern ist die Krümmung erheblich.

Die Auswahl an nichteuklidischen vierdimensionalen topologisch verschiedenen Gebilden ist groß. Das stellt vor die Frage, welcher Geometrie unsere Raumzeit nun tatsächlich unterliegt. Ein sehr frühzeitig vorgeschlagenes Modell publizierte der russische Mathematiker **A. A. Friedmann** im Jahre 1922, also schon sechs Jahre nach der Veröffentlichung der ART. Das Friedmann-Modell ist insofern endlich, als jeder dreidimensionale raumartige (hyper)ebene Querschnitt ein endliches Volumen besitzt. Es ist ein sphärisches Modell. Die **Hubblesche Entdeckung der kosmischen Expansion** Ende der zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts verlieh dem Friedmann-Modell hohes wissenschaftliches Gewicht. Zusammen mit der ART ergibt sich daraus die Expansion als Folgeerscheinung des Urknalls, also das Entstehen des heutigen Kosmos aus einem Zustand unendlich hoher Dichte. Die Expansion verlangsamt sich infolge der Anziehung der hinter den Spitzenreitern der Explosion zurückbleibenden Massen und kommt, falls die Masendichte im Weltall einen kritischen Wert überschreitet, zum Stillstand. Danach wandelt sich die Expansion zur Kontraktion, und die Welt strebt wieder einer Dichtesingularität zu. Ist die mittlere Dichte der Materie im Universum jedoch unterkritisch, dann expandiert es ewig.

Die Friedmannsche Raumzeit ist einfach zusammenhängend, das heißt, jede geschlossene Kurve läßt sich auf einen Punkt stetig zusammenziehen. Andere Raumzeit-Modelle sind mehrfach zusammenhängend (wie beispielsweise im  $R^3$  der Torus). Gäbe es nur eine Raumdimension, und wäre dieser „Raum“ eine geschlossene Kurve, etwa ein Kreis, dann bilden der Kreis als Leitkurve (das ist die eine Dimension der Raumzeit) und die geradlinige Zeitachse (das ist die zweite Raumzeitdimension) als Erzeugende einen Zylindermantel, der Kurven enthält, die sich der stetigen Kontraktion auf einen Punkt widersetzen (z. B. die Leitlinie des Zylinders).

Im Jahre 1957 entwarf **J. A. Wheeler** ein mit der ART verträgliches Modell, dessen zweidimensionales Analogon (eine Zeit-, eine Raumdimension) eine Ebene mit zwei Löchern ist, die durch einen hohlen Schlauch verbunden sind (siehe Abb. c). Das Entstehen des (hypothetischen) Schlauchmodells, wie wir es ad hoc nennen wollen, kann man sich folgendermaßen erklären. Bildet sich in der ursprünglich ebenen Raumzeit bei A und B (siehe Abb. d) je ein Schwarzes Loch, dann krümmt dessen ungeheuer dichte Masse die Raumzeit und deformiert die ebene Welt bei A und B zu gipfelartigen Ausbuchtungen, die zusammenwachsen können (Abb. e). Trotzdem ist es unmöglich, entlang der Schlauchfläche von A nach B zu gelangen, weil

u. a. im Begegnungspunkt S der zusammenwachsenden Gipfel alle Materie zu unendlicher Dichte zerquetscht wird.

Wäre die Ausgangsstruktur nicht eben, sondern infolge hoher Massendichten entlang der Linie a, wie in Abb. f gezeigt, verbogen, dann hätten A, B einen viel kleineren geradlinigen Abstand als längs des gestrichelt gezeichneten Weges b. Der direkte Transport von A nach B, mit dem man der Lichtgeschwindigkeit c ein Schnippen zu schlagen vermeinen könnte, ist durch die Dichtesingularität in S blockiert.

So hypothetisch dieses und andere Modelle auch erscheinen mögen, grundsätzlich sind sie als realisierbar anzusehen, sobald sie weder den Kausalitätsforderungen noch den physikalischen Gesetzen widersprechen.

Die Quantentheorie hat auch die Vorstellungen über das **Vakuum** stark verändert. Das von Materie freie, aber von einem Feld erfüllte Vakuum kann auch negative Energie haben. Der 1948 von **H. B. G. Casimir** in den Philips-Labors erbrachte Nachweis der gegenseitigen Anziehung ungeladener in kleinstem Abstand parallel liegender extrem ebener Metallplatten im Vakuum, ist das indirekte Indiz für ein Vakuum mit negativer Energie. (Positronen sind ja auch unbesetzte negative Energieniveaus im Atom!) Im quantenmechanischen Vakuum haben die harmonischen Oszillatoren, aus denen man sich das elektromagnetische Feld aufgebaut denken kann, die unbesetzbare **Nullpunktenergie**. Das folgt aus der Unschärferelation, welche die ständigen Feldschwankungen zuläßt.

Ist nun auch noch die Raumzeit gekrümmt, dann wirkt sich das auf die Quanten der Feldschwankungen aus und kann das Vakuum mit einer von Null verschiedenen Energie ausstatten. Die Krümmung verändert ja den Schwingungszustand der Oszillatoren analog der Frequenzänderung schwingender Saiten bei Veränderung der Saitenspannung. Es stellt sich heraus, daß verstärkte Krümmung Energiezufuhr erfordert. Der russische Physiker **Sacharow** versuchte 1967, die Gravitation als ein reines Quantenphänomen darzustellen, stieß dabei aber auf Ungereimtheiten.

Erfährt die Raumzeit eine Krümmung, so können die Oszillatoren aus dem Nullpunktzustand in angeregte Zustände übergehen, was sich auch in der Bildung neuer Partikeln manifestieren würde. Sie erscheinen ganz willkürlich, und zwar dort am häufigsten, wo die Krümmung maximal ist. Möglich, daß alle Materie auf diese Weise beim Urknall entstanden ist? Es wurde auch schon versucht, die Urknallproduktion der Teilchen zu berechnen, aber die Ansätze sind noch recht unbefriedigend.

Der Kollaps von Sternen zu Schwarzen Löchern ist eine andere Quelle der Raumkrümmung, die **W. Hawking** im Jahre 1974 untersucht hat (siehe Wiss. Nachr., Nr. 45, Sept. 1977, S. 36. Können Schwarze Löcher wieder verschwinden?). Danach ist die Entropie S eines kollabierten Sterns von Sonnenmasse etwa  $10^{19}$ mal größer als die Sternentropie vor dem Kollaps. S ist zur Oberfläche der **Schwarzschildkugel** ( $R = 2 \text{ MG}/c^2$ ) – man nennt sie auch den **Ereignishorizont**, weil aus seinem Inneren kein Signal, gleich in welcher Form, nach außen gelangen kann – des Sterns proportional. Die Temperatur T ist zur Sternmasse M verkehrt proportional, und zwar ca.  $10^{11}$ mal niedriger als die Sternentemperatur.

Nach Hawking geht von Schwarzen Löchern ein nur quantenmechanisch verstehbarer, auf dem Verhalten **virtueller Teilchenpaare** beruhender Partikelstrom aus, der die Masse des Schwarzen Loches verringert. (Das widerspricht der Unentrinnbarkeit von **realen** Teilchen, Photonen usw. aus dem Schwarzen Loch nicht!)

Im Urknall konnten infolge des damals herrschenden unvorstellbar großen Drucks „Minilöcher“ von höchstens  $10^7 \text{ kg}$  entstanden sein. Erst für solche Gebilde kann die Hawking-Emission ins Geschehen stärker eingreifen.

Leider kennt man noch keine Wege, die Energie jener Partikeln zu berechnen, die bei den Änderungen der Raumzeitkrümmung im Laufe der Zeit auftreten. Unbehagen bereitet die unendliche Dichte zu Beginn der kosmischen Expansion. Offenbar ist die Einstein-Theorie noch unvollständig, die Rückwirkung der gravitativen Teilchenproduktion auf die sie verursachende Raumzeit noch unbekannt. Zwar versuchte man es mit Computersimulationen, aber die ergaben unvereinbare Resultate. Das liegt vor allem daran, daß die Überlagerung von Schwerfeldern in der ART nicht linear ist. Natürlich bemüht man sich, die Singularitäten loszuwerden, aber auch das mit noch wenig Erfolg.

Die Rückwirkung von Quantenvorgängen auf die Struktur der Raumzeit unterwirft die Raumzeit dem Quantenregime. Die Quantisierung des Gravitationsfeldes verlangt die Existenz von Partikeln, welche die Wechselwirkung vermitteln, also das Konzept von **Gravitonen**. Als Bosonen (wie alle Vermittler von Wechselwirkungen) haben sie ganzzahlige Spinquantenzahl

und wohl auch die Ruhmasse Null. Sie experimentell nachzuweisen, erscheint angesichts der Schwäche der gravitativen Wechselwirkung utopisch.

Eine andere Folge der Quantisierung der Gravitation ist das Auftreten von willkürlichen Feldschwankungen – wie schon eingangs kurz angedeutet –, die aber erst bei Wellenlängen (der Gravitationswellen) von der Größenordnung der **Plancklänge** (siehe den vorangehenden Beitrag), das sind etwa  $10^{-35}$  m, Bedeutung erlangen. Dann erst reicht ihre Energie nicht nur zur Verzerrung der geometrischen Raumzeitstruktur aus, sie verändert sogar die Gravitationswellen selbst. Diese Veränderungen lassen sich nicht mehr als geringfügige Störungen mit den Mitteln der Störungsrechnung bestimmen, wie dies in der Himmelsmechanik und in der Atomphysik üblich ist. Der Grund: Die Reihenentwicklungen können nicht schon nach wenigen Gliedern abgebrochen werden, es müßten alle Glieder summiert werden. Das Übel gründet auf der Nichtlinearität des Gravitationsfeldes. Die schon erwähnten Fluktuationen der Raumzeit, welche im Kleinen die Unterscheidung von vergangen- und zukünftig unmöglich machen können, bereiten zusätzliche Schwierigkeiten.

Hier liegt derzeit die Grenze für Berechnungen von Wahrscheinlichkeitsaussagen bezüglich der noch im dunkeln liegenden Prozesse.

J. A. Wheeler stellte schon im Jahre 1957 Überlegungen an, ob die Feldschwankungen in Abmessungen der Plancklänge nicht auch charakteristische Modifikationen der topologischen Struktur der Raumzeit bewirken könnten, etwa in Form von sich bildenden Schläuchen oder anderen Gestalten. Die Raumzeit wäre in diesen Abmessungen als Wirrwarr derartiger Gebilde denkbar, von dem aber in den Distanzbereichen der fundamentalen Teilchen nichts mehr zu merken ist. Das könnte sogar die **Dimension der Raumzeit im Großen** beeinflussen! Dann wäre ihre wahrnehmbare Dimension kleiner als ihre wahre.

Hypothesen dieser Art entwickelten 1921 **Th. Kaluza** und 1926 **O. Klein**. Die Forscher erwogen eine zusätzliche **vierte räumliche Dimension**, wobei allerdings der Umfang des zylindrischen Anteils höchstens Plancklänge betragen könnte und unbeobachtbar wäre. Die **fünfdimensionale Raumzeit** besitzt – mutatis mutandis – eine gewisse Ähnlichkeit mit der Maxwell'schen Theorie. In ihr werden auch die elektromagnetischen Erscheinungen auf geometrische Sachverhalte zurückgeführt. Widersprüche zu den realen Fakten drängten die Hypothese lange Zeit in den Hintergrund.

Aber ab 1960 trat die Kaluza-Klein-Hypothese wieder ins Blickfeld der Theoretiker, weil sich die Möglichkeit abzeichnet, die Hypothese könnte im Lichte der modernen Eichtheorien brauchbare Ergebnisse zeitigen. Mit dem Auftauchen der neuen Theorie der **Supergravitation** in den letzten Jahren erfuhr die Kaluza-Klein-Hypothese weitere Aufwertung, die nicht mehr von der Hand zu weisen ist. Dabei wird die Raumzeit mit zusätzlichen 7 Dimensionen ausgestattet . . .

