

# Wissenschaftliche Nachrichten

Herausgegeben vom Bundesministerium  
für Unterricht und Kunst

Nr. 69 – September 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.

## Zur Beachtung!

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

### INHALT:

Seite

#### GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME

Über die philosophische Bedeutung von Albert Camus ..... 2

#### BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Verhaltensforschung, Evolution und Mensch –  
eine Erneuerung des Menschenbildes ..... 3  
Kurznachrichten ..... 6  
Buchbesprechungen ..... 10

#### CHEMIE

Kosmochemie ..... 11  
Ermittlung und Aussagekraft von Valenzstrichformeln ..... 11  
Der mikrobielle Ursprung fossiler Brennstoffe ..... 16  
Mycotoxine ..... 16  
HERAEUS-Universal-Glühbox W 10/10 A ..... 19  
Kurznachrichten ..... 20

#### EXPERIMENTALPHYSIK

Akustikexperiment – genauer betrachtet ..... 21  
Versuche mit der Elektronenablenkröhre ..... 21  
Mechanik im Schülerversuch ..... 21

#### MATHEMATIK

Über ein unbeachtetes Merkmal des Morleyschen Dreiecks ..... 24  
Zielsetzung des Informatikunterrichtes (II) ..... 25  
Leserbrief ..... 27  
Eine Anwendung der Infinitesimalrechnung ..... 27  
Das Primzahlenpolynom ..... 29  
Kopfrechnen in der Unterstufe ..... 29  
Wozu „verrückte“ Funktionen gut sein können ..... 31  
Aufgabenecke ..... 32

#### PHYSIK, ASTRONOMIE

Strahlenbelastung durch natürliche Radioaktivität ..... 33  
Das 12-km-Bohrloch ..... 34  
Plasmabrenner mit Drehstrom ..... 35  
Digitales Musikspeichern ..... 35  
Nahfeld-Mikroskopie mit  $\lambda/20$ -Auflösung ..... 36  
Fraktale in der Physik ..... 36  
Elektronisch geschwenkter Radarstrahl ..... 37  
Der erste Röntgenlaser ..... 38  
Weder Fleisch noch Fisch ..... 38  
Ionenimplantation ..... 39  
Myonen katalysieren Kernfusion ..... 40  
CERN: Centauro im Visier ..... 41  
Das Chromoplasma ..... 41  
Helium im Labor fast wie im Saturn ..... 42  
Typ-I-Supernovae: Kosmische Meilensteine ..... 42  
Hubble-Konstante via Gravitationslinse ..... 43  
Neues vom Milchstraßenkern ..... 44  
Das Observatorium auf dem Colar Alto ..... 44  
IRAS-Ernte am Infrarothimmel ..... 45  
Kurznachrichten ..... 47  
Buchbesprechung ..... 48

#### WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE, WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Big Science belebt die Wirtschaft (II) ..... 49

## Über die philosophische Bedeutung von A. Camus

In einem früheren Aufsatz, in dem vorgeschlagen worden war, einige Textstellen des Werkes „Der Mensch in der Revolte“ von A. Camus im Philosophieunterricht mit der Jugend durchzuarbeiten, wurde sehr eindringlich auf die für die philosophische Problematik unserer Zeit wesentliche Bedeutung des revoltierenden Dichter-Denkens hingewiesen.<sup>1)</sup> Nunmehr ist in der Beckreihe „Große Denker“ ein grundlegendes Buch über A. Camus erschienen: Annemarie Pieper, Albert Camus, Verlag C. H. Beck, München 1984.

Diese Monographie verdient nicht nur eine übliche Rezension, sondern fordert geradezu heraus, sich mit der Gedankenwelt dieses A. Camus sehr ernstlich und genau auseinanderzusetzen, hat es doch bisher eine systematische Erschließung des philosophischen Ansatzes von A. Camus nicht gegeben (10).<sup>2)</sup>

1. Kurz vorerst die Gliederung des angezeigten Werkes: I. Leben: Jugend, Kriegsjahre, im Kreis der Existentialisten, zwischen Politik und Theater). II. Werk: Das Problem der Einheit, Logik des Absurden, die Frage nach dem Sinn, Mythische Erfahrung. III. Würdigung. IV. Wirkung (Rezeption in Frankreich, England, Amerika, Deutschland). – Der Anhang enthält u. a. ein ausführliches Verzeichnis der Sekundärliteratur und ein Personen- und Sachregister.

In allen Fragenbereichen werden immer wieder Grundposition und Zusammenfassungen gegeben – auf jene S. 176 ff. sei besonders verwiesen. Dies hat den Vorteil, daß, trotz Wiederholungen, jedes Problem, das A. Camus bewegt, jeweils die Einordnung zu und die Auseinandersetzung mit sowie der Abstand von bisherigen Lösungsversuchen ermöglicht ist. Darauf kommt es hier an.

2. Die identifizierbare Grundposition, die A. Pieper A. Camus zuweist, ist eine skeptische Grundeinstellung besonderer Art, weder Irrationalismus noch Agnostizismus (179). Ausgangspunkt der Überlegungen ist „das Absurde“ (88). „Die Welt ist irrational, aber nicht absurd; das Erkennenwollen des Menschen ist menschlich und ebenfalls nicht absurd. Das Absurde resultiert vielmehr daraus, daß der Mensch genötigt ist, beide entgegengesetzten Seiten aufeinander zu beziehen, nur um festzustellen, daß dies unmöglich bzw. bloß unter der Form eines unaufhebbareren Widerspruchs möglich ist“ (Irrationalismus / Verlangen nach Klarheit). „Was bleibt, ist das unbedingte Streben des Menschen nach Einheit . . . seine Sehnsucht nach dem Absoluten.“ Des Menschen Selbstverständnis ist „zutiefst fragwürdig gemacht“ und läßt ihn am Sinn seines Lebens zweifeln (90 f.). „Dies bedeutet nun nicht, daß Camus keinerlei Interesse an dem hat, was sich jenseits der dem Menschen gesetzten Grenzen befinden mag. Im Gegenteil: Was der Mensch ersehnt – seine Einheit, seine Werte, sein Glück –, hat seinen unverlierbaren Ort auf der anderen Seite der Grenzen . . .“ (179). „Flucht in die Dimensionen jenseits der Grenzen“, „allen voran Ideologie und Utopie“, seien nur „maskierte Formen von Irrationalismus bzw. Agnostizismus, da sie nur durch Abstraktion von der *conditio humana*, durch Ignorieren der menschlichen Natur zustande kommen“ (179). Es gilt daher, da man lebt, gegen das Absinken vom Menschlichen zu revoltieren. „Du sollst leben“ kann somit als die einzige unbestreitbare Norm, als der kategorische Imperativ des absurden Menschen formuliert werden . . .“ (108).

Auf die Rolle der „Solidarität“ als „Bollwerk“ gegen die Absurdität der Welt sei hier nicht näher eingegangen. Es kommt hier auf das Grundsätzliche an; und dieses ist präzise charakterisiert. Dem latenten Nihilismus unserer Gegenwart wird hier eine sehr bemerkenswerte Gegenfassung vorgehalten (Solidarität 124–138, Nihilismus 104–106 und passim).

3. Gleichwie nach A. Pieper „diejenigen, die mit dem Namen Camus nur das Schlagwort des Absurden assoziieren“ (9) am Gesamtphänomen vorbeisehen, so würde u. E. auch alle, die von irgendeiner abgekapselten philosophischen Disziplin oder einer gegenwärtigen „Strömung“ her, verkennen, daß auch im einzelnen A. Camus Bemerkenswertes zu sagen hatte. In dieser Richtung ist ihm auch sein Vorhaben bewußt. Auch wenn

der Wunsch nach Einheit unerfüllt als Faktum bleiben muß und der Begriff „Einheit“ nur ein „Gedankenkonstrukt“ ist, so ist ihm doch klar, daß andererseits die bloße „Beschreibung“ des „Erlebten“ („Phänomenologie“ statt „das phänomenologisch gewonnene Material“ logisch zu strukturieren) zu wenig für das menschliche Denken ist (93). Es lohnt sich daher, auf die Bedeutung einzelner Begriffe hinzuweisen.

Diese Begriffe sind hier ausgewählt und besonders gereiht. In der Klammer finden sich Schlagworte (angepaßt dem Text von A. Pieper), die angeben, in welche Richtung sie weisen. Die Richtungen sind es, die überlegenswert sind. In der Folge:

**Qualität/Quantität** (qualitative Aufwertung des Quantitativen, 186)

**Gewißheit** (logische Unmöglichkeit, das Leben zu negieren, 110)

**Das Mythische** (Ausdruck des Geschehens der Selbstwertung, 175)

**Das Heilige** (ein Grundwert schlechthin, 143)

**Freiheit** (Bestreitung der determinierenden Macht des Absurden, 142)

**Maß**, dazu Mitte und Grenze (die Konkretheit des menschlichen Strebens nach Unbedingtheit, 158 f.)

**Wert** (normative Dignität, 129)

**Verfall** (Absonderung in Unmenschlichkeit, 190)

4. Sicher geht es A. Camus nicht oder „jedenfalls nicht vorrangig um eine spekulative Durchdringung“ der ontologischen „Bedeutung menschlichen Strebens nach Einheit“, sondern um die „Problematisierung der existentiellen Bedeutung des menschlichen Strebens“, um den Menschen „auf der Suche nach seiner Identität“. Es ist, wie der Text A. Piepers es treffend formuliert, eine ethische Fragestellung (64). Diese Ethik ist allerdings nur aus der Gesamtproblematik des umfassenden Denkversuches des menschlichen Wesens zu begreifen; es wurzelt in dem, diese Umfassendheit ausdrückenden Problem der Einheit/Vielheit (Text 81 u. a.), nur in der Abwandlung für den derzeit so verunsicherten Menschen und seine pluralistische Kultur.

Die Reihung der Begriffe oben sollte deshalb auch zeigen, daß ein folgerichtiges Durchdringen der Grundproblematik unseres gegenwärtigen Daseins durchaus als konzipierbar gedacht werden kann. Wie weitreichend der Dichter-Denker A. Camus sich der Grundproblematik unserer Zeit hingegeben hat, erweist noch ein Hinweis auf seine Auffassung der Kunst; diese habe die Aufgabe, die Unvollkommenheit der Welt zu korrigieren (165 ff.); und die der **Wissenschaften**, davon vor allem die auf der Quantifizierung der Welt beruhenden, den Menschen ihre „Endlichkeit“ zu „signalisieren“ (161). A. Pieper zitiert hiezu A. Camus aus der „Revolte“, was insbesondere die Philosophen unter den Naturwissenschaftlern interessieren kann: „Die Quanten, die Relativität, die Unbestimmtheitsrelation stecken eine Welt ab, die definierbare Wirklichkeit nur im Maßstab der mittleren Größen hat, die die unsrigen sind.“

5. Mit den oben im Anschluß an das Buch von A. Pieper über A. Camus ausgeführten Gedanken soll selbstverständlich nicht gemeint sein, daß eine lückenlose Identifikation mit den Auffassungen des revoltierenden Denkers propagiert wäre. Grundsätzlich angreifbar ist die These von der Notwendigkeit des Quantifizierens des qualitativ Gemeinten (115); auch sind einige Folgerungen in Einzelfragen korrigierbar. Zurecht bestehen aber die Denkwürfe des „Großen Denkers“ A. Camus, die mitten hinein gestellt sind in das kulturelle Leben der Gegenwart. Sie sind ausgespannt zwischen Lebensgefühl und Denken des Totums, das Tun des einzelnen und der Kollektiva.

Es sei abschließend eine Formulierung A. Piepers zitiert, gekürzt vom Bezug auf die Aufgabe, die sich A. Camus selbst stellte: die Einheit „jetzt im Verlauf des geschichtlichen Prozesses auf moralischer, rechtlicher und politischer Ebene“ zu erringen, das heißt, unsere Moral, Recht und Politik seien „sub specie humanitatis, einer Kritik zu unterziehen“ (141 f.).

Der Philosophielehrer an unseren höheren Schulen sollte unentwegt diese Kritik für sich selbst üben, seine Schüler, allerdings allgemein, zum kritischen Denken erziehen.

<sup>1)</sup> Wiss. Nachr. Nr. 25 v. Jänner 1971.

<sup>2)</sup> Die Ziffern in Klammern bedeuten hier und im nachfolgenden die Seitenangabe im besprochenen Buch.

Franz M. Wuketits\*)

## Verhaltensforschung, Evolution und Mensch – eine Erneuerung des Menschenbildes

„Er redete mit dem Vieh, den Vögeln und den Fischen“ – diesen bezeichnenden Titel trägt eines jener bekannten Bücher, die Konrad Lorenz als einen Naturforscher ausweisen, der, was heutzutage bereits eine Seltenheit geworden ist, seine eigene Begeisterung für die Kreaturen unseres Planeten stets auf den Leser zu übertragen vermocht hat, getreu seinem Motto: „Um Tiergeschichten schreiben zu können, muß man von einem warmen und echten Gefühl für die lebende Kreatur ergriffen sein.“ Und für so manchen ist Lorenz denn auch zum Inbegriff eines Forschers geworden, der auf du und du steht mit allem, was da krecht und fleucht. Sollte es sich dabei um eine Übertreibung handeln, dann bleibt für eine um die Jahrtausendwende zu schreibende Geschichte der Biologie Lorenz jedenfalls einer der wenigen bedeutenden Biologen des 20. Jahrhunderts, die das Betreiben ihrer Wissenschaft nicht auf die in einer sterilen Laboratoriumsatmosphäre entfaltete Betriebsamkeit reduzierten, sondern die ihre Erkenntnisse in direkter Konfrontation mit dem lebenden Organismus gewonnen haben.