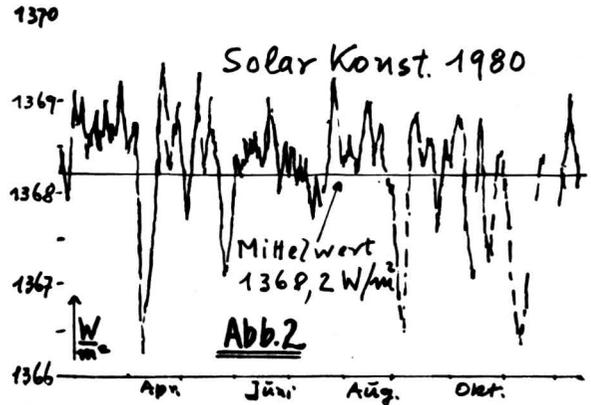
Freilich sind das vorläufig lediglich theoretische Phantasien in gutem Sinne, die als geistige Schöpfungen zu werten sind, an denen sich der Mensch an das Begreifen der Wirklichkeit herantastet.

**LITERATUR:**  
Scient. Am., Dez. 1983, S. 104, Bryce S. DeWitt, Quantum Gravity.

## Die Solarkonstante ist keine Konstante!

Am 14. Februar 1980 verließ der Satellit **SMM** (= **Solar Maximum Mission**) in der Phase höchster Sonnenaktivität die Erde. An Bord befanden sich das Gerät **ACRIM** (= **Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor**), das die Flußdichte der von der Sonne emittierten elektromagnetischen Leistung im Abstand der Erde zu messen hat. Die Messungen erfolgen alle 2 min mit 50 ppm Genauigkeit, d. s. 0,005%. Das Gerät konstatierte im Zeitraum vom Start bis zum 23. Nov. 1983 (da traten Schwierigkeiten in der Ausrichtung von SMM ein, die erst dank einer spektakulären Reparatur im Weltraum am 6. 4. 1984 behoben waren) Schwankungen der SK, die in Abb. 2 (einer Wiedergabe aus Sky and Tel., Juni 1984, S. 501) aufgezeichnet sind. Nun funktioniert die Sonde bestens. Bei ACRIM waren keinerlei Probleme aufgetreten.

Die kostspielige Mission soll allfällige Einflüsse der Variationen im solaren Leistungsfluß auf das irdische Wettergeschehen feststellen und ist vorwiegend aus diesem Grunde gestartet worden.



Der Abb. 2 ist zu entnehmen, daß die SK-Schwankungen während des ersten 9monatigen Beobachtungszeitraumes mit wechselnden Amplituden (bis zu  $2 \text{ W/m}^2$ ) um den **Mittelwert  $1368,2 \text{ W/m}^2$**  streuten. Es sind drei Hauptursachen hierfür verantwortlich:

1. Sonnenflecken und die sie umgebenden hellen Gebiete.
2. Granulation als sichtbarer Ausdruck der radialen Konvektionszellen unter der Sonnenoberfläche.
3. Oszillationen der Sonne.

Die SK war im April 1980 besonders klein, als eine ausgedehnte Gruppe von Sonnenflecken über die Sonnenscheibe zog. Seither hat das zu ACRIM analoge Gerät an Bord des Wetteratelliten NIMBUS 7 noch geringere SK-Werte registriert. Die feinere Analyse des SK-Diagramms brachte noch einen interessanten Sachverhalt zutage: Der SK-Mittelwert sinkt seit 1980 um  $0,041 \pm 0,002\%$  pro Jahr. Der Trend müßte sich binnen weniger Jahre umkehren, hielte er nämlich weiterhin an, könnte man den Zeitpunkt des Beginns einer neuen Eiszeit berechnen.

Nach L. Biermann behindern die die Photosphäre durchsetzenden magnetischen Feldlinien die Konvektion und die Energieabstrahlung. Als Folge erscheinen uns die „dunklen“ Sonnenflecken. Doch fehlt die energetisch komplementäre hellere Region, welche die Energie- und Strahlungsbilanz ausgleicht. Übrigens: Würde das Wasserstoffbrennen in der Kernzone der Sonne plötzlich aufhören, könnte die Sonne noch einige Mio. Jahre im heutigen Ausmaß, aus ihren Energiereserven genährt, weiterstrahlen. Offenbar sind gewaltige Energiemengen im Sonneninneren gespeichert, worüber unter den Astrophysikern noch hitzige Debatten stattfinden.

Den Schwankungen sind auch Regelmäßigkeiten eingepreßt. Eine diese Perioden währt 27 Tage. Das ist die Rotationsperiode der Sonne, weist also deutlich auf Zusammenhänge mit den Sonnenflecken (welche die Sonne nicht gleichmäßig bedecken) hin.

Die Sonnenoszillationen haben einen Gang von 5 min, vergleichbar mit den Erdbebenwellen nach einer Erschütterung. Die kürzesten Schwankungsperioden der SK betragen 4 min.

Die Astronomen erwarten mit Ungeduld, welche SK-Varianten 1986/87, in der Phase minimaler Sonnenaktivität, auftreten werden.

**LITERATUR:**  
Sky and Tel., Juni 1984, S. 501, R. C. Willson, H. Hudson, M. Woodard, The Inconstant Solar Constant.

## Planetoid mit 0,1 A.E. Periheldistanz

Den zahlreichen Entdeckungen des **Infrarot-Satelliten IRAS** fügt sich seit kurzem die Tatsache ein, daß ein **Kleinplanet** existiert, dessen Perihel nur 15 Mio. km von der Sonne entfernt ist. Die vorläufige Bezeichnung des Objekts lautet **1983 TB**.

Bisher war der Planetoid Ikarus der Rekordhalter, der sich bis auf 27 Mio. km der Sonne nähert, d. s. 0,18 A.E. (Astron. Einheiten).

1983 TB hatte im Zeitpunkt seiner Entdeckung von der Sonne den Abstand 30 Mio. km. Seither konnte er auch im sichtbaren Bereich als Objekt der scheinbaren Helligkeit  $16^m$  mit dem 5-m-Spiegel auf dem Mt. Palomar wahrgenommen werden. (Ein Stern der Größenklasse 16 erscheint 6millionenmal schwächer als Sirius.) Die Bahnebene des Kleinplaneten schließt mit der Ekliptik den Winkel  $20^\circ$  ein. Das Aphel von

1983 TB liegt etwas außerhalb der Marsbahn. Für einen Sonnenumlauf braucht der Himmelskörper 1,5 Jahre. Man hält es für möglich, daß er der Rest eines Kometen sein könnte.

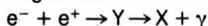
Im Perihel empfängt das Objekt 130 kW/m<sup>2</sup> Leistung von der Sonne, weil es in dieser Phase der Sonne zehnmal näher als die Erde ist, für welche die Solarkonstante (außerhalb der Atmosphäre) 1,35 kW/m<sup>2</sup> beträgt.

**LITERATUR:**

Umschau i. W. u. T., 30. 3. 1984, S. 215, NASA-Information.

## Rätselhaftes Zeta-Teilchen

In der DESY-Anlage, Hamburg, beschäftigt man sich u. a. eingehend mit den Zerfallsarten der Upsilon-Partikel  $Y$  (9,46 GeV/c<sup>2</sup>) und seiner Anregungsformen  $Y'$  (10,02 GeV/c<sup>2</sup>) usw. (Mangels der richtigen Druckkletter nehmen wir den Buchstaben  $Y$  als Ersatzsymbol für Upsilon.)  $Y, Y', \dots$  werden bei  $e^-e^+$ -Kollisionen im DORIS-Ring von DESY erzeugt. Die im Verlaufe der Reaktion entstehenden Teilchen identifiziert der große **Kristallball-Detektor** (s. Wiss. Nachr., Nr. 60, Sept. 1982, S. 40, DESY: DORIS I und DORIS II) mit seinen 732 NaJ-Kristallen. Bei den Kollisionen zeigten sich auch die Prozesse



mit einem Photon und einem Schauer von Teilchen (symbolisiert durch  $X$ ) als Endzustand. Das wäre nichts Besonderes, aber in einigen Fällen besaß das Photon die Energie 1,1 GeV, deren Herkunft nicht auf eine bekannte Umwandlung zurückzuführen ist. Offenbar entsteht beim Zerfall von  $Y$  ein noch unbekanntes, neutrales Teilchen, aus dem dann das hochenergetische Photon und seine Begleiter hervorgehen. Man nannte die Partikel

**Zeta ( $\zeta$ ).**

Ihre Masse beträgt 8,32 GeV/c<sup>2</sup>. H. Bielein und E. D. Bloom leiteten das Entdeckerteam.

Das Signal des Photons ist eine Spitze (Peak) im Intensitäts-Energie-Diagramm, die sich um 5 Standardabweichungen von der Umgebung abhebt. Das allein überzeugt aber noch nicht vollständig von der Existenz des Objekts, weil man an anderen Prozessen schon erfuhr, daß ihnen trotz der so deutlichen Abweichung vom Üblichen keine Realität zugrunde lag (z. B. die Signale der Gravitationswellenantenne von J. Weber). Da jedoch bei zwei verschiedenen Zerfalls-Endzuständen gleichartige Spitzen auftraten, dürfte es sich um mehr als um Geistersignale handeln. Insgesamt fanden 100 000  $Y$ -Zerfälle statt, unter denen die Zeta-Signale anfielen.

Das Zeta paßt in keine der gängigen Theorien. Daher herrscht großes Kopfzerbrechen unter den Forschern, seit sie anläßlich der Leipziger Konferenz im Juli 1984 von der Entdeckung hörten.

Das **Psi-** und das **Upsilon-Teilchen** sind **Quarkonium-Zustände**, d. h. Mesonen, deren Konstituenten ein Quark und sein eigenes Antiquark sind. Psi ist der **Charmonium-Zustand  $c\bar{c}$** , Upsilon der massivere **Bottomium-Zustand  $b\bar{b}$** . Es könnte daher sein, daß das Signal dem Übergang  $Y \rightarrow c\bar{c}$  entspringt. Man untersuchte natürlich auch andere Zerfallskanäle und traf bei der Prüfung nach Übergängen  $Y \rightarrow \tau^+ \tau^-$  auf dasselbe Signal, was sehr zugunsten der Realität von Zeta spricht.

Was könnte nun das Zeta sein? Vielleicht ein **Higgs-Teilchen**? Für diesen Gesichtspunkt ist ein weiteres Ausholen nötig.

Die Wechselwirkungen kommen durch den Austausch virtueller Bosonen zustande. Das sind das Photon ( $\gamma$ ), die Weakonen ( $W^\pm, Z^0$ ) und die Gluonen ( $g$ ) für die elektrische bzw. die schwache bzw. die starke Wechselwirkung.  $\gamma$  und  $g$  sind masselos, nicht hingegen  $W$  und  $Z$ . Um die Ausnahmestellung zu verstehen, wurde von **Higgs** die nach ihm benannte Partikel postuliert.

Bei sehr hohen Energien (über 10<sup>24</sup> eV) sind – so wird dzt. angenommen – die drei Wechselwirkungen ununterscheidbar, d. h. sie bieten dem Beobachter in ihren Verhaltensweisen ein Bild vollständiger Symmetrie. Derartige Extremzustände herrschten ganz kurz nach dem Urknall im Universum. Die Expansion kühlte das Weltall ab, und beim Unterschreiten bestimmter kritischer Temperaturwerte (sprich: Mittelwerte der Teilchenenergien) ging die **Symmetrie spontan** verloren. (Auch beim Kristallisieren aus einer richtungsmäßig homogenen, d. h. sphärisch symmetrischen Schmelze, geht die Kugelsymmetrie zugunsten gewisser ausgezeichnete Richtungen verloren.) Die erste **Entkopplung** bei 10<sup>24</sup> eV nach dem Urknall machte die starke Wechselwirkung gegenüber der elektro-schwachen eigenständig (wird in der GÜT = Grand Unification

Theory angenommen). Bei ca. 100 GeV bricht die Symmetrie von Coulomb- und schwacher Wechselwirkung zusammen, beide Kräfte unterscheiden sich unterhalb der Energieschwelle sehr stark voneinander.

Higgs postuliert (im einfachsten Konzept) zwei komplexe Higgsfelder mit je zwei Real- und Imaginärteilen, die natürlich reell sind). Diesen vier skalaren Feldkomponenten entsprechen vier Higgs-Partikeln. Würden sie alle beim Entkoppeln verschwinden, besäßen die **Weakonen**  $W, Z$  keine Masse, elektrische und schwache Wechselwirkung blieben ununterscheidbar.

Wie überall in der Natur streben auch die Higgs-Felder dem tiefstmöglichen Energiezustand zu. Drei der vier Komponentenfelder sind longitudinal, sie statten  $W^\pm, Z^0$  mit großer Masse aus. Das Photon bleibt masselos, weil es nur transversale Schwingungen ausführt. Die vierte Feldkomponente ist das **Higgs-Teilchen**, das man seit langem vergeblich sucht. Also wird die Vermutung verständlich, das Zeta könnte mit ihm identisch sein. (Es werden noch andere Higgs-Mechanismen erwogen, jener mit zwei Feldern, also nur einem Dublett, ist die einfachste Version. Auf die anderen wollen wir uns nicht einlassen, da für die gegenständliche Frage wenig relevant.)

Leider stehen der Higgs-Interpretation des Zeta gewisse Ungereimtheiten entgegen:

1. Das Verzweungsverhältnis von 0,5% zwischen den denkbaren Zerfallskanälen ist 100mal größer, als die Theorie fordert.

2. Das Häufigkeitsverhältnis zwischen den Prozessen  $Y \rightarrow \gamma + \zeta$  und  $Y' \rightarrow \gamma + \zeta$  ist kleiner als 0,22, sollte aber im Ein-Dublett-Modell 0,9 sein.

3. Die Masse 8,32 GeV/c<sup>2</sup> ist zu klein gegenüber der Prognose.

4. Zeta wurde beim  $Y'$ -Zerfall nicht gesehen, obwohl die Verzweungsverhältnisse bei beiden Zerfallsmodellen ziemlich gleich sein sollten.

Trotzdem besteht nach wie vor die Möglichkeit, daß Zeta ein Higgs sei, wenn nämlich dem Higgs-Mechanismus zwei Feld-dubletts zugrunde liegen.

Da die Higgsmasse auch im höheren TeV-Bereich liegen könnte, werden die Dinge wohl erst mit der Betriebsaufnahme der entstehenden leistungsfähigen Beschleuniger (HERA, LEP, SSC) geklärt werden. Doch sind Überraschungen durchaus schon früher möglich!

**LITERATUR:**

1. Phys. Rev. Lett., 29. 10. 1984, S. 1718, K. Kane, S. Meshkov, F. Wilczek, Interpretation of a New Resonance at 8,32 GeV.

2. Phys. Today, Okt. 1984, S. 18, BMS, Has the Higgs Boson Been Seen in the Crystal Ball?

3. Scient. Am., Okt. 1984; S. 76, Little Mystery.

## Der Halley-Komet — eine Vorschau

Das großartige Schauspiel, das der Halley-Komet beim letzten Erscheinen im Jahre 1910 der Menschheit bot, wird sich 1986, dem Zeitpunkt seiner nächsten Wiederkehr, sicher nicht wiederholen. Die ersten Schätzungen über das Ausmaß der zu erwartenden Prachtentfaltung waren ziemlich enttäuschend für alle, die sich auf ein spektakuläres Ereignis gefreut hatten. Seit her ist einige Zeit verflossen, der Komet (zum erstenmal wiedergesehen am 16. Okt. 1982 als Objekt der Größenklasse 24,2<sup>m</sup> in 10,93 AE = 1,63 Mrd. km Abstand, s. Wiss. Nachr., Nr. 61, Jänner 1983, S. 30, Erstes Wiedersehen mit dem Halley-schen Kometen) nähert sich zusehends der Sonne, was genauere Prognosen erlaubt, die freundlicher als die ersten lauten. Leider bleibt der Umstand aufrecht: Der Komet wird für unsere geographischen Breiten so tief am Himmel stehen, daß dadurch die Beobachtung erschwert, während gewisser Zeitintervalle sogar unmöglich sein wird, zumal auch das Mondlicht ihn an etlichen Tagen überstrahlt.

Der Komet bewegt sich rückläufig um die Sonne, das Aphel seiner Bahn befindet sich jenseits der Neptunbahn, das Perihel innerhalb der Venusbahn. Die Neigung der Bahnebene gegen die Ekliptik beträgt 18°. Der Erdbstand weist zwei Minima auf, eines beim Sonnenanflug, das andere beim Durchlaufen des Perihels. Genauer: Im November 1985 mit 0,62 A. E. = 93 Mio. km und im April 1986 mit 0,42 A. E. = 63 Mio. km. Nun die neuen Schätzungen.

**Sept. 1985:** Helligkeit 12<sup>m</sup>, nur mit stärkeren Fernrohren auszunehmen.

**Okt. 1985:** Beginn der auch für uns rückläufigen Bewegung relativ zu den Hintergrundsternen quer durch das Sternbild Stier (Taurus). Helligkeit steigt auf  $10^m$ . Die zweite Monatshälfte ist mondlos, Sicht auch mit kleineren Fernrohren möglich. Größere Teleskope lassen den Gasschweif erkennen.

**Nov. 1985:** Nur um die Monatsmitte keine Störung durch das Mondlicht. In der Nacht 16./17. Nov. Objekt von  $7^m$  südlich der Plejaden. Erstes Überschreiten der Erdbahn am 27. Nov. südl. Gamma Arietis (Widder) als  $4^m$ -Objekt.

**Dez. 1985:** Am Monatsanfang am Abend mit freiem Auge im Sternbild Fische (Pisces) zu sehen,  $130^\circ$  von der Sonne entfernt. Um die Monatsmitte stört das Mondlicht. Die Helligkeit bleibt durch Wochen ziemlich unverändert. Der Komet entfernt sich von der Erde und nähert sich der Sonne (da rückläufig). Himmelsort in der Neujahrsnacht: tief im SW, nahe Gamma Aquarii (Wassermann), erscheint nach Ende des Zwielichtes als  $6^m$ -Objekt. Mit Feldstechern wird der Gasschweif (einige Vollmondbreiten lang), von der Sonne wegweisend, erkennbar.

**Jänner 1986:** Am 13. Jänner nahe Jupiter und dem zunehmenden Mond im Sternbild Wassermann (Aquarius). Der Staubschweif entwickelt sich aus der  $5^m$ -Coma und vereinigt sich mit dem Gasschweif. Nach dem 25. Jänner im Abendzwielicht frei beobachtbar.

**Februar 1986:** Erst gegen Monatsende zu sehen. Um den 20. Februar sieht man tief im SO-Himmel den Staubschweif, aber der  $2^m$ -Kometenkopf steckt noch tief im Morgenzwielicht. Auffällig die tägliche Längenzunahme und wachsende Krümmung des Schweifs. Um den 23. Februar ist der Schweif  $8^\circ$  bis  $10^\circ$  lang. Kometenkopf hat  $2,5^m$ .

**März 1986:** Verkürzung des Erdbandes, da im Sonnenabflug. Mitte März am mondlosen Morgenhimmel im Sternbild Schütze (Sagittarius) mit  $2,5^m$ , Schweiflänge zunächst  $20^\circ$ , am 25. März wahrscheinlich  $30^\circ$ .

**April 1986:**  $2,1^m$ , die größte Helligkeit Ende der ersten Aprilwoche, aber zu tief am Himmel, um in unseren Breiten gut sichtbar zu sein. Sonnenabstand über  $100^\circ$ . Für das bloße Auge hat die Coma etwa halbe Vollmondbreite. Länge des nach NW weisenden gekrümmten Schweifs  $20^\circ$  bis vielleicht  $40^\circ$ , Gasschweif einige Grad lang. Mitte April zweites Minimum der Erddistanz, Komet bewegt sich nach Norden. Das Schauspiel der gleichzeitigen Mondesfinsternis erleben in der Nacht zum 24. April nur die Bewohner pazifischer und asiatischer Räume.

**Mai 1986:** Helligkeit nur mehr  $4^m$ , die Coma nimmt von Tag zu Tag zu, erscheint diffus. Der Schweif wird schmal und geradlinig, etwa  $10^\circ$  lang. Ende Mai dem unbewaffneten Auge unsichtbar.

**Nach Mai 1986:** Nur mehr mit den Amateuren zugänglichen Instrumenten bis Anfang August erkennbar, Helligkeit  $9^m$ . Wir werden, so es das Wetter zuläßt, erfahren, inwieweit diese Sichtprognose zutreffen wird.

#### LITERATUR:

Sky and Tel., Jänner 1984, S. 9, J. E. Bortle, W. E. Brooks, Ch. S. Morris, Brighter Prospects for Halley's Comet.

Helmut Mayr

## Die Internationalen Physik-Olympiaden (IPHO)

Zum 15. Mal werden heuer je fünf Schüler aus vielen europäischen und außereuropäischen Ländern zum Wettbewerb der „physikalischen Gehirne“ antreten.

Insgesamt machten bis jetzt mehr als 20 Staaten mit. Für heuer werden im Durchführungsland Schweden Vertreter folgender Nationen erwartet:

Bulgarien, Kuba, Tschechoslowakei, Finnland, Deutsche Bundesrepublik, Deutsche Demokratische Republik, Großbritannien, Holland, Ungarn, Island, Norwegen, Polen, Rumänien, UdSSR, Schweden, Jugoslawien, Vietnam, Österreich.

(Leider kommen heuer keine Schüler aus Frankreich, Italien bzw. Griechenland; diese Staaten haben schon an früheren IPHOs teilgenommen.)

Die IPHOs werden jedes Jahr in einem anderen Land durchgeführt. Die Wettbewerbsaufgaben werden auf Universitäts-ebene des einladenden Landes „ausgeknoelt“. Es werden solche Aufgaben angestrebt, bei denen das Lösen nicht nur ein solides physikalisches Wissen voraussetzt, sondern überdies durch den Einsatz von „physikalischer Phantasie“ erst möglich wird.

Wie beim ÖPHO-Wettbewerb finden je ein fünfständiger Block für theoretische und experimentelle Probleme statt. (Dazwischen liegt ein Erholungstag.) Es sind vier theoretische Aufgaben und ein bis zwei Experimente zu bearbeiten. Außerdem wird den Schüler(innen) ein reichhaltiges kulturelles Programm, Besichtigungen und ausreichend Gelegenheit zum Kennenlernen geboten.

Die Begleitlehrer (das sind in unserem Fall Koll. Lechner und ich) sind Mitglieder der sogenannten Internationalen Kommission, die die vom Veranstalterland vorgeschlagenen Aufgaben begutachtet, diskutiert und eventuelle Änderungen beschließt. Außerdem achtet die Kommission auf die statutenmäßige Durchführung dieser Veranstaltung. Die Arbeitssprachen sind Englisch, Russisch, Französisch und Deutsch. Die IPHO dauert üblicherweise 8 bis 10 Tage und findet Ende Juni/Anfang Juli statt.

Österreich nimmt heuer zum dritten Mal an einer IPHO teil. Bisher landeten unsere Schüler im Mittelfeld, doch sind wir überzeugt davon, daß die Einzelleistungen auch für bessere Plätze ausreichen könnten. Für heuer hoffen wir das Beste.

Folgende Schüler(innen) hatten Österreich 1984 vertreten:

Aufinger Klaus; 18 Jahre; 8. Klasse; BRG Wörgl  
Ellinger Klaus; 18 Jahre; 8. Klasse; BRG Wörgl  
Geißelbrecht Jürgen; 18 Jahre; 8. Klasse; BRG Zell/See  
Krischan Klaus; 18 Jahre; 8. Klasse; BRG Leibnitz  
Puntajer Anna; 18 Jahre; 8. Klasse; BRG Wörgl  
Der Schüler Aufinger nahm bereits an der 13. und 14. IPHO in der BRD bzw. in Rumänien teil.