Es dürfte nicht schwerfallen zu verstehen, daß die damit angesprochene (erkenntnistheoretische, methodische) Grundhaltung in der Erforschung des Lebens im allgemeinen letzten Endes auch für das Studium jener besonderen Spezies von großer Bedeutung ist, die wir als den Menschen kennen. Während der ontologische Reduktionismus vielerorten seine Blüten treibt und die Überzeugung eines nicht unbeträchtlichen Teils zeitgenössischer Naturforscher zum Ausdruck bringt, daß die geistigen Phänomene auf das Organische zurückführbar sind, und dieses schließlich sich restlos auflösen läßt in den Gesetzen der Physik, finden wir bei Lorenz unmißverständlich ausgesprochen, „daß das geistige Leben des Menschen eine neue Art von Leben sei“; womit auch jenen seiner Kritiker der Boden entzogen ist, die behaupten, Lorenz hätte auf illegitime Art und Weise „den Menschen“ mit „dem Tier“ identifiziert. Und damit komme ich zum Thema: „Er redet mit dem Menschen“ – dies läßt sich fürs erste in Hinblick auf das Gesamtwerk von Konrad Lorenz ebenso sagen wie behauptet werden kann, daß er im „Dialog“ mit dem Vieh, den Vögeln und den Fischen stand. Diese Metapher soll andeuten, daß die Verhaltensforschung, die Lorenz – der Verdienste seiner Vorläufer eingedenk – so entscheidend beeinflusst und methodisch überhaupt erst begründet hat, in einer Erneuerung unseres Bildes vom Menschen ihren Niederschlag findet. Dabei ist von Anfang an festzuhalten, daß Lorenz, verschiedenen „Modeströmungen“ in den Humanwissenschaften zum Trotz, den Menschen in seiner Ganzheit, d. h. in seiner materiell-geistigen, leiblich-seelischen Einheit, zu erfassen bemüht war.

Seinen eigenen Aussagen zufolge war für Konrad Lorenz zu der Zeit, als er in Wien Medizin studierte, die Begegnung mit dem Anatomen und Embryologen Ferdinand Hochstetter sehr bedeutsam. Hochstetter war nicht zuletzt mit der Rekonstruktion der Stammesgeschichte der Tiere beschäftigt: Er nahm diese Rekonstruktion auf der Basis von Ähnlichkeiten und Unähnlichkeiten verschiedener Tierformen vor. Damals wurde für Lorenz klar, daß diese Methode der Rekonstruktion nicht nur auf den Körperbau, die Anatomie der Tiere, sondern unmittelbar auch auf deren Verhalten anwendbar ist. Damit war die Brücke geschlagen von der Evolutionstheorie, der zentralen Theorie der Biowissenschaften, zum Studium des Verhaltens der Lebewesen. Es steht außer Frage, daß das Verhalten der

Tiere den Menschen praktisch schon immer beschäftigt hat, aber einen soliden methodischen „Unterbau“ erhielt diese Beschäftigung erst im Rahmen einer umfassenden evolutionären Betrachtungsweise.

Diese Betrachtungsweise schließt freilich auch den Menschen ein, der ebenso wie alle Lebewesen ein Resultat der Evolution ist. Aber an diesem Punkt trennten sich die Geister: War es nicht ausgemacht, daß der Mensch – wenn er schon hinsichtlich seines Körperbaues in die Evolution der Organismen eingefügt sein soll – in Hinblick auf seine „Psyche“ zumindest eine nicht auf die Evolution zurückführbare Besonderheit darstellt? Und so kam es, daß die Psychologie des Menschen weitgehend ohne Berücksichtigung evolutionärer Aspekte betrieben worden ist.

Selbst in der Psychologie nach Sigmund Freud, die sich als eine biologisch orientierte Theorie des menschlichen Verhaltens verstanden hat, fehlen noch entscheidende evolutionsbiologische Einsichten. Noch Mitte der fünfziger Jahre stellte daher Lorenz kritisch fest: „Führende Psychologenschulen sind sich bis in die jüngste Zeit zwar nicht darüber einig, ob der Gegenstand der Psychologie überhaupt eine Naturerscheinung im allgemeinen und eine Lebenserscheinung im besonderen sei, wohl aber darüber, daß er mit Erblehre und Stammesgeschichte nichts zu tun habe.“ Dieser Mangel an Evolutionsverständnis, ja, die strikte Zurückweisung der Evolutionstheorie in weiten Bereichen psychologischer Forschung, erklärt jenen Umstand, daß eine große Kluft sich aufgetan hatte zwischen einer als Verhaltensforschung verstandenen Tierpsychologie und der Humanpsychologie, die im Selbstverständnis der meisten ihrer Vertreter als Psychologie im eigentlichen Sinne deklariert wurde. Daß es aber streng genommen nur eine Psychologie geben kann, und zwar als Lehre von jenen allgemeinen, das tierische und das menschliche Verhalten bestimmenden Faktoren, die aus der Evolution abgeleitet werden müssen, dies aufgezeigt zu haben, ist ein wesentliches Verdienst von Konrad Lorenz. Die im vergangenen Jahrhundert vor allem von Herbert Spencer und – mehr noch – von Charles Darwin vorgezeichnete, in den Wissenschaften vom Menschen aber leider vielfach ignorierte evolutionäre Psychologie hat somit einen kräftigen Auftrieb erfahren. Von da aus wurde es auch erst möglich, die – ebenfalls bereits im 19. Jahrhundert angesetzte – Untersuchung der stammesgeschichtlichen Grundlagen des menschlichen Erkennens und Denkens sinnvoll voranzutreiben. Entscheidend ist also in diesem Zusammenhang, daß die „Psychologie des Tieres“ und die „Psychologie des Menschen“ methodisch auf eine gemeinsame Basis gestellt werden.

Darauf stützt sich der verschiedentlich erhobene Vorwurf, den Menschen auf das Tier reduziert zu haben. Ich habe schon eingangs gesagt, daß dieser Vorwurf in keiner Weise gerechtfertigt ist. Im übrigen ist es eine falsche Fragestellung, von der viele Kritiker der vergleichenden Verhaltensforschung ausgehen, wenn sie nach Unterschieden zwischen dem Menschen und dem Tier suchen. Es ist unsinnig zu fragen: „Was ist der Unterschied zwischen Tier und Mensch?“ Denn es gibt ja nicht „das“ Tier, sondern über eine Million verschiedener Tierarten, von denen jede mehr oder minder deutlich von anderen Arten zu unterscheiden ist. Vielmehr können wir fragen: „Welche Eigenheiten hat unsere Spezies entwickelt, die im Tierreich sonst nirgends auftreten und grundsätzlich neue Dimensionen in der Evolution erschlossen haben?“ Daß Lorenz diese Eigenheiten nicht nur betont hat, sondern wesentlich auch herauszuarbeiten suchte, habe ich einleitend bemerkt, und ich werde noch darauf zurückkommen.

Überblicken wir das Lebenswerk von Konrad Lorenz, so können wir also Wege zu einer bedeutenden Synthese finden: der Synthese von Evolutionstheorie, Verhaltensforschung und Psychologie (im Sinne der Humanpsychologie). „Evolution ist ja alles“, so erinnert sich Lorenz, schon sehr früh gesagt zu haben, „das ist die Geschichte der Welt, das ist das einzige, was wirklich wichtig ist.“ Diese Erkenntnis erklärt nicht nur seinen damaligen Wunsch, Paläontologe zu werden – einen Wunsch, der, ohne daß wir das heute bedauern müßten, nicht realisiert wurde –, sondern bildete wohl den Keim der später so entscheidenden Einsicht in die phylogenetischen Mechanismen

\*) Univ.-Doz. Dr. Franz M. Wuketits, Dozent für Wissenschaftstheorie an der Universität Wien. U. a. Publikation: „Die Evolution des Denkens“ (gemeinsam mit Konrad Lorenz herausgegeben).

des Verhaltens der Lebewesen. Was Darwin und einige seiner weitblickenden Zeitgenossen in Konturen vorgezeichnet hatten, daß nämlich im Verhalten des Menschen und anderer Lebewesen bemerkenswerte Ähnlichkeiten gegeben sind, die nur aus einer gemeinsamen stammesgeschichtlichen Wurzel erklärbar sein müssen, das hat Lorenz nicht nur zu einem wegen seiner Geschlossenheit imponierenden Lehrgebäude ausgebaut, sondern in seiner Konsequenz zu einer Erneuerung des Menschenbildes geführt. Der Mensch bleibt dabei in Anbetracht seines Geistes auf einer kategorial höheren Ebene als die übrigen Lebewesen, aber, „um die neue Kategorie des realen Seins, die mit der Fulguration des menschlichen Geistes in die Welt gekommen ist, voll verstehen zu können, muß man zuvor diesen essentiellen Vorgang des organischen Werdens verstanden haben“ (K. Lorenz).

Nun möchten solche Postulate für einen mit Darwin aufgewachsenen Biologen Selbstverständlichkeit sein; nicht aber für jene große Zahl von Anthropologen, die – in alten philosophischen Traditionen verwurzelt – an der Apotheose des Menschen festhalten und gegen die Verbindung unserer Spezies mit allen übrigen Lebewesen künstlich Hindernisse errichten, um letztlich die Psychologie des Menschen wieder von ihren allem organischen Werden gemeinsamen Grundlagen zu entbinden. Man denke nur einmal daran, wie empfindlich viele Psychologen auf das von Lorenz in seinem Buch „Das sogenannte Böse“ vorgestellte Konzept der Aggression reagiert haben. Es ist nicht meine Aufgabe, diese ganze Diskussion und ihre Ergebnisse zu präsentieren, was in Kurzform auch kaum möglich wäre, aber zumindest hinweisen möchte ich auf Erich Fromm, der die Gemeinsamkeiten der Antriebe tierischen und menschlichen Verhaltensvielfach zurückgewiesen und die Analogie als Wissensquelle übersehen hat. Dem ist mit Lorenz entgegenzuhalten: „Das Unverständnis für das organische Werden und für die ihm entspringenden, stets wesensverschiedenen, aber immer aufeinander aufruhenden Schichten des lebendigen Seins führt zu jenem Denken in disjunktiven Begriffsfassungen und zu jenem Aufstellen typologischer Gegensätze, die zu einem so hartnäckigen Hindernis für das Verständnis jedweder historischer Zusammenhänge geworden sind.“ Somit mag deutlich geworden sein, daß Lorenz sich sowohl von jedem Menschen verherrlichenden Denken distanziert hat als auch von den Platiitüden der Reduktionisten, die im Menschen nicht mehr zu erblicken vermögen als einen Klumpen beweglicher Materie.

Was letzteres betrifft, scheint es wichtig, sich einmal zwei der sehr bedeutenden „Schulen“ zu vergegenwärtigen, die in ihren Konsequenzen dazu führen, daß der Mensch letztlich zu einem Spielball der Kräfte degradiert wird. Gemeint ist die Soziobiologie auf der einen Seite, der Behaviorismus auf der anderen. Beide münden, was sogleich näher ausgeführt werden soll, in einen strikten Determinismus, wovon sich das Bild des Menschen, das aus der im Sinne von Lorenz verstandenen Verhaltensforschung resultiert, deutlich abhebt.

Schon immer war es eine brennende Frage, inwieweit der Mensch von seinen Erbanlagen und von seiner Umwelt (im engeren Sinne: Erziehung) abhängt. Dabei bezieht sich diese Frage keineswegs allein auf das Individuum, sondern ebenso auf die Sozietät. Als ein Teilgebiet der Verhaltensforschung, das sich mittlerweile jedoch zu verselbständigten beginnt, gilt die Soziobiologie, das heißt, jene Disziplin, die sich mit den biologischen Grundlagen des Sozialverhaltens beschäftigt. Richard Dawkins, Edward O. Wilson und zuletzt auch der einstige Lorenz-Schüler Wolfgang Wickler, um nur einige wenige zu nennen, haben in letzter Zeit maßgeblich dazu beigetragen, daß die Soziobiologie sich einer gewissen Popularität erfreuen darf, wengleich ihr ursprüngliches Anliegen und Forschungsziel keineswegs neu sind. Allein der Ausdruck „Soziobiologie“ ist mehr als dreißig Jahre alt. Anlässlich eines am 12. und 13. November des Jahres 1948 in New York abgehaltenen Symposiums, das den Problemen des Sozialverhaltens verschiedener Lebewesen gewidmet war, wurde die Sozialbiologie als interdisziplinäre Betrachtungsweise aus der Taufe gehoben, mit dem Ziel, durch vergleichende zoologisch-soziologische Arbeiten auf allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten zu stoßen, die für den Menschen ebenso wie für die anderen Lebewesen gültig sind. Ein Teilgebiet der Verhaltensforschung ist die Soziobiologie insofern, als sie eben einen speziellen Aspekt des Verhaltens der Lebewesen untersucht und im übrigen den allgemeinen methodischen Prämissen der Ethologie folgt, indem sie auf die Evolutionstheorie zurückgreift.

Daß das Anliegen der Soziobiologie, die biologischen (phylogenetischen) Grundstrukturen auch des menschlichen Sozialverhaltens transparent zu machen, ein sehr wichtiges Anliegen ist, und daß die Soziobiologie insgesamt im Dienste unserer Selbsterkenntnis ein bedeutungsvolles Unterfangen ist, bedarf

keiner besonderen Erwähnung. Problematisch aber sind einige in der Soziobiologie enthaltene Tendenzen, die einen genetischen Determinismus heraufbeschwören, den Menschen als eine Überlebensmaschine erscheinen lassen und, im letzten, dem Materialismus eines Lamartrie zur Auferstehung verhelfen, wo der Mensch bekanntlich als Maschine deklariert worden war. Freilich sind „Der Egoismus der Gene“ und das „Prinzip Eigennutz“ nur Metapher, die einen an sich ja nicht falschen Eindruck vermitteln von dem Einfluß, den seine genetischen, in der Stammesgeschichte erworbenen Determinanten auf den Menschen und sein soziales Verhalten ausüben. Die Gefahren des ontologischen Reduktionismus sind dabei jedoch nicht zu verkennen. Zumindest einige der Vertreter der Soziobiologie haben den Eindruck hervorgerufen, daß alle sozialen und kulturellen Leistungen des Menschen in letzter Instanz auf den Wettbewerb der Gene zurückzuführen sind, womit also alles, was wir gemeinhin mit dem Begriff des Geistes zu umschreiben pflegen, mechanistisch erklärbar sein soll.