Der Schüler Krischan nahm an der 14. IPHO/Rumänien teil.

## Mitteilungen der ÖPG

**Das Institut für Hochenergiephysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften\*)**

#### Organisatorische Struktur:

Das Institut umfaßt 22 wissenschaftliche und 29 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter. Es ist in fünf Abteilungen gegliedert: Elektronische Experimente, Elektronik, Auswertung, Theorie, EDV.

#### Arbeitsgebiet:

Das Institut führt Experimente der Hochenergiephysik an den Teilchenbeschleunigungsanlagen des internationalen Forschungszentrums CERN in Genf durch. Diese Experimente dienen der Erforschung der kleinsten Bausteine der Materie („Elementarteilchen“) und deren Wechselwirkung (Kräfte). Letztes wissenschaftliches Ziel ist es, ein Bild der Natur zu schaffen, welches alle Vorgänge auf der Basis nur weniger Kräfte, vielleicht sogar nur einer Naturkraft, erklären kann.

Das Institut ist zur Zeit an drei internationalen Großprojekten beteiligt:

#### 1. Antiproton-Proton-Experiment am Collider (UA1-Experiment):

Dieses Experiment lieferte 1983 durch den Nachweis der W- und Z-Bosonen eine der bedeutendsten Entdeckungen der „modernen Physikgeschichte“. Diese Teilchen sind die Vermittler der sog. „schwachen“ Kraft, die z. B. für den Betazerfall der Atomkerne verantwortlich ist und auch eine wesentliche Rolle im Energiehaushalt der Sonne spielt. Zugleich beinhaltet diese Entdeckung, daß schwache und elektromagnetische Kraft nicht mehr grundsätzlich verschieden, sondern Erscheinungsformen einer einzigen Kraft sind (Glashow-Weinberg-Salam-Modell).

Weitere Ziele dieses Experiments sind die Suche nach schweren Quarks, möglichen neuen Teilchen und Phänomenen, die unser Bild vom Aufbau der Materie im Sinne einer Vereinheitlichung vervollständigen sollen.

#### 2. Experimente am Europäischen Hybrid-Spektrometer (EHS-Projekt):

Dieses Experiment dient der besonderen Erforschung der sog. „Charm“-Teilchen (Teilchen mit einem „Charm“-Quark) und deren Reaktionsmechanismus. Es führte zu einer genauen Lebensdauerbestimmung dieser Teilchen.

#### 3. Vorbereitung für das DELPHI-Experiment im Rahmen des LEP-Projekts:

1983 wurde bei CERN der Bau eines neuen Beschleuniger-Rings begonnen, der die Möglichkeit bieten wird, Elektron-Positron-Zusammenstöße bei höchsten Energien (1. Ausbaustufe: 100 GeV) zu studieren. Man erhofft sich dadurch

\*) Nikolsdorfergasse 18, 1050 Wien. Geschäftsf. Direktor: Univ.-Prof. Doktor W. Majerotto.

weitere entscheidende Erkenntnisse und Entdeckungen. Das DELPHI-Detektorssystem gilt als das technologisch innovativste der vier geplanten Experimente.

#### Besondere Aufgaben des Instituts:

Der Beitrag des Instituts zu einem Experiment im CERN besteht in:

- der Entwicklung, im Bau und im Betrieb von Meßapparaturen für die Durchführung und Auswertung der Experimente: Teilchendetektoren (Spurenkammern), Elektronik (u. a. durch Mikroprozessoren gesteuerte Systeme), Meßgeräte für die Auswertung von Blasenkammerbildern usw.;
- Simulationsstudien für die Planung der Experimente, Entwicklung von Computerprogrammen für die Durchführung und Analyse der Experimente;
- Teilnahme an der „Datennahme“ der Experimente im CERN;
- Auswertung der Daten und Meßergebnisse;
- Theoretische Beschreibung und physikalische Deutung der Daten.

W. Majerotto

## Buchbesprechungen

**Oskar Höfling, Pedro Waloschek, Die Welt der kleinsten Teilchen.** Vorstoß zur Struktur der Materie. Rowohlt Verlag Reinbek bei Hamburg 1984. Geb. 511 Seiten, 211 Abb., 68 Tab. S 327,60

Zwei sowohl wissenschaftlich wie didaktisch hervorragend legitimierte Autoren haben ein Buch verfaßt, das – obwohl jegliche Mathematik vermieden ist – in klarer, allgemeinverständlicher Sprache den Leser über die aufregenden Entwicklungen und Forschungsergebnisse umfassend unterrichtet, die seit 90 Jahren immer tiefere Einblicke in den Mikrokosmos gewähren.

Einer der beiden Verfasser ist besonders den Physikern bestens bekannt, bilden doch seine zahlreichen Werke an vielen Schulen eine bedeutende Unterrichtshilfe. Der andere Autor, seit Jahrzehnten im Frontbereich der Forschung tätig, bringt seine dabei gewonnenen – z. T. buchstäblich augenscheinlichen – Erfahrungen mit ein.

Die faszinierende Lektüre des Werkes ist nicht nur gebildeten Laien wärmstens zu empfehlen, die an den Grenzgebieten der Forschung interessiert sind, ganz besonders sollten Schüler der obersten Klassen Höherer Schulen auf das Buch aufmerksam gemacht werden. Befinden sich doch fast in jeder Klasse Jugendliche, die für Informationen der gebotenen Art voll aufgeschlossen sind. Deshalb sollte das Buch in allen Schulbibliotheken den Interessierten zur Verfügung stehen, aber auch der nicht minder wichtigen Aufgabe der Interessensweckung dienen.

Die Gesamtschau führt von den Anfängen der Atomvorstellung bis zum allerletzten Stand der Partikelphysik und richtet den Blick am Schluß noch in die Zukunft. Sie ist auch für den Fachphysiker wertvoll, weil er mühelos einen geschlossenen Überblick über eines der wichtigsten und zukunftsreichsten Teilgebiete der modernen Physik gewinnt. Trotz bewußtem Verzicht auf jegliches mathematisches Beiwerk zeichnet sich die Darstellung durch absolute wissenschaftliche Korrektheit aus.

Das Buch beginnt recht unkonventionell, aber erfolgreich mit der Schilderung eines Arbeitstages des Experimentalphysikers Waloschek bei DESY in Hamburg, übermittelt also gleich ein lebendiges Bild des Wissenschaftsbetriebes. Von Kapitel zu Kapitel geleiten die Autoren den Leser in ausgewogenen Schritten immer tiefer zu den Geheimnissen der materiellen Strukturen unserer Welt. Dabei wird ständig auf noch offene Fragen hingewiesen, denen ein eigener Abschnitt im letzten Kapitel (Überschrift: Offene Fragen) gewidmet ist.

Das Werk übergibt keine Phase der modernen Entwicklung der Teilchenphysik, gleich ob es sich um Quarks, W- und Z-Partikel, die Elektroschwache Wechselwirkung, Higgleiten, magnetische Monopole, Anomalien, Versuche über die Stabilität des Protons, die Ruhmasse des Neutrinos, die bestehenden, entstehenden und geplanten Hochbeschleunigungsanlagen oder um die Querverbindungen zur Kosmologie handelt, um nur das Wichtigste zu nennen.

Die reiche Bebilderung ist in höchstem Maße instruktiv, die eingestreuten 68 Tabellen geben so ziemlich alles bekannt, was an dem Leserkreis verständlichen Daten in der Teilchenphysik anfallt. Die wesentlichen Aussagen sind graphisch unübersehbar hervorgehoben. Die Titel der 8 Kapitel lauten:

1. Begegnung mit der Forschung. 2. Die atomare Welt. 3. Die Atomhüllen und die Quarks. 4. Die Atomkerne. 5. Die subnukleare Physik. 6. Die Revolution der Teilchenphysik. 7. Die Neue Physik und das Standard-Modell. 8. Ein Blick in die Zukunft.

Den Abschluß des Werkes bilden das Register, die Liste der Nobelpreisträger und Literaturhinweise.

Walter Kranzer

**E. Lohmann, Einführung in die Elementarteilchenphysik.** B. G. Teubner. Stuttgart 1983. 148 S., 84 Abb., 33 Tab., flexibel. S 187,20

Das Buch, gedacht für Studienanfänger und naturwissenschaftlich interessierte Leser, umreißt in 10 Kapiteln ohne übertriebenen mathematischen Aufwand, aber doch recht gründlich, die grundlegenden Züge des heutigen Wissens über die fundamentalen Konstituenten der Welt. Die Titel der Kapitel lauten:

1. Grundlagen aus Atom- und Kernphysik. 2. Elektromagnetische Wechselwirkungen. 3. Experimentelle Hilfsmittel. 4. Beschleuniger und Speicherringe. 5. Die elementaren Teilchen und ihre Wechselwirkungen. 6. Quarkmodell und Hadronen. 7. Quarks. 8. Leptonen und Quantenelektrodynamik. 9. Die schwache Wechselwirkung. 10. Quarkmodell des Nukleons.

Das Buch unterscheidet sich von anderen derartigen Einführungen durch die ausführliche Beigabe jener mathematisch-theoretischen Formeln und Beziehungen, ohne deren Kenntnis ein bloß qualitatives Verständnis des Sachgebietes möglich ist. Der Rahmen der Schulmathematik wird nur wenig überschritten (Hyperbelfunktionen, Matrizen, Faltungsintegrale, Feldableitungen), dennoch könnte dies dem Studienanfänger Schwierigkeiten bereiten. In manchen Fällen wird dankenswerterweise auf detaillierte Herleitungen verzichtet, aber stets, sobald das geschieht, darauf wie auch auf vorgenommene Vereinfachungen komplexer Sachverhalte hingewiesen. Der Aktualitätsstand des Buches hält knapp vor der Entdeckung des Top-Quarks. Der Leser, der den Ausführungen bis zum Ende folgt, hat einen sehr gründlichen Einblick in die Welt der fundamentalen Teilchen gewonnen.

Leider verfällt der Verfasser in den unter Fachleuten weit verbreiteten Fehler, sich nicht in die Verständnisvoraussetzungen des Studienanfängers oder des bloß Interessierten hineinzudenken. Es werden Termini gebraucht, die unter Wissenschaftlern gang und gäbe, dem Außenstehenden jedoch fremd sind. Auch werden Begriffe mitunter benützt, deren Erklärung erst später erfolgt (Impulsübertrag, virtuelle Teilchen u. a.). Manchmal fehlt die Erklärung, deren der Anfänger bedarf (Pseudoskalar, Vierervektor, Isospin, Vektormesonen, Hyperonen, Zustandsbreite, Vertex).

Ob jeder Leser über die Psi-Funktion Bescheid weiß, sei dahingestellt, sicher kann er nichts mit der Gruppe SU(3) und dem Begriff „Eichtheorie“ anfangen, denn die Bemerkung, daß sie gewisse Dinge ungeändert lassen, ist doch zu wenig.

Den Leser dürfte es ferner verwirren, die Masse einmal mit GeV, dann wieder mit GeV/c<sup>2</sup>, die Seltsamkeit auf derselben Seite sowohl mit S als auch mit s bezeichnet zu finden. Die Strahlungslänge sollte schon beim ersten Auftauchen anschaulich interpretiert, die Kopplungskonstante grundsätzlich erklärt und vor Gebrauch gesagt werden, was mit der Aussage „A koppelt an B“ eigentlich gemeint ist. Die Unterscheidung von Masse und Ruhmasse des Photons wäre angezeigt.

Schließlich stören sprachliche Ungereimtheiten, wie „die Bahnen schneiden sich“ (statt einander), Elektronen bewegen sich ferner auf Schraublinien (und nicht auf Spiralen) um die magnetischen Feldlinien oder der Satz (S. 129) „Danach schließt sich der reine Muonenstrahl an, bestehend aus Ablenk- und Quadrupolmagneten“ (der Strahl besteht doch aus Muonen!).