Soweit ich sehe, hat Lorenz sich in seinen schriftlichen Publikationen nicht explizit zur Soziobiologie geäußert, wohl aber den Reduktionismus kritisiert, der in verschiedenen „Erklärungen“ des menschlichen Sozialverhaltens sichtbar wird. In „Die Rückseite des Spiegels“ zitiert Lorenz den Anthropologen Earl W. Count: „Der Unterschied zwischen einem Insektenstaat und einer menschlichen Gesellschaft ist nicht der zwischen einem einfachen und einem komplexen Automatismus und einer kulturisierten Sozietät. . . . sondern der zwischen einer Kultur mit hoher instinktiver und geringer Lernkomponente auf der einen Seite und einer Kultur mit hohem Lernanteil auf der anderen.“ Lorenz stellt dazu fest: „Hier wird der Wesensunterschied zwischen den Tieren und den Menschen nicht klar dargestellt.“ In Anbetracht solch kritischer Feststellungen in Hinblick auf reduktionistische Strömungen zeugt es von einer profunden Unkenntnis, wenn so mancher seiner wissenschaftlichen Gegner Lorenz vorwirft, er hätte den Menschen auf „das Tier“ durch vage Analogien reduziert. Das Gegenteil ist der Fall.

Ist also das in den Arbeiten von Lorenz deutlich gewordene Menschenbild abzugrenzen von einem Reduktionismus und einem Determinismus, der überall dort zum Tragen kommt, wo der Mensch dem Diktat seiner Gene voll unterstellt wird, muß auf der anderen Seite aber auch eine Abgrenzung von der behavioristischen Doktrin erfolgen. Der Behaviorismus bedeutet im wesentlichen das Gegenstück zur Soziobiologie, weil seine Anhänger das Lebewesen als eine Art tabula rasa betrachten, einen leeren Kasten, in den allerlei hineingestopft werden könne. Auch im Behaviorismus feiert der alte „Maschinenstandpunkt“ fröhliche Urständ: Ist für einige Soziobiologen der Mensch eine Überlebensmaschine (und nichts als dies!), so stellt er für einen Behavioristen wie B. F. Skinner nichts anderes als eine Reiz-Reaktions-Maschine dar, für die wir nun im Sinne ihres Überlebens Verhaltenstechnologien finden sollen (Aldous Huxleys „Schöne neue Welt“ ist davon ja nicht weit entfernt).

Mit dieser Doktrin vom „leeren Organismus“ (empty organism doctrine) hat sich Lorenz ausführlich und kritisch auseinandergesetzt, vor allem auch unter methodischem Gesichtspunkt. Methodisch läßt sich der Behaviorismus dadurch charakterisieren, daß er (mittels statistischer Methoden) die wahrscheinlichen Folgen von Dressurakten bzw. im weiteren Sinne von adressierenden Reizeinwirkungen zu erfassen sucht – und sonst nichts. (Dieses „sonst nichts“ möge bereits ein Hinweis sein auf den sowohl methodischen wie ontologischen Reduktionismus, der in der behavioristischen Doktrin enthalten ist.) Es kann zunächst nicht in Abrede gestellt werden, daß die Behavioristen wichtige Fragestellungen formuliert und ebenso wichtige Ergebnisse erzielt haben. „Da nun das Lernen am Erfolg“, schreibt Lorenz, „bei höheren Tieren und beim Menschen eine große Rolle spielt, hat die behavioristische Forschung Großes geleistet. . . . Was wir aber sowohl methodologisch als auch sachlich den Behavioristen vorzuwerfen haben, betrifft nicht das, was sie tun – sie tun es in beispielgebender Weise –, sondern das, was sie nicht tun.“

Die Behavioristen „schließen aus dem Kreis ihres Interesses radikal alles aus, was nicht ganz unmittelbar mit dem einen, speziellen Mechanismus des Lernens durch Erfolg zu tun hat. . . . und das ist nicht mehr und nicht weniger als der ganze restliche Organismus“ (K. Lorenz).

Wenn ich nun der Soziobiologie einen genetischen Determinismus, der behavioristischen Schule einen Umwelt determinismus unterstelle, dann geschieht das, glaube ich, nicht zu Unrecht. Selbstverständlich betonen beide Richtungen sehr wesentliche Faktoren im Verhalten der Lebewesen (den Men-

schen eingeschlossen), aber in ihren Totalitätsansprüchen führen sie beide zu einer perspektiven Verkürzung des Menschenbildes (einmal abgesehen von den möglichen ideologischen Konsequenzen, die sich da wie dort auffinden lassen und in ihren Gefahren nicht unterschätzt werden dürfen). Der Verhaltensforscher dagegen weiß, daß Gene und Umwelt in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen und zusammen ein komplexes Netzwerk von Bedingungen für die Existenz eines Lebewesens ergeben. Damit befindet sich die Verhaltensforschung sozusagen auf dem goldenen Mittelweg, der hinausführt aus der offenbar sehr mächtigen Tradition reduktionistischer, mechanistischer, deterministischer Konzepte, die am „Wesen“ des Menschen genauso vorbeigehen wie all die Versuche, dem Menschen in dieser Welt die Position eines Halbgottes einzuräumen, ihn herauszunehmen aus dem Strom organischen Werdens.

Die Bedeutung der Verhaltensforschung für eine Erneuerung des Menschenbildes liegt also vor allem in der Erkenntnis, daß der Mensch, da eingeflochten in die Evolution des Lebendigen, in den Grundstrukturen seines Verhaltens dieselben Mechanismen zur Entfaltung bringt wie andere Lebewesen auch, daß er aber in der „Überformung“ elementarer Verhaltensweisen durch seine Vernunft seiner Entwicklung neue Dimensionen öffnet. Sowohl die soziobiologische Schule als auch der Behaviorismus unterschätzen die menschliche Vernunft, wenn sie sie nicht gar ignorieren: Da wie dort wird das Verhalten des Menschen dargestellt als ein automatenhaft ablaufender Prozeß, gesteuert einmal durch die Gene, ein andermal durch den Komplex der auf den Menschen einwirkenden Umwelteinflüsse. Der biologische „Unterbau“ menschlichen Verhaltens, das sind die stammesgeschichtlichen Anpassungen, das sind die in Jahrmillionen durch natürliche Selektion entstandenen Antriebe und „Neigungen“, die im „Alltagsverhalten“ des Menschen ihre vielfältigen Ausdrucksformen finden, dieser biologische, stammesgeschichtliche Unterbau ist also sehr mächtig, auch in bezug darauf, was wir als kulturelles Verhalten bezeichnen können. Aber die im engeren Sinne als Kultur zu bezeichnenden Errungenschaften des Menschen sind Leistungen seiner Vernunft. In diesem Sinne ist es zu verstehen, wenn Lorenz – wie schon gesagt – das „geistige Leben“ des Menschen als eine neue Form von Leben bezeichnet. Dies wiederum setzt ein Evolutionskonzept voraus, das verschiedene der überkommenen Evolutionsvorstellungen übersteigt. Im Telegrammstil gesagt: In der Evolution wirken konstant die gleichen Mechanismen, doch schaffen diese Mechanismen unter sich wandelnden Bedingungen fortgesetzt Neues. In der Tat: Nichts ist schon dagewesen. Damit komme ich zu Problemen, die heute in der philosophischen Diskussion des Lebens, des Menschen, nach wie vor eine hervorragende Rolle spielen. Ich will hier den Stellenwert der Arbeiten von Lorenz in dieser Diskussion kurz darzulegen versuchen.

Man sage nicht, daß die in den Wissenschaften und in der Philosophie entwickelten Vorstellungen vom Wesen des Menschen – welcher Art diese Vorstellungen auch immer sein mögen – ohne Einfluß bleiben auf den Menschen selbst, auf sein Handeln, auf seine „Einstellung“ ihm selbst und der ihn umgebenden Welt gegenüber. So etwa führt der Behaviorismus oder, allgemeiner gesagt, die Milieuthese, zu der utopischen Vorstellung, „unerwünschte“ Neigungen wären durch entsprechende erzieherische Maßnahmen in ihrer Entfaltung zu hemmen, ja buchstäblich auszumerzen, sofern eine gezielte Erziehung nicht schon von vornherein alle ungewollten Erscheinungen zu verhindern vermag. Wir müssen also ob der potentiellen Konsequenzen verschiedener Hypothesen über den Menschen, diese Hypothesen ernst nehmen, und sei es nur, um sie gründlich zu widerlegen, eben zu dem Zwecke, um ihre eventuellen Gefahren rechtzeitig zu beseitigen.

Sicher ist auf jeden Fall, daß der Mensch mit der Entwicklung des reflexiven Bewußtseins sich selbst zum Problem geworden ist. So reichen denn auch die Wurzeln aller Versuche, sich selbst zu begreifen, weit zurück, sie liegen im vorwissenschaftlichen Bereich, begannen sich abzuzeichnen, als der Mensch seine Fähigkeit zur Reflexion erlangte, als er begann, sich seiner selbst bewußt zu werden. Und diese „Entdeckung seines eigenen Ichs“, schreibt Konrad Lorenz, „der Beginn der Reflexion, muß ein einschneidendes Ereignis gewesen sein.“ Vielleicht war es auch, wie Rupert Riedl meint, die „erschütterndste Entdeckung, die der Mensch in seiner Geistesgeschichte gemacht hat.“

Wie dem auch sei – fortgesetzt hat sich der Mensch gefragt, wer er ist, woher er kommt, wohin er geht. Man möchte meinen, daß diese Fragen im letzten unbeantwortet bleiben, ja, man ist geneigt, eben die „Unergründlichkeit“ des menschlichen Wesens als ein spezifisch menschliches Charakteristikum anzuer-

kennen und es dabei zu belassen, den Menschen als Homo absconditus, wie Helmut Plessner sich genötigt sah, zu sagen, als „objektiv unergründbar“ hinzustellen. Ich glaube nicht, daß damit allzuviel gewonnen ist, es sei denn, wir sind bestrebt, uns selbst zu verschleiern. Ein Bild des Menschen dagegen wird auf der Möglichkeit objektiver Erkenntnis beruhen müssen. Die von den Naturwissenschaften – und hier insbesondere von der Biologie – geleistete Reflexion ist die unabweisbare Grundlage jedes befriedigenden Verständnisses des Menschen. Freilich ist der Mensch selbst der Maßstab dafür, was hierbei befriedigend sein soll. Uns aber mit dunklen Ahnungen zu begnügen, wäre verhängnisvoll. In Anbetracht seiner ganzen heutigen Situation kann der Mensch sich einen Wissensverzicht nicht mehr leisten.

Die vergleichende Verhaltensforschung hat auf evolutionsbiologischer Grundlage den Weg geöffnet zu einem Verständnis des Menschen, das wir heute so dringend nötig haben; sie hat Fragen aufgeworfen, die vormals nicht gestellt worden sind, sie hat uns aber wiederholt unser Spiegelbild gezeigt. Wie gesagt: Nichts ist schon dagewesen. Eine Kultur, wie sie der Homo sapiens kriecht hat, war auf unserem Planeten vorher nie vorhanden. Was jedoch untrennbar mit dieser Kultur verbunden ist, und was zugleich eine Hoffnung sein mag, das ist die Möglichkeit, eben diese Kultur zu reflektieren. „Eine reflektierende Selbsterforschung der menschlichen Kultur hat es nämlich bisher auf unserem Planeten nie gegeben“ (K. Lorenz). Ist der Mensch, wie Arnold Gehlen treffend gesagt hat, von Natur aus ein Kulturwesen, dann ist es ebenso richtig zu sagen, daß es zu den hervorragenden Leistungen dieses Kulturwesens gehört, seine Natur zu ergründen.

Nur zögernd haben die Resultate der Verhaltensforschung Eingang gefunden in die philosophische Diskussion über den Menschen. Die philosophische Anthropologie war zu sehr damit beschäftigt, das „Innenleben“ des Menschen zu betonen, jenen „Innenaspekt“ unseres Daseins, der scheinbar nicht objektiviert werden kann. Ich sage „scheinbar“, denn in Wirklichkeit liegt eine „Anthropologie von außen“ längst vor, sie setzt sich zusammen aus den vielen Resultaten der Evolutionsbiologie und der Verhaltensforschung, die den Menschen seiner Subjektivität keineswegs – wie viele befürchten – berauben, sondern überhaupt erst jene Wege in der Evolution aufzeigen, die dazu geführt haben, daß einst ein Wesen auftreten konnte, das sich seiner selbst bewußt ist und seine Subjektivität entfalten kann.

Worin also kann, konkret gefragt, eine Erneuerung des Menschenbildes unter den Vorzeichen jener Resultate bestehen? Dazu möchte ich vor allem zwei Dinge sagen: Erstens ist es erforderlich, die alten Trennmauern abzubauen, die sich in den Jahrhunderten menschlicher Geistesgeschichte aufgetürmt haben zwischen Objekt und Subjekt, Materie und Geist, Natur und Kultur, Realismus und Idealismus. Man kann es kaum treffender formulieren, als Lorenz selbst es getan hat: „Auch heute noch blickt der Realist nur nach außen und ist sich nicht bewußt, ein Spiegel zu sein. Auch heute noch blickt der Idealist nur in den Spiegel und kehrt der realen Außenwelt den Rücken zu.“ Die fundamentale Erkenntnis aber, die vorbereitet wurde von weitblickenden Denkern im 18. und 19. Jahrhundert und die der „Geist des 20. Jahrhunderts“ klarer zu formulieren vermag, ist die, um abermals mit Lorenz zu sprechen, „daß dem erkennenden Subjekt und den erkannt werdenden Objekten die gleiche Art von Wirklichkeit zukommt“. Das ist keineswegs allein eine erkenntnistheoretisch relevante Aussage; in ihr steckt nämlich die Einsicht, daß die Loslösung des Subjekts von der Objektwelt, des Geistes von der Materie, der Kultur von der Natur eine künstliche war, während es in Wahrheit nur eine Wirklichkeit geben kann. Diese Wirklichkeit ist ein komplexes Netzwerk, ein „Wirkungsgefüge“, sie ist ein dynamisches System, ein sich stets verwirklichendes System, das fortgesetzt Neues hervorbringt.