Schade, daß das ungemünzte informative, reichlich mit Originalbildern und -skizzen von CERN, DESY usw. ausgestattete Büchlein die angeführten Schönheitsfehler aufweist, die etwa Abiturienten Schwierigkeiten bereiten, indem sie vieles unverständlich machen, das gerade ihnen klar gemacht werden sollte! Dann wäre natürlich der Buchumfang größer. Aber der Autor sollte sich bei einer Neuauflage dieser Mühe unterziehen, um ein so dringend benötigtes Buch wie dieses der Leserschaft voll zugänglich zu machen!

Walter Kranzer

# WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

Nancy Birdsall

## Bevölkerungswachstum

### Höhe und Auswirkungen auf die Entwicklung

Der diesjährige Weltentwicklungsbericht hebt drei Themen hervor:

- Schnelles Bevölkerungswachstum ist ein Entwicklungsproblem. Ein anhaltend schnelles Bevölkerungswachstum verringert wahrscheinlich die Lebensqualität von Millionen von Menschen. Die Kosten, getragen vor allem von den Armen der Entwicklungsländer, waren und sind vertane Chancen zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen.
- Es gibt geeignete staatliche Maßnahmen zur Verringerung der Geburtenhäufigkeit. Die Verringerung des Bevölkerungswachstums wirft schwierige Fragen nach den Grenzen staatli-

cher Maßnahmen auf. Familie und Familienplanung sind Lebensbereiche, in denen die fundamentalsten menschlichen Werte berührt werden. Der Weltentwicklungsbericht 1983 plädierte für eine Verringerung der direkten staatlichen Eingriffe und wies auf die Bedeutung von angemessenen Anreizen (insbesondere Preisen) für die Beschleunigung der Entwicklung hin. Der Bericht 1984 vollzieht scheinbar eine Kehrtwendung, indem er für schnelle und umfassende staatliche Maßnahmen in einem Bereich plädiert, in dem die privaten Rechte Vorrang haben. Die beiden Positionen sind jedoch miteinander vereinbar, da der frühere Bericht auch die Forderung an den Staat erhob, Prioritäten zu setzen. Der Bericht 1984 erläutert die zwingende Notwendigkeit staatlicher Maßnahmen zur Verringerung des Bevölkerungswachstums, vor allem dadurch, daß die „Signale“ – in einem weiteren Sinne die Anreize – geändert werden, die eine hohe Geburtenrate fördern.

- Nach den Erfahrungen kann durch politische Maßnahmen etwas bewirkt werden. In den beiden vergangenen Jahrzehnten, und insbesondere in den letzten Jahren, ist die Geburtenhäufigkeit in vielen Entwicklungsländern auf Grund staatlicher Maßnahmen beträchtlich gefallen.

### Erfahrungen und Aussichten

Bis zum 20. Jahrhundert nahmen Wohlstand und Bevölkerung gemeinsam zu. Im 18. Jahrhundert, als sich die Lebensbedingungen stetig zu verbessern begannen, stieg die Wachstumsrate der Weltbevölkerung leicht an (auf damals hohe 0,5% jährlich) – am schnellsten in Europa und Nordamerika, wo Wirtschaftswachstum einsetzte.

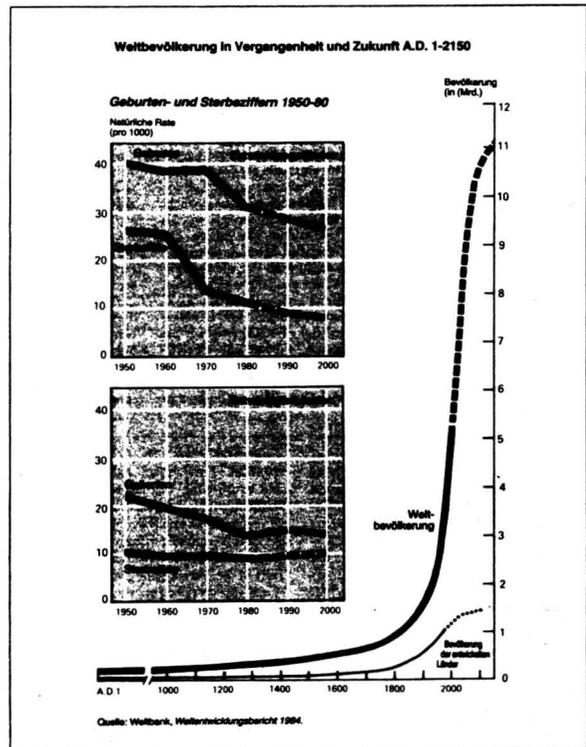
Im 20. Jahrhundert stieg das Wachstum der Weltbevölkerung dramatisch an, auf 1% pro Jahr vor 1950 und später auf beispiellose 2%, wodurch sich die Weltbevölkerung von 1950 bis heute nahezu verdoppelte (vgl. Abbildung). Doch das Bevölkerungswachstum konzentrierte sich im 20. Jahrhundert dort, wo das Einkommen niedrig ist, insbesondere seit 1950 in Entwicklungsländern mit niedrigem Einkommen. Diese Entkopplung von Bevölkerungswachstum und Wohlstand ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß das verbesserte öffentliche Gesundheits- und Verkehrswesen die Sterblichkeit selbst dort senkten, wo der Lebensstandard nur geringfügig stieg. Vom weltweiten Anstieg der Bevölkerung im Jahre 1984 in Höhe von etwa 80 Mio. werden mehr als 70 Mio. auf die Entwicklungsländer entfallen, in denen bereits etwa drei Viertel der Weltbevölkerung leben. Die Kombination von anhaltend hoher Geburtenhäufigkeit und stark reduzierter Sterblichkeit hat zu einem jährlichen Bevölkerungswachstum von 2 bis 4% in den meisten Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen geführt (verglichen mit 1% und weniger in den meisten entwickelten Ländern). Ein jährliches Wachstum von 3% hat zur Folge, daß die Bevölkerung in 70 Jahren um das Achtfache steigt; bei jährlich 1% verdoppelt sie sich nur.

Für die Entwicklungsländer insgesamt hat sich das Bevölkerungswachstum in letzter Zeit etwas verringert, von einem Höchststand von 2,4% im Jahre 1965 auf etwa 2% heute. Weitere Senkungen werden jedoch nicht automatisch folgen. Die meisten Familien in den Entwicklungsländern (mit Ausnahme von China) haben heute mindestens vier Kinder, und ländliche Familien haben fünf oder mehr. In einigen Ländern mit abnehmender Geburtenhäufigkeit in den siebziger Jahren gibt es Anzeichen, daß sie in jüngster Zeit auf einem noch recht hohen Niveau stagniert, während in vielen afrikanischen Ländern und in Mittelamerika die Wachstumsraten weiter zunehmen. Überdies hat die Eigendynamik der Bevölkerungsentwicklung zur Folge, daß die Wachstumsraten in den Entwicklungsländern noch mehrere Jahrzehnte hoch bleiben werden, selbst wenn die Ehepaare weniger Kinder haben; wegen der großen Zahl junger Menschen, die jetzt ins zeugungsfähige Alter kommen, wird die absolute jährliche Zunahme der Bevölkerung wahrscheinlich auf über 80 Mio. Menschen ansteigen und bei dieser Größenordnung bis weit in das nächste Jahrhundert verharren.

Wenn die Annahmen, die den „Standard“-Projektionen der Weltbank zugrunde liegen, richtig sind, wird die Weltbevölkerung von heute fast 4,8 Mrd. auf rund 10 Mrd. im Jahre 2050 ansteigen – die Bevölkerung der heutigen entwickelten Ländern erhöht sich von etwa 1,2 auf 1,4 Mrd. und die der heutigen Entwicklungsländer von 3,6 auf 8,4 Mrd. Bis sich die Weltbevölkerung (bei über 11 Mrd. etwa im Jahre 2150) stabilisiert, wird die Bevölkerung Indiens 1,8 Mrd. betragen, wodurch das Land zum bevölkerungsreichsten der Erde wird. Bangladesh, ein Land mit einer Fläche von etwa einem Viertel derjenigen Frankreichs, würde eine Bevölkerung von 430 Mio. haben. Auf Afrika südlich der Sahara und auf Südasien werden etwa 50% der Weltbevölkerung entfallen – verglichen mit etwa 30% heute.

In gewisser Hinsicht sind die Grundannahmen dieser Projektionen optimistisch – einschließlich der, daß in einigen Entwicklungsländern um das Jahr 2005 und in allen um 2045 die Geburtenhäufigkeit auf das Reproduktionsniveau zurückgehen wird. Selbst bei schnellem Einkommenswachstum und Bildungsfortschritten in den nächsten zwei Jahrzehnten werden die ärmeren Länder Afrikas und Südasiens wahrscheinlich nicht das Einkommens- und Bildungsniveau erreichen, das in den sechziger Jahren zum Rückgang der Geburtenhäufigkeit in Ländern wie Brasilien, der Republik Korea und Malaysia führte. Trotzdem wird angenommen, daß ihre Geburtenrate deutlich abnehmen wird. Selbst wenn dies der Fall ist, wird sich ihre Bevölkerung in den nächsten 50 Jahren mehr als verdoppeln.

Alternativprojektionen zeigen, wie eine schnellere Abnahme der Geburtenhäufigkeit als in der „Standard“-Projektion angenommen aussehen würde. Kenia würde z. B. im Jahre 2050 bei



sofortiger und schneller Abnahme der Geburtenhäufigkeit 70 Millionen an Stelle von 120 Millionen Einwohnern haben, gegenwärtig sind es 18 Millionen. Schnellere Senkungen der Sterblichkeit sind ebenfalls möglich, doch sie würden nicht wie jene der fünfziger und sechziger Jahre das Bevölkerungswachstum erhöhen. Für den größten Teil der Entwicklungsländer geht die Zeit, in der Verringerungen der Sterblichkeit eine starke Bevölkerungszunahme zur Folge haben, schnell vorbei. Zum Teil ist dies darauf zurückzuführen, daß die Sterblichkeit, obwohl sie im Vergleich zu den Industrieländern noch immer hoch ist, bereits beträchtlich abgenommen hat. Hinzu kommt, daß ein Rückgang der Sterblichkeit das Bevölkerungswachstum weniger beeinflusst, wenn die Geburtenhäufigkeit abnimmt, wie dies in den meisten Ländern der Fall ist oder sein wird.

### Ein Entwicklungsproblem

Der Bericht führt vor allem drei Gründe an, warum ein schnelles Bevölkerungswachstum die Entwicklung hemmt. Erstens erschwert es die Wahl zwischen einem höheren Gegenwartsverbrauch und Investitionen, die für einen höheren Zukunftsverbrauch erforderlich sind. Die Mittel pro Kopf nehmen mit wachsender Bevölkerung ab, Investitionen in die „Bevölkerungsqualität“ werden schwierig. Doch letztlich sind besser ausgebildete Menschen der entscheidende Wachstumsfaktor. So bewirkten in den meisten Entwicklungsländern die hohe Geburtenhäufigkeit und die seit Mitte der sechziger Jahre fallende Kindersterblichkeit, daß heute etwa 40% der Bevölkerung 15 Jahre oder jünger sind. In vielen Ländern wird sich Ende dieses Jahrhunderts die schulpflichtige Bevölkerung verdoppelt oder verdreifacht haben. Malawi könnte bei einer schnellen Verringerung der Geburtenhäufigkeit mehr als 50% sparen, wenn die Anzahl der Kinder, die um 2015 zur Schule kommen, langsamer wächst. Die Qualität der Schulen ist in Malawi (wie in vielen anderen Entwicklungsländern) schlecht; die Ersparnisse könnten für ihre Verbesserung genutzt werden.

Zweitens bedroht das Bevölkerungswachstum in vielen Ländern, in denen die Bevölkerung noch stark von der Landwirtschaft abhängt, das schon gefährdete Gleichgewicht zwischen knappen natürlichen Ressourcen und Menschen. Zum Teil tritt das Problem deshalb auf, weil das schnelle Bevölkerungswachstum den Wechsel von Arbeitskräften aus der wenig produktiven in die moderne Landwirtschaft und in andere moderne Arbeitsplätze verlangsamt. In vielen Ländern wird ein Großteil der vorausgerechneten gewaltigen Zunahme des Arbeitskräftebestandes von der Landwirtschaft absorbiert werden müssen, ein Problem, dem sich die gegenwärtig entwickelten Länder niemals gegenübersehen. In Kenia werden wahrscheinlich 70% der Arbeitskräfte noch bis 2025 im Agrarsektor tätig sein,

und der Arbeitskräftebestand wird sich gegenüber heute verdoppeln. Das Ergebnis werden wahrscheinlich anhaltend niedrige Einkommen vieler Familien und in einigen Fällen eine Belastung des traditionellen Agrarsystems sowie Umweltschäden sein, die die wirtschaftliche Wohlfahrt der Armen bedrohen. In Teilen von Afrika, Bangladesh und China hat der Bevölkerungsdruck die Menschen bereits gezwungen, härter zu arbeiten, um ihr Haushaltseinkommen in der traditionellen Landwirtschaft zu verdienen. In den Flußniederungen des Ganges mußten sich auf Grund des Bevölkerungswachstums und der Landknappheit viele Menschen zu dicht am Wasser in der Zone der jährlichen Überschwemmungen ansiedeln.

Schließlich erschwert schnelles Bevölkerungswachstum notwendige wirtschaftliche und soziale Änderungen. Wie dem Artikel von Dennis Mahar zu entnehmen ist, ist eine hohe Geburtenrate eine Hauptursache des schnellen Wachstums der Städte. Die Städte in den Entwicklungsländern wachsen zu einer beispiellosen Größe heran. Solch ein Wachstum bringt enorme neue Probleme mit sich, die Lebensbedingungen der Stadtbewohner aufrechtzuerhalten oder gar sie zu verbessern.

Aus mehreren Gründen ist das Bevölkerungswachstum heute für die Entwicklungsländer eine größere ökonomische Belastung, als es für die gegenwärtigen Industriestaaten während ihrer wirtschaftlichen Entwicklung war.

- Das Bevölkerungswachstum ist gegenwärtig viel höher – in Europa und Japan überstieg im 19. Jahrhundert das Bevölkerungswachstum selten 1% pro Jahr.

- Auswanderungen, wie sie im 19. Jahrhundert aus Europa erfolgten, sind für heutige Entwicklungsländer nicht möglich. In Großbritannien betrug die Emigration in der Zeit von 1846 bis 1932 fast 45% des Bevölkerungszuwachses, verglichen mit 0,5% für Asien zwischen 1970 und 1980.

- In den Entwicklungsländern sind im Vergleich zu Europa, Japan und Nordamerika zur Zeit ihres höchsten Bevölkerungswachstums die Einkommen noch niedrig, ist weniger Human- und Sachkapital vorhanden und sind die politischen und sozialen Institutionen in einigen Ländern weniger gut entwickelt.

- Viele Entwicklungsländer, deren Volkswirtschaften noch stark vom Agrarsektor abhängen, können nicht länger auf große Flächen ungenutzten Landes zurückgreifen. In Japan und Großbritannien endete das Wachstum der ländlichen Bevölkerung in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts; in vielen afrikanischen und asiatischen Ländern übersteigt heute noch das Bevölkerungswachstum auf dem Lande 2% (selbst wenn man die Abwanderung in die städtischen Gebiete berücksichtigt), was eine Verdoppelung der Bevölkerung in den ländlichen Gebieten in jeweils 40 Jahren zur Folge hat.

Länder mit hohem Bildungsniveau, mit hohen Investitionen in das Transport- und Nachrichtenwesen und relativ stabilen politischen und sozialen Verhältnissen haben gute Voraussetzungen, um mit dem schnellen Bevölkerungswachstum fertig zu werden. Dies gilt unabhängig von ihren natürlichen Ressourcen oder einer bereits herrschenden Überbevölkerung – doch dies sind in der Regel auch die Länder, in denen sich das Bevölkerungswachstum bereits jetzt verlangsamt.

Das schnelle Bevölkerungswachstum ist auch für Länder mit unerschlossenen natürlichen Ressourcen ein Problem und erschwert die Entwicklung der menschlichen Fertigkeiten und der administrativen Strukturen, die benötigt werden, um diese natürlichen Ressourcen auszubenten. In Brasilien, der Elfenbeinküste und Zaire erfordert z. B. die Erschließung des ungenutzten Landes große komplementäre Investitionen für Straßen, öffentliche Dienstleistungen, die Entwässerung sowie die sonstige Agrarinfrastruktur.

Wo neues Kulturland oder andere ausbeutbare Ressourcen nur begrenzt vorhanden sind – wie in Ägypten, Bangladesh, Burundi, China, Indien, Java (Indonesien), Kenia, Malawi, Nepal und Ruanda –, sind die kurzfristigen Schwierigkeiten auf Grund des schnellen Bevölkerungswachstums offenkundig. Steigerungen der Agrarerträge wären möglich, und eine Expansion des Industriesektors könnte Exportmöglichkeiten eröffnen, um zusätzliche Nahrungsmittelimporte bezahlen zu können. Doch beide Lösungen erfordern kostspielige Investitionen, die Entwicklung neuer Institutionen und zahlreiche wirtschaftliche und soziale Anpassungen – all dies ist leichter zu bewerkstelligen, wenn die Bevölkerung nur langsam wächst.

Die hohe Geburtenhäufigkeit macht sich auch in den Familien negativ bemerkbar, insbesondere bei den Kindern von armen Großfamilien. In Brasilien beispielsweise leben mehr als 60% aller Kinder in den 40% der ärmsten Haushalte, die gerade 10% des Gesamteinkommens des Landes verdienen. Von Generation zu Generation kann eine ungleiche Einkommensverteilung durch eine ungleiche Verteilung der Chancen weitergetragen werden, da sich die Nachteile einer großen Fa-

milie und niedriger Investitionen in die Kinder gegenseitig verstärken.

### Notwendigkeit staatlicher Maßnahmen

Kinderreich sind die Armen mit mangelhafter Ausbildung, niedrigem und unsicherem Einkommen sowie schlechtem Zugang zu Gesundheits- und Familienplanungseinrichtungen; gerade sie leiden aber darunter, wenn das Bevölkerungswachstum die Entwicklung bremst. Diese Erkenntnis liefert den Ansatzpunkt für geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Geburtenrate. Aus der Sicht der armen Eltern sprechen gute Gründe dafür, daß die ökonomischen Kosten von Kindern niedrig, deren Vorteile jedoch hoch sind und damit Kinderreichtum ökonomisch sinnvoll ist.

- Wo die Löhne niedrig sind, kann das der Mutter entgangene Einkommen während der Betreuungszeit des Kleinkindes später leicht vom Kind verdient werden.

- Wo die Schulmöglichkeiten begrenzt sind, sind die möglichen Investitionen in die Kinder nicht offensichtlich. Wenn sich die Schulmöglichkeiten verbessern, wird die Ausbildung als Schlüssel für den zukünftigen Erfolg der Kinder (und ihrer Eltern) erkennbar, und die Eltern wünschen weniger und besser ausgebildete Kinder.

- Bei gegebener hoher Sterblichkeit können die Eltern den Wunsch nach vielen Babys haben, um sicher zu sein, daß einige davon überleben. Wo Jungen wichtiger als Mädchen sind – z. B. als Alterssicherung –, können die Eltern fünf Kinder benötigen, um sicherzugehen, daß ein Sohn überlebt.

- Für viele arme Eltern kann die Alterssicherung durch Kinder stärker ins Gewicht fallen als die unmittelbaren Kosten für die Kinder. Für die Armen aus dem Lande können Kinder die bestmögliche „Rente“ für das Alter sein, die nicht dem Diebstahl, der Inflation oder dem Neid der Nachbarn ausgesetzt ist. (Selbst Land ist ein Besitz, der kaum einen Ertrag ohne erwachsene Kinder abwirft, wenn die Eltern alt sind.)

- In einigen Entwicklungsländern fördert das Familiensystem eine hohe Geburtenhäufigkeit. Für viele junge Frauen können eine frühe Heirat und viele Kinder der sicherste Weg zu einem befriedigenden Erwachsenenendesein und einem relativ gesicherten Alter sein.

- Begrenzte Informationen und unzureichende moderne und sichere Verhütungsmittel können eine hohe Geburtenhäufigkeit unter den Armen begünstigen.

Doch trotz der offensichtlichen Vorteile vieler Kinder ist es aus streng ökonomischer Sicht ungewiß, ob die Eltern immer Vorteile haben. Die Kinder können die Eltern mehr kosten als erwartet. Ökonomische Vorteile hängen von Umständen ab, die die Eltern nur schwer vorhersehen können – ob sie Land gewinnen oder verlieren, ob ihre Kinder gesund sind, ob sie das richtige Verhältnis von Söhnen zu Töchtern haben usw. Selbst die Altersunterstützung ist nicht sicher, wenn die Kinder sterben, weit entfernt leben oder selbst keine Arbeit finden.

Auch wenn Eltern durch viele Kinder möglicherweise Vorteile haben, so erleiden die Kinder häufig Nachteile, wenn die Geburten kurz hintereinander folgen und die sich daraus ergebenden Belastungen der Gesundheit und Ernährung der Mutter ein geringes Geburtsgewicht, eine frühzeitige Entwöhnung und einen schlechten Gesundheitszustand der Kinder in den kritischen frühen Lebensjahren zur Folge haben. Allein eine bessere Geburtenfolge könnte in vielen Entwicklungsländern die Kindersterblichkeit um 10% senken. Mangelnde Ernährung als Kleinkind führt zu verstärkten Lernschwierigkeiten in späteren Jahren.

Wenn die Eltern viele Kinder in der Hoffnung auf ökonomische Vorteile besitzen, besteht der erste Schritt zur Verringerung der Geburtenhäufigkeit darin, ihre Armut und die Ungewißheit über ihre eigene Zukunft zu verringern. In diesem Sinne ist die anhaltend hohe Geburtenhäufigkeit in einer sich ändernden Welt ein Symptom für einen Mangel an Zugang zu Gesundheitsleistungen, die die Notwendigkeit verringern, viele Kinder zur Welt bringen zu müssen, um gegen die Baby- und Kindersterblichkeit Vorsorge zu treffen; zur Bildung, die die Hoffnungen der Eltern hinsichtlich der Zukunft der Kinder und die Aussichten der Frauen verbessern würde; zur sozialen Sicherung und zu anderen Formen der Alterssicherung; zu Konsumgütern und sozialen Aufstiegsmöglichkeiten, für die man auf Kinder verzichten würde; und zu Familienplanungseinrichtungen, die die Mittel zur Geburtenkontrolle bereitstellen.

Der Bericht nennt zwei Gründe für eine staatliche Bevölkerungspolitik. Erstens kann beim Übergang von einer traditionellen zu einer modernen Volkswirtschaft der private Nutzen vieler Kinder den sozialen Nutzen übersteigen. Einzelne arme Familien mögen gute Gründe für eine Großfamilie haben. Doch die

Gesellschaft als Ganzes, und insbesondere die Armen, wird durch rasches Bevölkerungswachstum schlechter gestellt.

Ein Grund für den Unterschied zwischen privatem und sozialem Nutzen ist, daß die Eltern nicht alle Kosten ihrer Kinder tragen. In den meisten Ländern werden die Gesundheits- und Bildungsausgaben für Kinder vom Staat hoch subventioniert, ebenso wie Straßen, das Nachrichtenwesen und andere öffentliche Dienstleistungen, die Arbeitsplätze und Einkommen schaffen. Selbst wenn nur einige Ehepaare viele Kinder haben, weil das Gesundheitswesen und die Schulmöglichkeiten begrenzt sind, erschweren ihre großen Familien es dem Staat noch mehr, das Angebot an derartigen Einrichtungen entsprechend auszudehnen. Doch es ist unwahrscheinlich, daß ein Ehepaar aus eigenem Antrieb die möglichen privaten Vorteile von Kindern preisgibt, wenn sein individuelles Opfer nur einen minimalen Nutzen für die Kinder und Enkelkinder anderer Familien hat.