Zweitens – und das ergibt sich unmittelbar aus dem soeben Gesagten – müssen wir den Menschen in der Natur zu begreifen suchen, als ein Wesen, das der natürlichen Evolution entspringen ist, jenem Prozeß des ständigen Werdens, einem Prozeß im Wechselspiel von Plan und Planlosigkeit, Gesetz und Zufall. Selbst heute, ein Jahrhundert nach Darwins Tod, tun viele so, als ob der Mensch herausgenommen werden könnte aus dem Strom der Evolution, als ob die Regulative der Evolution für den Menschen keine Gültigkeit hätten. Tatsächlich übersehen aber die so Denkenden, wie tief der Mensch verwurzelt ist in seiner eigenen Vergangenheit. Selbstverständlich repräsentiert der Mensch – in seinem Vermögen, mannigfaltige kulturelle Leistungen zu vollbringen, in seinem Vermögen, seine eigene Existenz hinterfragen zu können – in der Evolution etwas kategorial Neues, aber die Entstehung des Neuen

folgt offenbar ein und demselben Prinzip. Verschiedentlich sprach Lorenz von der Fulguration, dem gleichsam „blitzartigen“ Auftreten vorher nie dagewesener Systemeigenschaften, die sich aus der Integration, aus der spezifischen Zusammenschaltung ursprünglich voneinander unabhängiger Elemente zu einem Ganzen ergeben; auch das menschliche Bewußtsein muß auf diese Weise entstanden sein: durch spezifische „Verschaltung“ der Elemente des Gehirns bzw. des Zentralnervensystems.

Nehmen wir diese Erneuerung des Menschenbildes ernst, dann wäre es nicht vermessend zu glauben, daß wir uns an der Schwelle zu einer „zweiten Aufklärung“ befinden, an der Schwelle zu einem Zeitalter der „Abklärung“, wie Rupert Riedl jüngst betont hat; und derselbe hat in einer Würdigung der Verdienste von Konrad Lorenz diesen zutreffenderweise als „den ersten Enzyklopädisten dieser zweiten Aufklärung“ bezeichnet, „der aus seiner Wissenschaft den Eingang fand zu einer Naturwissenschaft der menschlichen Vernunft“. Sicher zerstört diese „zweite Aufklärung“ verschiedene Illusionen und Trugbilder, aber das haben Aufklärungen nun einmal an sich. Um letzteres wußte schon der große „Aufklärer“ Voltaire, wenn er da sagt: „Schade, daß man einen Teil seines Lebens damit hinbringen muß, alte Zauberschlösser zu zerstören. Es wäre besser, Wahrheiten festzustellen, als Lügen zu untersuchen.“ Vielleicht aber hat Voltaire übersehen, daß die sorgfältige Untersuchung von „Lügen“ auch schon „die Wahrheiten“ ans Tageslicht befördern kann.

Konrad Lorenz — er redete mit dem Menschen, so sagte ich vorhin; aber er redete auch, was vielleicht noch wichtiger ist, für den Menschen. Freilich stieß er damit nicht immer auf offene Ohren, denn eine große Zahl unserer Zeitgenossen hat offenbar mehr Verständnis für die Produkte des Menschen als für den Menschen selbst; es ist offenbar auch einfacher, dem Menschen die kurzfristigen Vorteile einer Technisierung seiner Lebenswelt begreiflich zu machen als deren langfristige Nachteile; und vermutlich ist es auch sehr viel einfacher, die Kinder in den Schulen in Mathematik zu unterweisen und ihnen die Funktion eines Rechenstabs beizubringen oder — was sich heute bereits großer Beliebtheit erfreut — sie mit Rechenautomaten bzw. mit Computern vertraut zu machen, als sie auf die fundamentalen Lebenswerte hinzuweisen. Den (heranwachsenden) Menschen mit dem Leben in seiner natürlichen Vielfalt und Schönheit bekanntzumachen und ihm letzten Endes den Wert seines eigenen Lebens vor Augen zu führen, ist deshalb so schwierig, weil der Mensch selbst sich zunehmend vom Leben und — was das Erschreckende ist — von seinem eigenen Leben entfernt und an die Stelle einer Wertschätzung des Lebens eine Bewunderung des „technisch Machbaren“ setzt.

Die „Todsünden“, die der Mensch schon wider die Natur (und wider seine eigene Natur) begangen hat, die Regulative im „Abbau des Menschlichen“ hat uns Konrad Lorenz mit seltener Klarheit vor Augen geführt. Dabei gäbe es ein verhältnismäßig einfaches Rezept, unsere Probleme, wenn schon nicht auf Anhieb zu lösen, so doch schrittweise einer Lösung zuzuführen. Den Menschen zu verstehen lernen als das, was er ist, und nicht, sich darauf zu berufen, was er nicht ist, was uns aber verschiedene „Menschenbilder“ glauben machen wollen, nämlich ein „Ebenbild Gottes“ hier, eine „Maschine“ dort.

Man wünscht, daß das „Glaubensbekenntnis“ von Konrad Lorenz seinem Inhalt nach sich als richtig erweisen kann. „Ich glaube an die Macht der menschlichen Vernunft, ich glaube an die Macht der Selektion und ich glaube, daß die Vernunft vernünftige Selektion treibt!“ Dieser Satz ist aus dem Kontext, in dem er niedergeschrieben wurde, vielleicht herausgerissen und bedarf einer Zusatzerklärung, um nicht Mißverständnisse hervorzurufen. Die „vernünftige Selektion“ wäre, im Sinne von Lorenz, eine Selektion in Richtung Humanität. Der Weg zu einem neuen Humanismus bahnt sich hier an. Während viele Kritiker der Verhaltensforschung insbesondere die oben erwähnte Aggressionstheorie mißverstanden haben, so als wolle damit das aggressive Verhalten des Menschen — oder, besser gesagt, die angeborene Neigung dazu — gerechtfertigt werden, ist das genaue Gegenteil der Fall. Bernhard Hassenstein hat das einmal sehr klar ausgedrückt: „Hiergegen (gegen die Aggressivität) hilft nur die Entlarvung dieser Reaktionsnorm als eines naturhaften Triebgeschehens sowie die bewußte Übernahme des Zieles, die spezifisch menschliche innere Situation des Nachdenkens und der Entscheidungsfreiheit aufrechtzuerhalten. Diese Vorstellung muß möglichst viele Menschen leiten. Nur wenn sie Allgemeingut wird, können wir hoffen, daß in Zukunft genügend Menschen die Aggressivität vermeiden können und die Institutionen so einrichten, daß sie die Kooperationsbereitschaft der Menschen stärken?“ Worum es dabei, mit

anderen Worten, geht, ist nichts anders als eine humane Vernunft, die auf Einsicht beruht, nicht auf Illusionen, nicht auf Utopien.

Es steht zwar in der Evolution nirgends geschrieben, daß wir als Menschen überleben müssen; wenn wir aber überleben wollen, ist es für uns unabweisbar, aus der Evolution jene Bedingungen zu erkennen, unter denen wir überleben können. Dazu ist eben der Rückgriff auf die objektiven Erkenntnisse der Naturwissenschaften nötig, der Rückgriff auf die Vernunft. Essentieller Bestandteil einer Erneuerung des Menschenbildes ist mithin die Einsicht in unsere eigenen Lebens- und Überlebensbedingungen.

Dem bleibt eigentlich nur noch hinzuzufügen, was Lorenz am Schluß seines Buches „Die Rückseite des Spiegels“ niedergeschrieben hat: „Gewiß, die Lage der Menschheit ist heute gefährlicher als sie jemals war. Potentiell aber ist unsere Kultur durch die von ihrer Naturwissenschaft geleistete Reflexion in die Lage versetzt, dem Untergange zu entgehen, dem bisher alle Hochkulturen zum Opfer gefallen sind. Zum erstenmal in der Weltgeschichte ist das so.“

Der Artikel stammt vom Landesstudio Niederösterreich des ORF, Internationales Konrad-Lorenz-Symposium, September 1983.

## Kurznachrichten

### Chromosomen und Krebs

Die Zusammenhänge zwischen Chromosomen und Krebs wurden durch Forschungen über Veränderungen des Karyotyps in Ausstrichen des Knochenmarks von Patienten mit chronischer myeloischer Leukämie im Jahre 1969 eingeleitet. Seither erkennt man die malignen Zellen an einem atypischen Chromosom, das nach dem Ort seiner Entdeckung „Philadelphia“ benannt wurde. 1973 wurde nachgewiesen, daß beim Philadelphia-Chromosom eine Translokation vom Chromosom 22 auf die Nummer 9 beteiligt ist. 1976 gelang es, in Tumorzellen, deren Mitose durch Methotrexat gestoppt war, um sie nach erneuter Anregung durch Thymidin und Einfrieren mit Demecolcin in der Prophase voneinander mechanisch zu trennen, zwei- bis siebenmal mehr Chromosomen-Bänder nachzuweisen, als vorher möglich war. Heute kann man auf dem Halbsatz menschlicher Chromosomen 5000 Bänder zählen. Nur mehr 10 Gene befinden sich in einem solchen Band.

An 48 soliden Tumoren aus sieben verschiedenen Krebsarten konnten Chromosomendefekte nachgewiesen werden, außerdem bei 71 Lymphomen, 67 akuten und 26 chronischen Leukämien, das waren 96% der untersuchten Fälle.

Die weitere Entwicklung ist gekennzeichnet durch verfeinerte Methoden der Isolierung und chemischen Charakterisierung von Chromosomen, zum Beispiel mittels Interspezies-Hybridisierung der Zellen, Strömungszytometrie und Klonierung der DNA in Bakterien zur Herstellung größerer Mengen einzelner Chromosomen. Bei der Strömungszytometrie werden Chromosomen nach Stoppen in der Prophase isoliert, gewaschen und mit Fluoreszenz-Farbstoff eingefärbt. Daraufhin läßt man sie einzeln mit hoher Geschwindigkeit einen Strahl eines sehr starken Argon-UV-Lasers passieren. Die dabei ausgestrahlte Fluoreszenz ist ein Maß für den für jedes Chromosomen-Band typischen Gehalt an DNA. Der Apparat kann auf bestimmte Fluoreszenzstärken derart eingestellt werden, daß er die entsprechenden Chromosomen aus dem Strom herausnimmt. Mit dieser Methode konnten bereits die drei Globin-Gene auf dem Chromosom 11 kartiert, eine Methode zur vorgeburtlichen Erkennung der Sichelzellenanämie entwickelt und Virus DNA in Chromosomen nachgewiesen werden.

Beim **Retinoblastom** wird über Verluste von Genen der Chromosomen 13, Band 14 berichtet. Diesem Genort entspricht der Code für die Esterase D, so daß eine Untersuchung dieses Enzyms in Erythrozyten und Fibroblasten nun zur Erkennung einer Disposition für diese Krankheit dienen kann.

Beim **Nephroblastom** wurde ein Verlust des Bandes 13 auf dem kurzen Arm des Chromosoms 11 gefunden. Gleichzeitig fehlt den von diesem Ausfall betroffenen Individuen die Iris des Auges, so daß ihre Disposition für den Tumor auch ohne Chromosomenuntersuchungen ersichtlich ist.

Beim **Burkitt-Lymphosarkom** soll das myc-Gen, das man dem Virus der Myelocytomatose von Vögeln gleichsetzt, vom Chromosom 8 ins Chromosom 14 verlagert sein. Das ist auch deshalb interessant, als es damit in die Nachbarschaft der Gene rückt, welche für Immunglobuline codieren. B-Lymphocyten wechseln die spezifische Produktion eines Immunglobulins, in dem ein Enzym aufhört, die Translation dieses Gens zu besor-

gen, und ein anderes Enzym beginnt, die Überschreibung einer anderen Globulin-Klasse zu übernehmen. Rückt nun die DNA eines Virus neben das für solche Umschaltungen erforderliche Schaltsignal, dann könnte dieses die Translation der Virus-DNA einleiten.

Bei vielen **Lymphomen** nimmt das Chromosom 14 DNA von anderen Chromosomen auf.

Bei akuter **myeloischer Leukämie** wird Material zwischen den Chromosomen 8 und 21, bei der **chronischen** zwischen 9 und 22 und bei der **promyelocytären** zwischen 15 und 17 getauscht.

Neben Ausfall und Austausch spielt auch die Verstärkung eine Rolle. Dabei wird gleichzeitig ein Chromosomenband verdoppelt, und man findet paarige Chromosomenbruchstücke ohne Zentromer. Einzelne Zellen vom Goldhamster werden so resistent gegen Methotrexat, weil sie die Gene für die Produktion von Dihydrofolatreduktase vervielfachen. Entfernt man das Methotrexat aus der Zellkultur, so verschwinden diese Chromosomenänderungen. Ähnliche Veränderungen wurden an menschlichen **Neuroblastomen** gefunden.

Diese Erkenntnisse sind wichtig für die Diagnose des Malignitätsgrades. Bei vielen Krebserkrankungen weisen die Zellen im Verlaufe der Erkrankung sekundäre Chromosomenaberrationen auf. In der akuten Phase der chronischen Leukämie zum Beispiel entwickeln sich bei 80% der Patienten Trisomie 8 sowie ein Isochromosom für den langen Arm von Chromosom 17 und/oder ein zusätzliches Philadelphia-Chromosom. Bei deren Auftreten nimmt die Lebenserwartung auf wenige Monate ab.

Auch die beweglichen genetischen Elemente, die „springenden Gene“, für deren Entdeckung die Genetikerin Barbara McClintock 1983 den Nobelpreis erhielt, entsprechen den Translokationen beim Krebs. Diese Gene werden von ihr in zwei Klassen eingeteilt, von denen eine (Ds) Chromosomenbrüche auslöst und die andere (Ac) den Faktor Ds aktiviert. Diese vor über vierzig Jahren am Mais erarbeiteten Einsichten konnten inzwischen auch bei Bakterien, Drosophilafliegen und der Maus bestätigt werden. Retroviren, die neuerdings mit der Krebsbildung in Verbindung gebracht werden, ähneln diesen Faktoren und sind möglicherweise daraus entstanden. Beim Menschen wurden springende Gene nicht in gleicher Weise nachgewiesen, die Translokationen verhalten sich aber entsprechend.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 2/1985)

### **Cholesterin und Arteriosklerose**

Im Blut zirkulieren kugelige Partikel, die Lipoproteine geringer Dichte (LDL – low density lipoprotein). Sie liefern das Arteriosklerose verursachende Cholesterin. Je mehr LDL im Blut, desto rascher entwickelt sich die Arteriosklerose. Untersuchungen ergaben, daß mehr als die Hälfte der Bevölkerung in den westlichen Industriestaaten einen erhöhten LDL-Spiegel im Blut aufweist.

Die Zelloberfläche tierischer Zellen besitzt LDL-Rezeptoren und entzieht damit dem Blut und anderen Körperflüssigkeiten LDL, um die Zellen mit Cholesterin zu versorgen. Je höher der Cholesterinbedarf, desto mehr LDL-Rezeptoren werden ausgebildet, sinkt der Bedarf, verringert sich ihre Anzahl, dafür erhöht sich aber der LDL-Spiegel im umgebenden Medium.

Das LDL-Partikel ist ein kugeliges Gebilde, enthält innen ca. 1500 Cholesterinmoleküle, wobei jedes mit einer langkettigen Fettsäure verknüpft ist. Dieser Kern aus Cholesterin-Estern wird von einer einlagigen Schicht von Phospholipiden umgeben, deren hydrophiler Teil nach außen orientiert ist. In dieser Phospholipid-Hülle ist ein großes Proteinmolekül, das Apoprotein B 100, eingelagert, und dieses Protein wird vom Rezeptor erkannt und gebunden.

Der Rezeptor ist ein Glykoprotein. Es zieht durch die Zellmembran und ragt mit der Bindungsstelle nach außen. Es ist in der Lage, ein einziges LDL-Molekül aus einer Milliarde Wassermolekülen herauszuholen.

Die Aufnahme des LDL-Moleküls in die Zelle erfolgt über eine rezeptorgekoppelte Endocytose. Das eingeschleuste LDL wird vom Rezeptor abgetrennt, welches dann wieder an die Oberfläche zurückkehrt.

Das LDL wird an ein Lysosom weitergegeben, es zerlegt das LDL und setzt das Cholesterin frei. Das Cholesterin wird vor allem für den Aufbau von Membranen verwendet, es dient aber auch als Basis für die Produktion der Steroidhormone, Corticoide, Östradiol und Gallensäure.

Ein Cholesterinüberschuß unterdrückt die Produktion des Enzyms HMG-CoA-Reduktase (Hydroxymethylglutaryl-CoA-Reduktase), dadurch wird die Fähigkeit der Zelle, eigenes Cholesterin zu bilden, gehemmt. Weiters wird die Speicherung von Cholesterin durch Aktivierung des Enzyms Cholesterin-Acyl-

transferase gefördert. Schließlich wird die Neubildung von den LDL-Rezeptoren eingeschränkt bzw. verringert.

Der Cholesterin- und Triglyceridtransport läuft im Körper über zwei Wege. Der erste beginnt im Darm, dort werden Nahrungsfette zu Lipoproteinpartikeln zusammengelagert (Chylomikrone), sie geben die Triglyceride an Fettgewebe und an Muskeln ab, die Reste enthalten Cholesterinester und werden an Leberzellen durch spezifische Rezeptoren aus dem Blut entfernt. Der zweite geht von der Leber aus, welche große VLDL-(very low density lipoprotein-)Partikeln ins Blut abgibt. Sie enthalten Triglyceride und geringe Mengen Cholesterinester, an der Oberfläche besitzen sie die Apoproteine B-100 und E, welche beide auf LDL-Rezeptoren ansprechen. Den VLDL-Partikeln wird im Fettgewebe und in der Muskulatur Triglycerid entzogen. Die Cholesterinester bleiben im geschrumpften Partikel zurück, welches nun als IDL (intermediate-density lipoprotein) bezeichnet wird. Die IDL-Partikel verschwinden rasch aus dem Blut, indem sie von der Leber aufgenommen werden. Ein Teil der IDL-Partikel bleibt länger im Blut, verliert das Apoprotein E und wird dadurch zu LDL-Partikeln. Bei der Erbkrankheit „familiäre Hypercholesterinämie“ (FH) konnte ein LDL-Rezeptormangel festgestellt werden. Bei heterozygoten Menschen ist nur die Hälfte der normalen Anzahl von Rezeptormolekülen vorhanden, bei homozygoten Menschen fehlen sie ganz bzw. sind sie nicht funktionstüchtig. LDL-Aufnahme erfolgt bei diesen Menschen über andere, weitaus weniger leistungsfähige Mechanismen. Reinerbige haben einen mehr als sechsmal erhöhten LDL-Spiegel, und Herzinfälle können bereits im Alter von 2 Jahren auftreten und werden allmählich unvermeidbar. Bei mischerbigen Patienten kann die Bildung von LDL-Rezeptoren angeregt werden, indem man den Cholesterinspiegel im Blut drastisch absenkt, durch Binden der Gallensäuren mit ionenaustauschenden Harzen im Verdauungstrakt und durch Hemmung der Cholesterinsynthese in der Leber durch einen Ezymblocker, welcher an der HMG-CoA-Reduktase angreift. Bei reinerbigen Patienten besteht derzeit nur die Möglichkeit einer Lebertransplantation. Die Bildung arteriosklerotischer Herde beginnt an schadhafte Endothellen, dort dringen LDL-Partikel und Blutplättchen ein, Hormone und Wachstumsfaktoren verursachen eine Vermehrung von Muskelzellen im beschädigten Bereich des Endothels. Weiters werden Monocyten angeregt, Freßzellen zu bilden, diese nehmen dann LDL auf und werden zu Schaumzellen. Zwischen den Schaumzellen häuft sich Cholesterin aus dem LDL an. Allmählich bildet sich ein Atherom, bestehend aus Cholesterin, Zellen und Zerfallsprodukten, welches die Arterie verengt und zur Thrombose führen kann.

LDL-Rezeptormangel und ein damit verbundenes Überangebot an LDL im Blut ist meist aber nicht vererbt, sondern erworben. Starker Verzehr tierischer Fette mit einem hohen Anteil gesättigter Fettsäuren dürfte wohl der wichtigste Faktor sein. Möglicherweise können geringfügige Anomalien im Hormonsystem besonders im Alter zur Abnahme von LDL-Rezeptoren führen (z. B. Verringerung der Östradiol- und Thyroxinproduktion).

(Spektrum der Wissenschaft 1/1985)

### **Verknüpfung von Nervenzellen**

Das menschliche Gehirn besitzt einige Milliarden Nervenzellen, welche miteinander zu einem ungemein komplizierten und zugleich spezifischen Schaltnetz verknüpft sind. Der Vorgang dieser Verknüpfung wird schon seit dem Ende des 19. Jahrhunderts untersucht.

Embryonale Nervenzellen bilden zunächst einen Wachstumskegel aus, an deren Spitze haarähnliche Ausläufer, die „Filopodien“, entstehen. Diese Filopodien sind ständig in Bewegung und stellen immer wieder Kontakte zu anderen Zellen her und ziehen sich anschließend wieder zurück. Bleiben dabei die Filopodien fest an der Oberfläche einer anderen Zelle haften, so lösen sie sich bei der anschließenden Kontraktion nicht mehr ab, sondern ziehen den Wachstumskegel zum Haftpunkt nach. Um die Frage, wie die Wachstumskegel und Filopodien ihre Zielzellen erkennen, zu klären, wurden umfangreiche Untersuchungen an der Heuschrecke *Schistocerca americana* und an der Tauffliege *Drosophila melanogaster* durchgeführt. Diese Tiere besitzen ein überschaubares Nervensystem mit nur ca. 50.000 Neuronen im Gehirn und je 1000 Neuronen in jedem Ganglion der Bauchganglienlinie. Von den 1000 Neuronen einer Hälfte eines Ganglienpaares lassen sich die meisten individuell erkennen.

Im plattenförmigen Neuroepithel des Embryos differenzieren sich bestimmte Zellen zu neuronalen Vorläuferzellen. Jedes Segment enthält zwei symmetrische Seitenplatten mit je 30 Neuroblasten. Entlang der Mittellinie zwischen den beiden Sei-

tenplatten befinden sich noch sieben Vorläuferzellen und ein Neuroblast.

Genauere Untersuchungen an der Universität von Kalifornien haben ergeben, daß sowohl die Abstammung der Zellen als auch die Wechselwirkungen untereinander zur Determination eines Neurons beitragen.

Die Wachstumskegel entscheiden sich erst nach einer bestimmten Zeit (nachdem ca. 40% ihrer Entwicklung abgelaufen ist) für eine spezifische Bahn. Die Filopodien erkennen dabei die Zielzelle und ermöglichen dadurch eine selektive Strangbildung. Es wird nach grundlegenden Untersuchungen angenommen, daß die Axone Oberflächen-Marker tragen, durch die Axone besonders gekennzeichnet sind, sich dadurch von vielen anderen unterscheiden und den Weg der Wachstumskegel an den Neuronen markieren.

(Spektrum der Wissenschaft 2/1985)

### **Mykorrhiza-Pilze gegen „Sauren Regen“**

Manche Bäume, die über optimale Pilz-Symbionten verfügen, ertragen Belastungen wesentlich besser als solche, denen die geeigneten Symbionten fehlen. Bestimmte Pilzarten, die mit den Wurzeln von Bäumen in Symbiose leben, können diese vor Auswirkungen des Sauren Regens, vor übermäßiger Konzentration von Metallionen im Boden und vor den Folgen der Dürre schützen.

Tannen gedeihen z. B. auf dem äußerst unwirtlichen sauren und metallreichen Milieu von Kohleschlackenhalde, wenn ihre Wurzeln mit dem Pilz *Pisolithus ararizyus* assoziieren. Niederländische Wissenschaftler, die solche Untersuchungen durchführten, empfehlen nun, Sämlinge mit geeigneten Pilzen zu inokulieren, ähnlich wie Leguminosensämlinge mit Knöllchenbakterien geimpft werden. Allerdings verdrängen oft andere parasitische Pilzarten – zum Schaden des Baumes – die für den Baum vorteilhaften Mykorrhizapilze.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 12/1984)

### **Schwanz als Sonnenschirm**

Erdhörnchen, die in der Kalahari-Wüste (Südafrika) leben, verwenden ihren langen buschigen Schwanz als Sonnenschirm. Die Erdhörnchen verlassen ihre unterirdischen Bauten etwa zwei Stunden nach Sonnenaufgang und beginnen mit der Nahrungsaufnahme (Pflanzen, Samen). Wird es heißer, drehen sie den Rücken zur Sonne, heben den Schwanz und geben damit ihrem Körper Schatten. Dadurch kann die Temperatur des im Schatten befindlichen Körpers um ca. 6 °C niedriger gehalten werden, was bedeutet, daß die Nahrungssuche bis zur Mittagszeit fortgesetzt werden kann. Gegen Mittag folgt eine etwa vierstündige Periode des „Bau-Pendelns“, in der die Tiere immer wieder kurz den Bau aufsuchen, um sich abzukühlen, da die Körpertemperatur den für die Erdhörnchen kritischen Wert von 40 °C erreicht. Am Nachmittag bleiben sie wieder ständig an der Oberfläche, zunächst mit erhobenem „Schirm“, gegen Abend, wenn es kühler wird, wird der Schwanz gesenkt. Dieses originelle Verhalten bewirkt, daß die tägliche Aktivität auf sieben Stunden ausgedehnt werden kann, während sich die Tiere ohne eigenen Schattenspender nur etwa 3 Stunden an der Oberfläche aufhalten könnten.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 2/1985)

### **Fossilien der ältesten Landtiere**

Die Besiedlung des Landes durch Tiere begann vor ca. 400 Millionen Jahren im späten Silur oder frühen Devon. Vermutlich waren Gliederfüßer, wie Spinnen, Milben, Tausendfüßer und Urinsekten, die ersten Landtiere. In späten Silur- und frühen Devon-Formationen Schottlands sowie in Devongestein in Alken an der Mosel wurden bereits schlecht erhaltene Fossilien gefunden. Nun aber wurden in Gilboa im Staat New York mehrere gut erhaltene Fossilien mit einem Alter von etwa 377 Millionen Jahren entdeckt.

Alle Fundstellen waren nach den Theorien der Plattentektonik benachbart, und zwar in Äquatornähe im Kontinent Laurasia. In Gilboa wurden gefunden: eine gut erhaltene vollständige Milbe, eine Spinne, Fossilien von Tausendfüßern und ein Stück Kopf mit einem Facettenauge, das wahrscheinlich dem ältesten bisher aufgefundenen Insekt gehört. Man nimmt an, daß es der Ordnung der Borstenschwänze (*Thysanura*) zuzurechnen ist.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 1/1985)

### **Meteoritenspuren in der Grenzschicht Kreide-Tertiär**

Die Theorie, daß die Kreidezeit durch den Einschlag eines sehr großen Himmelskörpers vor rund 65 Millionen Jahren beendet wurde, bekam neue Unterstützung von amerikanischen Wissenschaftlern (US-Geological Survey, Denver, Colorado).