Die Lücke zwischen privatem und sozialem Nutzen kann verringert werden; bessere Bildungs- und Beschäftigungsmöglichkeiten, insbesondere für Frauen, ändern die Anreize für eine hohe Geburtenhäufigkeit und ermöglichen den Eltern, den Nutzen aus einer großen Zahl von Kindern in anderer Form zu realisieren. Staatliche Unterstützung für organisierte Familienplanungsprogramme können es den Ehepaaren wesentlich erleichtern, die Anzahl und die zeitliche Folge ihrer Kinder zu bestimmen, die Lücke zwischen der gegenwärtigen und gewünschten Familiengröße zu schließen und die vorhandene Geburtenhäufigkeit näher an die sozialen Ziele heranzuführen. Und Anreize zur Förderung einer geringen Geburtenhäufigkeit sind ein Weg für die Gesellschaft, Ehepaare, die auf die privaten Nutzen eines zusätzlichen Kindes verzichten, zu entschädigen und private und soziale Ziele besser in Übereinstimmung zu bringen. Durch solche Maßnahmen gibt der Staat den Menschen die Möglichkeit, einen sozialen Kontrakt untereinander darüber abzuschließen, weniger Kinder zu haben.

Die zweite Rechtfertigung für Maßnahmen der Regierung besteht darin, daß die Menschen mehr Kinder haben, als dies der Fall sein würde, wenn sie mehr Information über – und einen leichteren Zugang zu – einfachen Mitteln der Geburtenkontrolle hätten. Beispielsweise mögen Ehepaare nicht wissen (oder glauben), daß die Kindersterblichkeit fällt, oder sie sind sich der Gesundheitsrisiken für Mutter und Kind bei vielen kurz aufeinanderfolgenden Geburten nicht voll bewußt. Selbst wenn sie von der Familienplanung gehört haben, mag es ihnen entweder an praktischem Wissen oder an modernen Verhütungsmitteln mangeln, und sie mögen sich auf weniger wirksame traditionelle Methoden verlassen müssen.

In dieser Situation kommt dem Staat eine wichtige Rolle zu. Zunächst kann er den Wunsch der Eltern nach weniger Kindern fördern, indem er einfach mehr Informationen anbietet – über die geänderte Sterblichkeit und den gesundheitlichen Nutzen einer kontrollierten Geburtenfolge. Er kann eine breite Versorgung mit modernen Verhütungsmitteln unterstützen. Viele moderne Verhütungsmittel können nur über medizinische Einrichtungen angeboten werden, und die Verbreitung von Informationen und Verhütungsmitteln ist wenig gewinnbringend, wenn die Distributionssysteme schlecht sind, die Gesundheitsvorsorge unzureichend, die Nachfrage unbekannt und möglicherweise begrenzt ist. In vielen Ländern muß daher die Regierung die Verteilung von Verhütungsmitteln subventionieren oder gar selbst übernehmen.

Die Notwendigkeit einer staatlichen Unterstützung der Familienplanung wird dort am deutlichsten, wo die Ehepaare keine weiteren Kinder wollen, doch oft wegen eines mangelnden Zugangs zu wirksamen Verhütungsmitteln keine verwenden. Bei geschätzten 65 Millionen Ehepaaren in den Entwicklungsländern besteht solch ein „ungedeckter Bedarf“ an Familienplanungsinformationen und -diensten. Viele von ihnen sind arm, und viele leben in schlecht versorgten ländlichen Gebieten.

### Positive Erfahrungen

Früher wurde angenommen, daß eine Senkung der Geburtenhäufigkeit in den Entwicklungsländern eine typische Reihenfolge von ökonomischen Fortschritten erfordert: Urbanisierung, Industrialisierung, eine Verlagerung der Produktion vom Haushalt in die Fabriken, ein Einkommenszuwachs auf ein ähnliches Niveau wie in den heute entwickelten Ländern. Diese Ansicht schien durch den starken Geburtenrückgang in den industrialisierten Volkswirtschaften von Korea, Singapur und Hongkong in den sechziger Jahren bestätigt zu werden.

Doch der Geburtenrückgang in vielen anderen Staaten, der in den späten sechziger Jahren einsetzte und sich in den siebziger Jahren fortsetzte, ist mit einer anderen Entwicklung ver-

bunden: Bildung, Gesundheit, Linderung der Armut und Maßnahmen zur Sicherung eines breiten Zugangs zu Familienplanungseinrichtungen. Die Abnahme der Geburtenhäufigkeit seit 1965 ist viel enger mit der Erwachsenenbildung und der Lebenserwartung verbunden als mit dem Pro-Kopf-BSP. Und mehrere Länder, die die Familienplanung förderten, haben eine signifikant niedrigere Geburtenhäufigkeit, als nach ihrem Einkommensniveau zu erwarten wäre, z. B. Ägypten, China, Indien, Indonesien, Kolumbien, Korea, Sri Lanka und Tunesien. (Länder mit im Vergleich zu ihrem Einkommen relativ hoher Geburtenhäufigkeit sind Algerien und Marokko, die meisten afrikanischen Länder südlich der Sahara und Venezuela.) In den meisten Ländern mit niedriger Geburtenhäufigkeit hat diese schneller als in den heutigen entwickelten Ländern abgenommen – sowohl wegen der Verfügbarkeit moderner Verhütungsmittel als auch wegen der schnellen Ausweitung der Bildungsmöglichkeiten in der Nachkriegsperiode.

Unterschiede zwischen Ländern der gleichen Region sind zum Teil auf die Bevölkerungspolitik zurückzuführen. Die Geburtenhäufigkeit ist in Kolumbien, wo Familienplanungsprogramme seit den späten sechziger Jahren von der Regierung unterstützt wurden, schneller und auf ein niedrigeres Niveau gefallen als in Brasilien, einem reicheren Land, in dem das Engagement der Zentralregierung gering ist (vgl. den Artikel von Martha Ainsworth über die Ländererfahrungen mit der Bevölkerungspolitik). Sie ist stärker in Ägypten und Tunesien, Ländern mit demographischen Zielen, gefallen als in dem reicheren Nachbarland Algerien. Sie ist stärker in Indien als in Pakistan gefallen; beides Länder mit einem geringen Pro-Kopf-Einkommen, doch in Pakistan wurde die Bevölkerungspolitik in den vergangenen beiden Jahrzehnten nicht nachhaltig unterstützt. Die Verteilung des Rückgangs zeigt, daß Einkommens-, religiöse und kulturelle Unterschiede nicht alles erklären. Bildung, Familienplanungseinrichtungen, der Status der Frauen und ökonomische und soziale Maßnahmen, die der Mehrheit der Menschen Chancen eröffnen, sind von Bedeutung.

**Quelle:** Finanzierung und Entwicklung. Vierteljahresschrift des IWF und der Weltbank, 21. Jahrgang, 1984, Nr. 3.

## Die Ausländerfrage als Aufgabe West-Berlins

In West-Berlin leben derzeit rund 245 000 Ausländer. Das sind etwa 13 % der Gesamtbevölkerung. Im Vergleich zu westdeutschen Großstädten ist der Ausländeranteil an der Wohnbevölkerung in Berlin – Frankfurt/Main 22%, Stuttgart 17%, Köln 15% – keineswegs extrem hoch. Die politische Brisanz des Ausländerproblems ist jedoch in der von der Mauer eingeschlossenen Stadt wesentlich größer als in westdeutschen Großstädten. Politiker unterschiedlicher Couleur sind sich darin einig, daß die Bewältigung des ungelösten Ausländerproblems die größte Zukunftsaufgabe Berlins ist.

### Abwanderung von Deutschen

Die bevölkerungspolitische Situation der Stadt ist durch eine anhaltende Abwanderung von Deutschen in die Bundesrepublik gekennzeichnet, dem bis vor kurzem ein stetiger Zustrom von Ausländern gegenüberstand. Durch verschärfte Asylbestimmungen, eine restriktive Einwanderungspolitik sowie durch finanzielle Anreize für rückkehrwillige Ausländer ist der Zustrom gestoppt worden. Seit einem Jahr nimmt die Zahl der in Berlin wohnenden Ausländer leicht ab. Ob diese Entwicklung anhalten wird, ist schwer abzuschätzen.

Ein weiteres Kennzeichen der demographischen Entwicklung in West-Berlin ist das unterschiedlich generative Verhalten zwischen deutscher und ausländischer Bevölkerung. Während die Geburtenziffern bei den Deutschen seit Jahren extrem niedrig liegen, ist die Geburtenfreudigkeit bei den Ausländern erheblich größer. Von den 17 819 Neugeborenen im Jahre 1983 waren 3771 Ausländerkinder. Das sind nahezu 22% der Neugeborenen in Berlin.

Diese Entwicklung muß auf dem Hintergrund der sinkenden Einwohnerzahl West-Berlins gesehen werden. Sie hat sich im letzten Jahrzehnt um rund 200 000 auf derzeit knapp zwei Millionen verringert. Der Anteil der Deutschen ging in diesem Zeitraum um etwas mehr als 300 000 auf rund 1,7 Millionen zurück, während sich die Zahl der Ausländer nahezu verdoppelte (1971: 138 000, 1984: etwa 245 000). Die demographische Entwicklung wird sich bis zum Jahre 2000 aller Wahrscheinlichkeit weiter zuungunsten des deutschen Bevölkerungsanteils

auswirken. Das Deutsche Wirtschaftsinstitut in Berlin hat für das Jahr 1990 einen Ausländeranteil der Gesamtbevölkerung von 280 000 prognostiziert bei anhaltender Abwanderung von Deutschen in die Bundesrepublik.

### Die Illusion einer Internationalisierung

Während der Berliner Senat und der weit überwiegende Teil der deutschen Bevölkerung ein weiteres Ansteigen der Ausländerzahl aus vielerlei Gründen nicht mehr für vertretbar halten, gibt es allerdings auch Stimmen, die eine gegenteilige Auffassung vertreten. Eine wachsende Internationalisierung der Wohnbevölkerung und die damit verknüpfte kulturelle Vielfalt eröffnen neue Perspektiven für eine Lösung der Berlin-Frage. Eine damit verbundene Lockerung des Identitätsbewußtseins der Stadt als Teil der westlichen Gesellschaftsordnung nehmen die Vertreter dieser Auffassung bewußt in Kauf. Über einen nennenswerten Anhang in der Bevölkerung verfügen die Exponenten dieser Ansicht, die auf dem linken Flügel des politischen Spektrums angesiedelt und teilweise durch eine Aussteigermentalität geprägt sind, freilich nicht.

Die Vision dieser Gruppe hält nach den Worten der Ausländerbeauftragten des Berliner Senats, Barbara John, weder historischen Erfahrungen noch analytischen Prüfungen der Wirklichkeit stand. Politische Inseln, wie beispielsweise Hongkong, stünden eher in der Gefahr, einer Trivialisierung und Vulgarisierung ihres kulturellen Lebens zu erliegen und einen wirtschaftlichen Substanzverlust zu erleiden. Auch in Berlin seien derartige Schwächen seit längerer Zeit erkennbar. Eine massive Internationalisierung der Wohnbevölkerung könne diese Schwächen noch verstärken.

Die Ausländerpolitik des Senats ist demgegenüber darauf ausgerichtet, behutsam zwar, aber dennoch mit beharrlicher Konsequenz der Eingliederung der Ausländer in die deutsche Bevölkerung den Weg zu ebnen. Dabei ist man sich darüber im klaren, daß bei den Integrationsbemühungen mit schnellen Erfolgen nicht zu rechnen ist. Frau John weist in diesem Zusammenhang darauf hin, daß der Mannheimer Soziologe Detlef Ipsen an Hand einer empirischen Untersuchung über das Verhaltensmuster und die soziale Entwicklung von Ausländern in der Bundesrepublik festgestellt habe, daß auch bei längerer Aufenthaltsdauer weder die Wohn- und Arbeitssituation ausländischer Familien sich wesentlich gebessert hätten noch eine Orientierung auf neue, der veränderten Situation angepaßte Wertmuster erfolgt sei.