An vielen Stellen der Erde fand man in der Tonschicht an der Grenze Kreide-Tertiär eine Anreicherung von Iridium und an-

deren Edelmetallen, die man sich durch rein irdische Vorgänge nicht erklären kann.

In dieser Grenzschicht wurden nun auch deutliche Anreicherungen von Quarzkörnern entdeckt, die Veränderungen zeigen, die auf einen sehr energiereichen Einschlag hinweisen. In der Regel findet man derart veränderte Quarzkörner dort, wo große Meteoriten in Felsgestein einschlugen.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 3/1985)

### **5 Millionen Jahre alter fossiler Kiefer**

Trotz der zahlreichen Fossilfunde der letzten Jahrzehnte blieb in der Entwicklungsgeschichte des Menschen noch immer eine Lücke zwischen den späten *Ramapithecus*-Formen, die etwa 8 Millionen Jahre alt sind, und den äthiopischen Funden aus der Gruppe *Australopithecus afarensis*, die man auf rund 4 Millionen Jahre datiert.

Durch den Fund eines 5 Millionen Jahre alten Unterkiefers verkleinert sich die Kluft. Das geborgene Bruchstück ist 5 cm lang und trägt noch zwei Molare. Der Fundort dieses bislang ältesten hominiden Fossils liegt am Baringo-See in Kenia. Dieser gefundene Unterkiefer ähnelt dem *Australopithecus afarensis* „Lucy“ sowohl in der Größe als auch in der Form. Möglicherweise reicht *Australopithecus* weiter zurück, als man bisher annahm.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 1/1985)

### **Eine Zigarette – 10 000 Mutationen**

Schäden am eigentlichen Programmträger (DNA) können durch neue Methoden gemessen werden. Obwohl die meisten Mutationen durch körpereigene Reparatursysteme rasch beseitigt werden, passiert bei jeder hundertmillionsten Reparatur ein Fehler. Obwohl die Fehlerchance 1 : 10<sup>8</sup> sehr gering ist, addieren sich die Veränderungen zu beachtlichen Summen.

Durch das Rauchen einer einzigen Zigarette finden in den Körperzellen, vor allem im Lungenbereich, 10<sup>12</sup> Brüche und Veränderungen im DNA-Strang statt. Die Reparatur erfolgt mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 1 : 10<sup>8</sup>. Es entstehen durch das Rauchen einer Zigarette ca. 10 000 Mutationen an den DNA-Strängen verschiedener Körperzellen. Die allermeisten Veränderungen sind glücklicherweise für die normalen Lebensvorgänge völlig belanglos, einige Mutationen bewirken aber die Entstehung von Krebs.

Nach einer Statistik sind die meisten tödlichen Tumore (35%) durch Nahrungsbestandteile bedingt. An zweiter Stelle steht mit 30% das Rauchen. Bei einer Urinuntersuchung von Rauchern veränderten die Urinproben die Erbinformation der im sogenannten Ames-Test eingesetzten Bakterien. Die Proben wiesen dabei signifikante Unterschiede auf, die vorwiegend durch das Rauchverhalten der betreffenden Personen erklärbar sind. Dagegen konnte zwischen den unterschiedlichen Umweltbelastungen und der Urin-Mutagenität kein eindeutiger Zusammenhang nachgewiesen werden.

(Bild der Wissenschaft 3/1985)

### **Vollsynthese eines Gens**

Die erste Vollsynthese eines Gens ist Brenner und seinen Mitarbeitern (Harvard-Universität, Cambridge, USA) gelungen. Es handelt sich dabei um eine Ribonuclease aus 124 Aminosäuren mit 4 Querverbindungen in der Kette. Die dafür codierende Desoxyribonucleinsäure besteht aus 318 Basen und konnte nach der Synthese in *Escherichia coli* inkorporiert werden, wo es die entsprechende Ribonuclease-Produktion auslöste.

Mit dem so geklonten Gen können nun Versuche zu der Frage unternommen werden, wie sich Änderungen am DNA-Molekül, also synthetische Mutanten, auf die Struktur und Aktivität des Enzyms auswirken.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 3/1985)

### **Raubfliegen gegen Tsetsefliegen**

Die Raubfliegen (*Asilidae*) sind eine weltweit verbreitete Fliegenfamilie mit ca. 5000 Arten. Sie besitzen ungewöhnlich große Augen und ernähren sich von anderen Insekten, die sie mit ihren langen starken Beinen erfassen. Sie spritzen in ihre Beute ein Verdauungsenzym ein und saugen sie dann aus.

In Äthiopien wurden Raubfliegen entdeckt, die bevorzugt auf Tsetsefliegen Jagd machen. Die Tsetsefliege *Glossina morsitans* ist der Zwischenwirt von *Trypanosoma brucei*, dem Erreger der Nagana bei Hausrindern, und *Glossina palpalis* ist der Überträger von *Trypanosoma gambiense*, dem Erreger der Schlafkrankheit beim Menschen. Bei ökologischen Studien über Tsetsepopulationen konnten in Mitteläthiopien bis zu 40 Raubfliegen pro Tag gefangen werden, die die Tsetsefliegen innerhalb von ca. 30 Sekunden fingen und töteten, während z. B. Schmetterlinge von den Raubfliegen nicht angegriffen wurden.

Möglicherweise hat man mit dieser Raubfliegenart einen Kandidaten für die biologische Bekämpfung der Tsetsefliege gefunden.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 2/1985)

### Arzneimittelprüfung an der Plazenta

Die Plazenta dient dem Stoffaustausch zwischen dem Blutkreislauf der Mutter und jenem des Fetus. Welche Stoffe die Plazentaschranke passieren und vom mütterlichen Kreislauf in jenen des Fetus gelangen können, ist nicht immer vorhersagbar. Diese Frage ist bei der Überprüfung von Medikamenten wichtig, die während der Schwangerschaft verabreicht werden.

Bei einer neuentwickelten Methode wird die Nachgeburt – unmittelbar nachdem sie ausgestoßen wurde – in ein spezielles Perfusionsgerät eingeschlossen. Geschieht dies innerhalb von fünf Minuten, so ist die Funktionsfähigkeit der Plazenta für etwa drei Stunden gewährleistet. Diese Zeit bleibt dann, um zu prüfen, welche Stoffe das Gewebe passieren und welche nicht, wie sich Veränderungen in der Zusammensetzung eines Medikaments auswirken und wie man durch eine „Verpackung“ des Wirkstoffs diesen entweder dem Fetus zuführen oder von ihm fernhalten kann.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 2/1985)

### Epiphyten – Hemiepiphyten

Hemiepiphyten entwickeln im Gegensatz zu den echten Epiphyten Luftwurzeln zum Boden, welche dann eine sichere Wasserversorgung gewährleisten. Weiters können auch genügend Nährstoffe aus dem Boden aufgenommen werden. Aus diesem Grund werden Hemiepiphyten auch meist wesentlich mächtiger als Epiphyten, dabei schädigen sie häufig ihre Wirtspflanze, indem sie diese „erwürgen“, sie beschatten oder sie einfach durch ihr Gewicht zusammendrücken.

Es werden dadurch immer wieder Lücken im Kronendach aufgerissen, durch die das Sonnenlicht bis zum Boden vordringen kann. Solche Lücken sind ein wichtiger Faktor für die Erhaltung der Artenvielfalt in der Regenwaldflora. Die Verteilung der Epiphyten wird durch die Form und die Oberflächenbeschaffenheit der Äste, das Lichtangebot und den regelmäßigen Kontakt mit Tieren beeinflusst. Nachdem viele Epiphyten einen schwachen Baum töten können, haben zahlreiche Baumarten Abwehrmechanismen gegen einen Epiphyten-Aufwuchs entwickelt, z. B. durch regelmäßiges Abwerfen der Rinde oder durch Ansammeln von Alkaloiden in der Rinde, welche das Wachstum artfremder Pflanzen hemmen. Die Bäume der Gattung *Cecropia* scheinen gegen Epiphyten „immun“ zu sein, sie profitieren offensichtlich von einer Symbiose mit Ameisen der Gattung *Azteca*. *Cecropia*-Bäume entwickeln an der Basis der Blattstiele stärkereiche Knöllchen, die „Müllerschen Körperchen“, diese dienen den Ameisen als Nahrung, andererseits dienen die hohlen Sprossen der *Cecropia*-Bäume als Wohnraum für diese Tiere. Als Gegenleistung halten die Ameisen die Bäume frei von Epiphyten. Sie entfernen die auskeimenden Epiphyten von der Rinde und werfen sie vom Baum.

(Spektrum der Wissenschaft 1/1985)

### Prosom – eine neue Cytoplasma-Partikel

Größere RNA-Moleküle liegen im Cytoplasma aller Eukaryonten nie vor, sondern sind stets an Proteine zu Ribonucleoprotein-(RNP-)Partikeln gebunden.

In Mäuse-, Enten- und He-La-Zellen wurde nun ein sehr stabiles RNP-Partikel nachgewiesen, das an nicht abgelesene (also reprimierte) m-RNA, die ihrerseits als m-RNP vorliegt, gebunden ist.

Das Teilchen hat eine Größe von 19 S, ein Molekulargewicht von 330 000 Dalton, ist gegen die Einwirkung von Ribonuklease stabil, kann leicht vom m-RNP abgelöst werden und muß etwa 15% RNA enthalten.

Genauere Untersuchungen ergaben, daß zwei kleinmolekulare cytoplasmatische RNA-Moleküle (ScRNA, Größe je etwa 70 bis 90 Nucleotide) enthalten sind. Die 3'-Enden beider Moleküle sind identisch. Der Proteingehalt besteht aus etwa 10 Proteinen mit einem Molekulargewicht von 20 000 bis 30 000 und einigen Proteinen mit einem Molekulargewicht von 50 000 bis 70 000. Man findet auch heat-shock-Proteine, die ihren Namen von der Tatsache ableiten, daß sie in eukaryotischen Zellen vermehrt entstehen, wenn diese Organismen einem Streß, z. B. Hitzeschock, ausgesetzt werden. Es ist ziemlich sicher, daß solche heat-shock-Proteine bei der posttranskriptionalen Kontrolle der Genexpression eine wichtige Rolle spielen, so daß dieses Partikel an einer noch ungeklärten Weise an der Kontrolle der m-RNA-Translation im Cytoplasma beteiligt ist.

Für das Partikel, das bei allen Tieren vorzukommen scheint, wurde der Name „Prosom“ („pro“ von program oder processing oder progress) vorgeschlagen.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 12/1984)

### Atrium-Natriurese-Faktor – ein neues Hormon

Granula, die den Sekretkörnern von Drüsenzellen gleichen, wurden 1979 in den Zellen der Herzvorhöfe gefunden. Bold und seine Mitarbeiter konnten einen Zusammenhang zwischen der Zahl dieser Körnchen und dem Natrium- und Wasserhaushalt herstellen. Die Ausscheidung von Natrium im Urin nahm bei Versuchstieren nach vorhergehender Gabe von Herzvorhofextrakt erheblich zu. Diese Aktivität konnte in den Granula lokalisiert und die wirksame Substanz als Peptid charakterisiert werden.

Der Atrium-Natriurese-Faktor (ANF) besteht aus 152 Aminosäuren, deren Kette durch ein Enzym der Herzhöhlen zerlegt wird. Diese Spaltung (zu der auch Trypsin und Kallikrein befähigt sind) liefert Peptide verschiedener Längen, deren kleinstes mit 26 Aminosäuren noch aktiv ist. Dieses wurde synthetisiert und als aktives Hormon bestätigt. Es kann bereits durch Klon-Technik in größeren Mengen hergestellt werden, und zwar für Ratten und auch für den Menschen.

An Wirkungen wurden nach Mikroinjektion in Nierenzellen festgestellt:

- Hemmung der Rückresorption im distalen Tubulus, besonders im Sammelröhrchen
- Gefäßerweiternde und blutdrucksenkende Wirkung
- Verstärkte Ausscheidung von Kalium
- Eine mögliche Wirkung im Glomerulus der Nieren auf die Filtration

Damit müssen einige Kapitel der Physiologie über Kardiologie, Nieren und Endokrinum neu geschrieben werden.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 3/1985)

### Symbiose zwischen Pflanzen und Ameisen

Die wichtigste symbiotische Beziehung zwischen Pflanzen und Insekten betrifft die Bestäubung der Blütenpflanzen durch Insekten, die als Gegenleistung Nektar und Pollen erhalten.

Eine engere Symbiose ist zwischen Ameisen und Akazien bekannt, die für die Fütterung der Gäste spezielle Organe ausgebildet haben. *Acacia nicoyensis* besitzt extraflorale Nektarien an der Basis der Fiederblättchen. Sogenannte Beltsche Futterkörperchen sitzen an den Spitzen der Blättchen. Die Ameisen bohren die hohlen Dornen der Pflanzen an und bewohnen sie. Der Vorteil der Pflanze besteht in einem äußerst wirksamen Schutz vor pflanzenfressenden Insekten und vor konkurrierender Vegetation, da die Ameisen andersartige Blätter, die „ihrer“ Pflanze zu nahe kommen, wegschneiden.

Derartige Symbiosen waren aus den Tropen bekannt, nun aber konnte in den gemäßigten Zonen der amerikanischen Südstaaten eine Symbiose zwischen Passionsblumen (*Passiflora incarnata*) und verschiedenen Ameisen festgestellt werden.

*Passiflora incarnata* besitzt paarige Nektarien an den Blattstielen und den Hüllblättern der Blüten und Knospen. Während die Blütennektarien unpaar sind und nur zu bestimmten Zeiten Nektar produzieren, sekretieren die paarigen extrafloralen Nektarien durchgehend Nektar, was für eine dauerhafte Symbiose mit den Ameisen entscheidend ist.

Passionsblumen, die in Symbiose mit Ameisen lebten, produzierten mehr Früchte als unbewachte Pflanzen. Alte Blätter, die keine Nektarien mehr enthielten, wurden von den Ameisen abgeschnitten. Nach künstlicher Entfernung der nektarproduzierenden Drüsen sank die Zahl der besuchenden Ameisen, während die der pflanzenfressenden Insekten auf der Pflanze zunahm. In einem Fall hatten sich die Ameisen im hohlen Stengel der Passionsblume eingenistet – vielleicht eine Andeutung des nächsten Evolutionsschrittes.

Im Laufe der Evolution wurde von Pflanzen eine unüberschaubare Zahl von toxisch wirkenden Substanzen gegen Insekten entwickelt. Pflanzen, die auf solche „chemische Schädlingsbekämpfung“ spezialisiert sind, haben aber oft das Problem, spezifische Gifte für verschiedene Insektenarten entwickeln und gegen laufende Resistenzanpassung kämpfen zu müssen. Symbiosepflanzen brauchen hingegen nur Nektar zu produzieren und sind durch die vielseitigen Ameisen gegen eine große Zahl verschiedener Insektenarten geschützt.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 3/1985)

### Frösche fressende Fledermäuse

Die in Panama beheimatete Fledermausart (*Trachops cirrhosus*) ernährt sich ausschließlich von Fröschen. Die einzelnen Froscharten können durch ihre unterschiedlichen Rufe unterschieden werden. Deshalb wird etwa der große Ochsenfrosch (*Leptodactylus pentadactylus*) nicht attackiert, wohl aber ein kleiner Frosch, der mit 3 cm Körpergröße eher in das Beuteschema paßt. Die Fledermaus vermag auch zwischen giftigen und ungiftigen Amphibien zu unterscheiden, sie meidet z. B. Kröten wegen ihrer giftigen Hautsekrete.

Versuche, bei denen der Froschlockruf simuliert und seine Wirkung auf die Fledermaus getestet wurde, ergaben, daß die Fledermaus nur die Frosche angreift, deren Ruf dem der Kröte am unähnlichsten ist.

Fledermäuse können also ihre Beute nicht nur mittels Ultraschall lokalisieren, sondern auch in sehr differenzierter Weise durch Wahrnehmung im hörbaren Schallbereich.

(Naturwissenschaftliche Rundschau 12/1984)

### Vibrationssinn beim Sandkorpion

Der Sandkorpion *Paruroctonus maesaensis* ist mit ca. 8 cm eines der größeren Tiere in der Mojave-Wüste und gleichzeitig Endglied in der Nahrungskette. Seine Beutetiere sind verschiedene Insekten und auch kleinere Artgenossen. Hungerperioden kann er gut überstehen, indem er seinen Stoffwechsel drosselt und inaktiv in seiner Höhle verharrt.

Betritt ein geeignetes Beutetier das Territorium, zeigt er zunächst eine Alarmreaktion, er öffnet die Scheren und streckt sie nach vorn. Danach folgt eine Orientierungsreaktion, der Skorpion richtet seine Scheren auf das Beutetier und läuft einige Zentimeter darauf zu.

Bei Untersuchung dieses Verhaltens hat sich herausgestellt, daß das Beutetier jeweils den Sand erschüttern muß, um beim Skorpion eine Reaktion auszulösen. Der Skorpion kann solche Bodenerschütterungen bis zu einer Entfernung von ca. 30 Zentimeter wahrnehmen. Akustische und visuelle Reize spielen für das Verhalten praktisch keine Rolle.

Modellversuche ergaben, daß Sand mechanische Wellen im Bereich von 0,1 bis 5 Kilohertz gut leitet. Es herrschen dabei zwei Wellentypen vor, schnelle Kompressionswellen im Sand und langsame Oberflächenwellen (Rayleigh-Wellen) an der Sandoberfläche. Beide Wellen können vom Skorpion wahrgenommen und zum Auffinden von Beute ausgewertet werden. Der Skorpion besitzt im Tarsalbereich aller Laufbeine neben Sinneshaaren, Dornen, Klauen auch ein spezielles Spaltsinnesorgan, welches auf feinste Vibrationen anspricht.

Experimente, bei denen die Spaltsinnesorgane ganz oder teilweise ausgeschaltet wurden, ergaben die eindeutige Bestätigung, daß dieses Sinnesorgan das wichtigste Element im Orientierungsmechanismus darstellt.

Das Spaltsinnesorgan registriert vor allem die Rayleigh-Wellen, während die Sinneshaare besonders auf Kompressionswellen ansprechen.

Die acht Laufbeine bilden ein annähernd kreisrundes sensorisches Feld, und durch Auswertung der geringen zeitlichen Differenzen, mit der Erschütterungswellen auf die einzelnen Beine auftreffen, wird die Richtung der Störquelle bestimmt.

Die Entfernungsmessung ist noch nicht zur Gänze geklärt. Sie könnte entweder aus dem Zeitunterschied zwischen Kompressionswellen und Rayleigh-Wellen oder aus der Dämpfung der Signale im Medium abgeleitet werden.

(Spektrum der Wissenschaft 2/1985)

### Alzheimersche Krankheit

In Amerika sterben jährlich mehr als 100 000 Menschen an dieser Krankheit. Sie verlieren allmählich die Fähigkeit, sich zu erinnern, können vertraute Gegenstände nicht mehr beim Namen nennen, innerhalb von 3 bis 10 Jahren tritt vollkommener geistiger Verfall ein, sie können schließlich nicht mehr sprechen und denken. Sie sterben meist an irgendwelchen Komplikationen, welche bettlägerigen Patienten drohen.

Obwohl meist ältere Menschen davon betroffen sind, ist es dennoch keine Alterserscheinung. Die Krankheit läßt sich erst durch eine Autopsie eindeutig nachweisen.

Die Zahl der Nervenzellen im Gehirn nimmt ab, besonders in den Gehirnbereichen, die für das Denken und Erkennen besonders wichtig sind. In den verbleibenden Nervenzellen finden sich „neurofibrilläre Bündel“, in den Wänden der Blutgefäße und ihrer Umgebung finden sich Amyloide (Aggregate einer proteinreichen Masse), und ferner finden sich im Gehirngewebe noch die sogenannten „neuritischen Plaques“, das sind Gebilde aus Amyloid und Überresten abgestorbener Zellen.

Durch einen Verlust an Nervenzellen an den primitiven Regionen der Hirnbasis kommt es auch zur Verarmung an Acetylcholin sowie anderen Neurotransmittern.

Für das Absterben der Neuronen werden verschiedene Ursachen diskutiert, wie z. B. genetische Defekte, anomale Anhäufungen von Protein, Erreger, Umweltgifte und mangelnde Blutversorgung.

Für die Annahme, daß die Ursache ein defektes Gen ist, spricht, daß die Krankheit in manchen Familien ungewöhnlich häufig auftritt. Es ist denkbar, daß dabei Alterungsprozesse ein genetisch gefährdetes physiologisches System weiter schwächen oder daß ein bereits bestehender Mangel an einem speziellen Protein verschärft wird.

Es gibt auch Familien, in denen eine genetische Komponente als Krankheitsursache deutlich nachweisbar ist. Dabei scheint eine autosomal dominante Vererbung vorzuliegen. Großangelegte Untersuchungen haben ferner zur Annahme geführt, daß es zwei Formen der Alzheimerischen Krankheit gibt. Eine leichte, nichtfamiliäre Form, welche besonders alte Menschen befällt, und eine vererbare Form, der drei Viertel der Fälle zuzuordnen sind. Gegen dieses Modell spricht, daß bis jetzt weder entsprechende Mutationen noch ein funktionsuntüchtiges Protein gefunden wurde.

Für die Anhäufung eines abnormen Proteins als Krankheitsursache sprechen ungewöhnliche Proteinstrukturen in Form der neurofibrillären Bündel innerhalb der Neurone und die Amyloide, mit normalen Proteinen, allerdings in großer Menge, an und in den Blutgefäßwänden sowie an den degenerierenden Nervenendigungen. Einige Wissenschaftler nehmen an, daß durch enzymatische Umwandlung von Blutprotein Amyloid entsteht, welches die Gefäßwände schädigt und weiter Blutprotein ins Gehirngewebe eindringen läßt, welches aber auf Nervenzellen giftig wirkt. Es aktiviert ein weiteres Enzym, welches die Bildung von neurofibrillären Bündeln verursacht.

Die Möglichkeit, daß ein Erreger als Krankheitsursache in Frage kommt, wird deshalb berücksichtigt, weil sowohl bei der Skrapie als auch bei der Jakob-Creutzfeldt-Pseudoklerose vor wenigen Jahren ein Erreger nachgewiesen werden konnte.

Manche Wissenschaftler dagegen glauben, daß Aluminiumsalze zur Entwicklung der Alzheimerischen Krankheit beitragen. Es wurde nachgewiesen, daß sich Aluminium in den Neuronen ansammelt, welche auch die neurofibrillären Bündel enthalten. Injektionen von Aluminiumsalzen bei Kaninchen und Katzen führten zur Bildung dieser neurofibrillären Bündel. Aluminiumhaltige Dialyse-Lösungen haben bei Nierenpatienten eine irreversible Demenz verursacht. Es ist allerdings fraglich, ob Aluminium die Krankheit tatsächlich auslöst oder ob Aluminiumanreicherung lediglich eine Folge der Defekte in den Zellen ist. Es könnte jedoch sein, daß Aluminium zwar die Krankheit nicht verursacht, wohl aber zu ihrem Ausbruch beitragen kann.

Die mangelnde Blutversorgung als Krankheitsursache wird deshalb diskutiert, weil man durch nichtinvasive Bildverfahren nachweisen konnte, daß bei Alzheimer-Kranken nicht nur die Durchblutung des Gehirns, sondern auch die Sauerstoffaufnahme aus dem Blut sinkt. Parallel dazu sinkt auch der Glukoseverbrauch im Gehirn um 30 bis 50 Prozent.

(Spektrum der Wissenschaft 3/1985)

### Buchbesprechungen

**Wolfgang Engelhardt: Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? Pflanzen und Tiere unserer Gewässer in Farbe; Eine Einführung in die Lehre vom Leben der Binnengewässer.** 11., völlig neu bearb. u. neu illustrierte Auflage 1985; 270 S., 53 Farftafeln mit 349 Einzelbildern, gebunden DM 38,-, Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart.

Das erstmals 1954 erschienene Werk brauchte an sich nicht mehr vorgestellt zu werden, es hat seinen festen Platz im allgemeinverständlichen naturwissenschaftlichen Schrifttum. Sein Erfolg ist auf die außerordentlich klare Darstellung sowie vor allem auf die Tatsache zurückzuführen, daß es nicht nur die Kenntnisse von Tier- und Pflanzenarten vermittelt, sondern darüber hinaus auch deren Lebensräume schildert.

Die mit der 11. Auflage vorgelegte Neubearbeitung zeigt erstmals durchwegs alle behandelten Tiere und Pflanzen in nach der Natur gezeichneten farbigen Abbildungen, wobei sich der Autor wohl bewußt ist, daß die Körperfarbe nur bei wenigen Arten der Süßwassertiere, z. B. bei den Libellen, ein zuverlässiges Bestimmungsmerkmal ist. Dennoch wird das Erkennen dadurch wesentlich erleichtert. Die Begleittexte zu den meist vergrößert dargestellten Lebewesen beschreiben die wichtigsten Erkennungsmerkmale. Einleitende Abschnitte machen jeweils mit der Entwicklung und Lebensweise der Wasserpflanzen und Wassertiere vertraut, dazu mit den Besonderheiten der Lebensräume, in denen wir sie finden.

Wesentlich erweitert wurde das Kapitel über vom Menschen beeinflusste Gewässer, neu hinzugekommen sind Abschnitte über die Anlage eines naturnahen Gartenteiches und über durch Baustoffgewinnung entstandene Gewässer und ihre Besiedlung. Die Zahlen der „Roten Liste“ über bereits ausgestorbene oder stark gefährdete Tiere und Pflanzen unserer Gewässer zeigen, wie nötig die Kenntnis der hier lebenden Organismen ist, denn: Nur was man kennt, kann man schützen!

Ökologische Themen gehören zum Lehrstoff der Schulen aller Art bis hinein in die Bereiche der Erwachsenenbildung. Mögen wir alle unseren Teil beitragen, daß nicht eines Tages nur mehr Bilder eines einstmalig vielfältigsten tierischen und pflanzlichen Lebens zu sehen sind. Das Buch kann Lehrenden wie Lernenden in gleicher Weise dazu dienen.

Leonhard A. Hütter

**Detlef Meyer: Makroskopisch-biologische Feldmethoden zur Wassergütebehandlung von Fließgewässern.** 2. Aufl. 1984; 135 S., zahlr. Abb. u. Tab., brosch. DM 8,50 (zu beziehen durch: Bund f. Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Niedersachsen e. V., Deisterstraße 66, D-3000 Hannover 91).

Das vom Naturschutzbeauftragten im Großraum Hannover, Detlef Meyer, verfaßte und von der „Arbeitsgemeinschaft Limnologie und Gewässerschutz e. V.“ und dem „Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Niedersachsen e. V.“ herausgegebene Buch stellt einen aus langjähriger Praxis erwachsenen und als Unterrichtshilfe für einfache biologische Gewässeruntersuchungen bestens geeigneten Arbeitsbehelf dar. Die Schrift darf für sich in Anspruch nehmen, über eine verblüffend einfache „Ja-Nein-Liste“ und eine „Aufbauliste für den Anfänger“ eine „erlernbare Methode“ zu sein, die didaktisch geschickt aufgebaut, von zahlreichen Gesamt- und Detailabbildungen unterstützt, auch dem interessierten Laien bzw. dem Schüler gestattet, sich in begrenzter Zeit in die Methodik einzuarbeiten, und ihn befähigt, die rund 80 (!) Indikatoren bzw. Indikatorgruppen allein mit der Lupe zu bestimmen, obwohl selbst der schon „vorbelastete“ Untersucher Arten dabei finden wird, die er in den allgemeinen Exkursions-Bestimmungsbüchern bisher vergeblich gesucht hat. Wer sich bislang noch nicht an biologische Wassergütebeurteilungen gewagt hat – sei es allein oder im Unterricht –, möge es mit dieser preiswerten Schrift versuchen.