### Bildung von Ghettos

Die Voraussetzungen für ein allmähliches Zusammenwachsen und möglichst spannungsfreies Zusammenleben der Ausländer mit den Deutschen ist in Berlin denkbar ungünstig. Von den in der Stadt lebenden Ausländern ist etwa die Hälfte (117 000) türkischer Nationalität. Anders als bei den weit weniger ins Gewicht fallenden Ausländergruppen der Jugoslawen, Griechen und Italiener neigen die Türken dazu, sich von der deutschen Bevölkerung abzukapseln und sich in Wohnbezirken der Stadt möglichst geschlossen anzusiedeln. Dabei spielen allerdings auch finanzielle Gesichtspunkte eine Rolle. Im Bezirk Kreuzberg mit einer erheblichen Altbausubstanz und einem weit überdurchschnittlichen türkischen Bevölkerungsanteil sind die Mieten vergleichsweise niedrig.

Die Tendenz der türkischen Bevölkerungsgruppe, sich in Wohnghettos abzukapseln, fördert ihren Randgruppenstatus und verstärkt ipso facto das ohnehin vorhandene soziale Konfliktpotential. Die ausländischen Arbeitnehmer sind vorwiegend in Berufen mit geringen Qualifikationsanforderungen beschäftigt und gehören daher zu den unteren Einkommensschichten. Verschärft werden die Qualifikationsdefizite durch bestehende Sprachbarrieren. Neben den Sprachbarrieren fördern fehlende Kenntnisse über das Verhaltensmuster der deutschen Bevölkerung und das Leben in einem subkulturellen Milieu das Gefühl der sozialen und kulturellen Isolation. Die Konfrontation des vertrauten sozialen und kulturellen Milieus mit der andersartigen deutschen Umwelt führt daher zu Orientierungsschwierigkeiten und Kulturkonflikten innerhalb der ausländischen Bevölkerungsgruppen der Stadt. Generations- und Familienkonflikte treten insbesondere bei den in Berlin aufgewachsenen Jugendlichen und bei ausländischen Frauen auf, die sich mit ihrer traditionellen Geschlechterrolle in den deutschen Lebensverhältnissen schlecht zurechtfinden können.

Die Situation wird häufig noch dadurch kompliziert, daß angesichts der Desorientierung durch die deutsche Umwelt herkömmliche Verhaltensmuster wieder stärker zur Geltung gebracht werden. Türkische Frauen und Mädchen, die ihre Kopftücher in der Heimat schon abgelegt hatten, tragen sie hier wieder. Religiöse Überlieferungen, die zu Hause kaum noch

gepflegt wurden, leben in der fremden Umgebung wieder auf. In Moschee-Vereinigungen und Koran-Schulen wird einem politischen Nationalismus und einem rigorosen islamischen Fundamentalismus das Wort geredet.

Solche Erscheinungen gibt es zwar auch in westdeutschen Großstädten. Sie seien typisch für große Minderheiten, die erfahrungsgemäß kulturell, sozial und politisch eine stärkere Eigendynamik entwickelten als kleinere Gruppen, meint die Ausländerbeauftragte des Senats. In Berlin werde diese Tendenz jedoch durch die Abkapselung der Stadt vom Umland noch verstärkt. Frau John weist in diesem Zusammenhang auf Untersuchungen in den USA hin, die ergeben hätten, daß in dem Zeitraum zwischen Einwanderung und endgültiger Integration Ausländerkolonien mit einem dichten Netz mehr oder minder straff organisierter sozialer und kultureller Beziehungen entstünden. Nach vollzogener Integration lösten sich derartige Organisationen in der Regel jedoch wieder allmählich auf.

### Langfristige Aufgabe

Die Integrationspolitik des Senats ist daher auf längere Zeiträume ausgerichtet. Erst in der zweiten, vor allem aber in der dritten Ausländergeneration, die in Berlin leben, sei mit der vollen Eingliederung in die deutsche Bevölkerung zu rechnen. Zwar werden in Umfragen bei den Türken noch vielfach Rückkehrabsichten geäußert; doch der Zeitpunkt der Rückkehr wird entweder offengelassen oder in fernere Zukunft gerückt. Der Senat rechnet deshalb damit, daß der weit überwiegende Teil der in Berlin lebenden Ausländer in der Stadt bleiben wird.

Sowohl aus politischen als auch aus sozialen Gründen steht der Senat in der Ausländerpolitik unter Erfolgszwang. Im Hinblick auf die anhaltende Abwanderung von Deutschen in die Bundesrepublik und extrem niedrige Geburtenziffern trägt eine erfolgreiche Eingliederung zur Erhaltung der Lebensfähigkeit der Stadt bei. Eine zwar behutsame, aber dennoch konsequente Eingliederungspolitik dürfte auch zur Entschärfung von sozialem Konfliktstoff unerlässlich sein. Die sozialen Spannungen zwischen Deutschen und Ausländern könnten sich in Zukunft jedoch noch verschärfen, wenn soziale Aufsteiger der zweiten und der dritten Ausländergeneration den Deutschen in zunehmendem Maße Konkurrenz machen. Vor allem hier deuten sich ausländerfeindliche Tendenzen in der deutschen Bevölkerung Berlins an.

Quelle: „Neue Zürcher Zeitung“, 28. Juni 1984.

## Empfehlenswerte Neuerscheinungen

R. J. Johnston u. a. (Ed.): **The Dictionary of Human Geography**. Basil Blackwell, Oxford 1983. 411 pp.

P. Dicken u. P. E. Lloyd: **Die moderne westliche Gesellschaft**. Arbeit, Wohnung und Lebensqualität aus geographischer Sicht. UTB, Große Reihe. Harper & Row, New York 1984. 439 pp.

L. Rother: **Mediterrane Subtropen**. Geographisches Seminar Zonal. Westermann, Höller und Zwick. Braunschweig 1984. 207 pp.

E. A. Brugger u. (Hrsg.): **Umbruch im Berggebiet**. Die Entwicklung des schweizerischen Berggebietes zwischen Eigenständigkeit und Abhängigkeit aus ökonomischer und ökologischer Sicht. P. Haupt, Bern 1984. 1097 pp.

E. Lichtenberger: **Gastarbeiter**. Leben in zwei Gesellschaften. Böhlau, Wien 1984. 569 pp.

W. Kainrath u. a.: **Die alltägliche Stadterneuerung**. Drei Jahrhunderte Bauen und Planen in einem Wiener Außenbezirk. Löcker, Wien 1984. 269 pp.

W. Feilmayr u. a.: **Verfall und Erneuerung städtischer Wohnquartiere**. Grundlagen und Strategien einer Stadterneuerungspolitik für Wien. Orac, Wien 1983. 137 pp.

W. R. Svoboda u. a.: **Instrumentarium Stadterneuerung**. Österreichische Raumordnungskonferenz, Schriftenreihe Nr. 41, Wien 1984. 104 pp.

ÖROK: **Atlas zur räumlichen Entwicklung Österreichs**. 1. Lieferung. Wien 1984. 10 Karten und Erläuterungsband.

**Meyers Enzyklopädie der Erde** in 8 Bänden: **Band 6 (Nor-Schwe)**. Bibliographisches Institut Mannheim 1984. 404 pp.

G. Havelberg: **Geographieunterricht im Spannungsfeld zwischen pädagogischer Zielnotwendigkeit und Sachanspruch**. Geographiedidaktische Forschungen Band 11. D. Reimer Verlag, Berlin 1984. 146 pp.

**PHYSIKALISCHE BLÄTTER**, 12 Hefte, DM 94,- plus Porto, Physik Verlag, D-6940 **Weinheim** / Bergstr., Postf. 1260.

**STERNE UND WELTRAUM**, 12 Hefte, DM 84,- plus Porto, Verlag Sterne und Weltraum, Dr. H. Vehrenberg, Postfach 140 365, D-4000 Düsseldorf 14.

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

**Aulis Verlag Deubner & Co. KG, 5 Köln 1**, Antwerpener Straße 6-12: **PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN**, 3 Teile: Physik, Chemie, Biologie, je 12 Hefte jährlich, Preis pro Teil DM 51,60 jährlich, für Studenten und Referendare DM 46,80, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte, Dozenten und Studenten an Hauptschulen, höheren Schulen und Pädagog. Hochschulen.

**NATURWISSENSCHAFTEN IM UNTERRICHT**, 2 Teile: Physik/Chemie und Biologie, je 12 Hefte jährlich, Preis pro Teil DM 45,- jährlich, für Studenten DM 40,20, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt-, Real- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Hochschulen.

**GEOGRAPHIE IM UNTERRICHT**, 12 Hefte jährlich, DM 54,-, Studenten DM 49,20, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Akademien.

**CHEMIE IN UNSERER ZEIT**, 6 Hefte, DM 34,- plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 **Weinheim** / Bergstraße, Postfach 1260.

**Österreichische Chemie-Zeitschrift**, Organ der Ges. Österr. Chemiker mit Nachrichten über Kurse u. Vorträge für AHS-Lehrer. Erscheint 11mal im Jahr. Bezugspreis inkl. Porto u. MwSt. S 560,-. Für AHS- u. BHS-Lehrer S 400,-, für Studenten S 337,-.

**PHYSIK IN UNSERER ZEIT**, 6 Hefte, DM 34,- plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 **Weinheim** / Bergstraße, Postfach 1260.

**GEOGRAPHISCHE RUNDSCHAU**, 12 Hefte, Einzelheft DM 8,- zuzüglich DM 1,- Versandkosten. Abonnementpreis DM 6,80 zuzüglich DM 1,-. **Westermann**, Braunschweig; Auslieferung in Österreich durch Morawa, Wien.

**SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT**, internationale Ausgabe der „Scientific American“ in deutscher Sprache. Erscheint monatlich zum Preis von DM 7,80 einschließlich Porto.

H. Köck (Hrsg.): **Studien zum Erkenntnisprozeß im Geographielehrunterricht**. Aulis Verlag Deubner & Co., Köln 1984. 324 pp.

H. W. Bender u. a.: **Räume und Strukturen**. Raumbispiele – Raumwirksamkeiten. Ein geographisches Lehr- und Arbeitsbuch für die Stufe 11-13 (mit Lehrerhandbuch). Klett, Stuttgart 1984. 552 u. 232 pp.

W. Rieß u. a.: **Gesellschaft in Wirtschaft und Raum**. Band 1, HASCH/HAK-Ausgabe (1. Jg./1. Kl.) sowie AHS-Ausgabe (5. Klasse). Bohmann, Wien 1984. 112 u. 128 pp.

E. u. M. Streissler: **Grundzüge der Volkswirtschaftslehre für Juristen**. Manz, Wien 1984. 406 pp.

W. S.

IMPRESSUM: „Wissenschaftliche Nachrichten“. Fortbildungsorgan des Bundesministeriums für Unterricht und Kunst für AHS- und BHS-Lehrer. Erscheint dreimal jährlich, im Jänner, April und September. Medieninhaber (Verleger), Herausgeber und Eigentümer: Bundesministerium für Unterricht und Kunst, 1010 Wien, Minoritenplatz 5, Tel. 0 22 2 / 66 21. Postanschrift der Redaktion: Dr. Walter Kranzer, Institut für Festkörperphysik der Universität Wien, 1090 Wien, Boltzmanngasse 5, Telefon 0 22 2 / 34 26 30. Hersteller: Bohmann Druck und Verlag Gesellschaft m. b. H. & Co. KG., 1110 Wien, Leberstraße 122, Tel. 74 15 95.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes:

Medieninhaber: Bund, vertreten durch das BMUK; Geschäftsführer: Sektionschef Leo Leitner, BMUK, 1010 Wien, Minoritenplatz 5. Unternehmensgegenstand: Herausgabe einer dreimal jährlich erscheinenden periodischen Zeitschrift. Grundlegende Richtung: Fortbildung und wissenschaftliche Information der AHS- und BHS-Lehrer für Philosophie und die realistischen Unterrichtsgegenstände.