Leonhard A. Hütter

## Kosmochemie

Die Auffassung, leerer Raum befände sich zwischen den Himmelskörpern, mußte schon vor geraumer Zeit aufgegeben werden. Vor allem sind es die riesigen Wolken interstellaren Wasserstoffs, die uns eines Besseren belehren. Daneben gab es schon nach 1940 unübersehbare Anzeichen für das Vorkommen der Radikale  $\text{CH}$ ,  $\text{CH}^+$ ,  $\text{CN}$  in gewissen Gaswolken, aber so richtig begann der Nachweis anderer Moleküle bzw. Molekülbruchstücke erst ab 1968, und zwar mit der Entwicklung der Radioastronomie. Heute sind an die 60 chemische Verbindungen einwandfrei (vornehmlich durch minutiösen Vergleich mit den im Labor vermessenen Linien) als Bestandteile des Mediums zwischen den Sternen bekannt. In der am Schluß beigefügten Tabelle (sie ist der Zeitschrift *Sterne u. Weltraum*, Jänner 1985, S. 17, entnommen) ist der gegenwärtige Stand der Forschung festgehalten. Den Symbolen der ungewöhnlicheren Substanzen sind die Bezeichnungen beigefügt.

Vor allem ist es der Radiofrequenzbereich zwischen 0,8 GHz und 600 GHz, entsprechend den Wellenlängen von 37,5 cm bis 0,5 mm, in dem man fündig wird. Die Erforschung der chemischen Verbindungen im Weltraum betreiben in Deutschland vor allem das schwenkbare 100-m-Radioteleskop in der Eifel und das 3-m-Instrument der Universität Köln. Die erstgenannte Anlage erfaßt am besten den cm-Abschnitt des Radiospektrums, kann aber auch noch bis 7 mm arbeiten. Das 3-m-Gerät eignet sich besonders gut für die Millimeter- und die Submillimeterstrahlung. Die Oberfläche des Kölner Teleskops ist mit 0,03 mm Toleranz gestaltet.

Was die Identifikation der aus dem Weltraum eintreffenden Radiosignale betrifft, so erzielt man bei Vergleichen zwischen ihnen und den im Labor erzeugten Verbindungen Genauigkeiten von  $10^{-6}$  Teilen. Außerdem begnügt man sich nicht mit der Übereinstimmung einer einzigen Linie des vermuteten Stoffes, ist vielmehr bestrebt, noch andere zugehörige Linien zu identifizieren, die zusammen mit der einen auftreten müßten, falls der Stoff tatsächlich vorhanden ist. Überflüssig zu sagen, daß noch genug Linien beobachtet werden, deren Herkunft im dunkeln liegt. (Sogar im optischen Sonnenspektrum kennt man noch nicht die Natur aller Fraunhoferschen Linien!) Manchmal ergibt sich die Notwendigkeit, ergänzende Messungen im Labor vorzunehmen bzw. die Synthese der fraglichen Verbindungen zu versuchen.

Überraschend ist die Fähigkeit der Meßgeräte, zwischen Isotopen in chemisch gleichartigen Verbindungen zu unterscheiden. So wurde neben „normalem“ Ammoniak (dem ersten mehratomigen Molekül, das im Kosmos angetroffen wurde) schon einige Jahre nach dessen Entdeckung 1968 auch das einfach deuterierte  $\text{NH}_2\text{D}$  dank der Zusammenarbeit der Kölner Gruppe mit dem 20-m-Radioteleskop in Onsala, Schweden, eindeutig mit Hilfe von 5 Hyperfeinstruktur-Aufspaltungen erkannt.

Interessante Entdeckungen sind die von Methylacetylen  $\text{CH}_3\text{CCH}$  (kommt in kalten Dunkelwolken vor) und Methyl-diacetylen ( $\text{CH}_3\text{CCCCH}$ , ferner von  $\text{HCO}^+$  und  $\text{HOC}^+$  sowie von  $\text{SiCC}$ ). Das „exotische“ Molekül  $\text{SiCC}$  ist eine kompakte symmetrische Ringverbindung, sie findet sich in der Hülle des Kohlenstoffsterns IRC+10216.

Am häufigsten treten neben den mit Abstand an erster und zweiter Stelle rangierenden H- und He-Atomen die Elemente C, N, O auf. Kohlenwasserstoffe präsentieren sich vorwiegend in Kettenform, sind aber nur dann radioastronomisch identifizierbar, wenn in ihnen ein H-Atom durch eine Molekülgruppe (z. B. durch  $\text{CH}_3$ -) ersetzt ist. Kohlenstoff erweist sich bereits in Konzentrationen von  $10^5$  Atomen pro  $\text{cm}^3$  und bei Temperaturen von 10 bis 50 K fähig, die strukturelle Grundlage für komplexere Verbindungen abzugeben. Verzweigte und ringförmige C-haltige Verbindungen sind im Kosmos selten. Aminosäuren wurden noch nicht angetroffen, vielleicht liegt ihre Häufigkeit noch unter der gegenwärtigen Nachweisgrenze.

Heute ist es möglich, Moleküle nachzuweisen, die im Weltraum  $10^{10}$ - bis  $10^{11}$ -mal seltener als Wasserstoff sind.

### Tabelle

#### identifizierter interstellarer Verbindungen

**Anorganische Verbindungen:**  $\text{H}_2$ , OH, SiO, SiS, NO, NS, SO,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NNH}^+$  Distickstoffwasserstoffkation,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , HNO Stickstoff(1)säure,  $\text{NH}_3$

#### mit den Isotopen

HD,  $^{18}\text{OH}$ ,  $^{17}\text{OH}$ ;  $^{29}\text{Si}^{16}\text{O}$ ,  $^{30}\text{Si}^{16}\text{O}$ ;  $^{29}\text{SiS}$ ;  $^{34}\text{SO}$ ; HDO,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ;  $\text{HND}^+$ ;  $\text{HN}^{15}\text{N}^+$ ,  $\text{H}^{15}\text{NN}^+$

**Kohlenstoffverbindungen:**  $\text{CH}^+$ ,  $^{13}\text{CH}^+$ ,  $\text{CH}^+$  Methylidinkation; CC; CN; CO,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$ ,  $\text{C}^{17}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}^{18}\text{O}$ ; CS,  $^{13}\text{CS}$ ,  $\text{C}^{34}\text{S}$ ,  $\text{C}^{33}\text{S}$  Kohlenmonosulfid; CCH Äthynyl; SiCC noch namenlos; HCN,  $\text{H}^{13}\text{CN}$ ,  $\text{HC}^{15}\text{N}$ , DCN; HNC,  $\text{HN}^{13}\text{C}$ ,  $\text{H}^{15}\text{NC}$ , DNC Isocyanwasserstoff; HCO Oxomethyl;  $\text{HCO}^+$ ,  $\text{H}^{13}\text{CO}^+$ ,  $\text{HC}^{18}\text{O}^+$ ,  $\text{HC}^{17}\text{O}^+$ ,  $\text{DCO}^+$ ,  $\text{D}^{13}\text{CO}^+$  Oxomethylum;  $\text{D}^{13}\text{CO}^+$  Isoformyl-kation;  $\text{HCS}^+$  Thiomethylum (Thioformyl-kation); OCS,  $\text{O}^{13}\text{CS}$ ,  $\text{OC}^{34}\text{S}$  Carbonylsulfid;  $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $\text{H}_2^{13}\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{C}^{18}\text{O}$ , HDCO Methanal (Formaldehyd);  $\text{H}_2\text{CS}$  Thiomethanal (Thioformaldehyd); HNCS Isothiocyanäure; CCCN Cyanäthynyl; CCH; CCCO;  $\text{H}_2\text{CCO}$  Keten; CCCCH Butadynyl;  $\text{H}_2\text{CNH}$  Methanimin (Methylenimin);  $\text{NH}_2\text{CN}$  Cyanamid; HCOOH; HCCCN,  $\text{H}^{13}\text{CCCN}$ ,  $\text{HC}^{13}\text{CCN}$ ,  $\text{HCC}^{13}\text{CN}$ , DCCCN 2-Propinnitril;  $\text{NH}_2\text{CHO}$ ,  $\text{NH}_2^{13}\text{CHO}$  Formamid;  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $^{13}\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{OD}$ ;  $\text{CH}_3\text{SH}$  Methanthiol (Methylmerkaptan);  $\text{CH}_3\text{SCH}$  Acetonitril;  $\text{CH}_3\text{CCH}$  Propin;  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  Methylamin;  $\text{CH}_3\text{CHO}$  Ethanal;  $\text{H}_2\text{CCHCN}$  2-Propennitril; HCCCCCN, DCCCCCN 2,4-Pentadinitril;  $\text{HCOOCH}_3$  Methylformiat;  $\text{CH}_3\text{CCCN}$  Methylcyanacetylen;  $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ ;  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CN}$  Propionitril;  $\text{CH}_3\text{CCCCH}$  Methyl-diacetylen; HCCCCCCCN 2,4,6-Heptatrinitril; HCCCCCCCCCN 2,4,6,8-Nonatetranitril; HCCCCCCCCCCCN 2,4,6,8,10-Undecapentanitril.

W. K.

#### LITERATUR:

St. u. W., Jänner 1985, S. 16, G. Winnewisser, Millimeter-Astronomie von Köln aus.

R. W. Soukup

Von der Summenformel zur Lewisformel

## Ermittlung und Aussagekraft von Valenzstrichformeln

Institut für Anorganische Chemie der Technischen Universität Wien

Ein moderner Chemieunterricht – wäre er ohne Valenzstrichformeln denkbar? Wohl kaum, die letzten Zweifel bei der Verneinung dieser Frage beseitigt ein kurzer Blick in ein Lehrbuch der organischen Chemie. Man stelle sich die heillose Konfusion vor, wären in einem solchen Werk bloß Summenformeln angegeben.

Sieht man auf die Geschichte der Valenzstrichsymbolik, so fällt auf, daß die jeweils bedeutendsten Theorien, die zu dieser Schreibweise geführt haben, mit den geltenden physikalischen Vorstellungen völlig unvereinbar waren. Sind schon der Physik des 19. Jahrhunderts die „absättigbaren Kraftstrahlen“ Kekulés (Häcksensymbolik) fremd gewesen, so konnte auch die Physik um 1916 mit der von G. N. Lewis gegebenen Erklärung der Bindungsstriche als Elektronenpaare noch nicht zurecht kommen [1, 2]. Die eigentliche physikalische Begründung erfuh jene in der Praxis längst bewährte Symbolik erst durch die aufkommende Quantentheorie.

Heute erleben die „Lewis-Strichformeln“ mit ihrer genial einfachen Anschreibung der Valenzelektronen als  $\sigma$ -,  $\pi$ - und  $n$ -Elektronenpaare in Strichen eine neue Renaissance. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß strenge „Ab initio“-Rechenverfahren (z. B. jenes von Frost [3]) zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen wie Molekülbeschreibungen durch einfache Valenzstrichformeln [4].

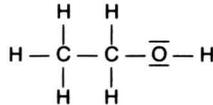
Im ersten Teil dieses Beitrags wird ein Satz von Regeln [4] angegeben, deren Anwendung in sinnvollen Valenzstrichformeln von Verbindungen der Hauptgruppenelemente resultiert. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf Moleküle gerichtet, die aus Elementen der ersten beiden Hauptgruppen des Periodensystems gebildet werden. Im Chemieunterricht spielen diese Spezies ohnedies immer eine ganz wesentliche Rolle, man denke nur an Verbindungen wie  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$  etc.

Im zweiten Teil wird dann gezeigt, wie aus den Lewis-Strichformeln wichtige Moleküleigenschaften ablesbar sind.

### Von der Summenformel zur Valenzstrichformel

Wer nach kurzgefaßten Regeln zum Anschreiben von Valenzstrichformeln sucht, wird von den meisten Lehrbüchern enttäuscht sein. Viel zu wenig wird auf die Tatsache aufmerksam gemacht, daß man durch konsequente Anwendung der Oktettregel sofort aus der Summenformel die Zahl der Doppelbindungen (bzw. Zahl der Ringe in einer Verbindung bestimmen kann.

In der Valenzschale eines Atoms haben nicht beliebig viele Elektronenpaare Platz; für Elemente der ersten Achterperiode gilt, daß maximal acht Elektronen (= Oktett, vier Elektronenpaare) in die Valenzschale eingebaut werden können. In nicht ringförmigen Molekülen bei denen alle Atome (außer H) die **Oktettregel befolgen** und in denen **keine Mehrfachbindungen** auftreten, gibt es nur folgende Valenzelektronenzahlen: 8, 14, 20, 26, 32, ... oder kurz:  $6N + 2$ . Dabei ist N die Gesamtzahl der Atome (Wasserstoffatome werden nicht mitgezählt). Am Beispiel des Ethanol läßt sich die Gültigkeit der  $6N + 2$ -Formel leicht nachprüfen:



Die zwei C-Atome plus ein O-Atom ergeben  $N = 3$ , die Zahl der Valenzelektronen muß daher 20 sein, d. h. es gibt keine Doppelbindung.

Treten Doppelbindungen auf oder haben wir es mit ringförmigen Strukturen zu tun, so ist die Zahl der Valenzelektronen kleiner als  $6N + 2$ .

Folgende Regeln gestatten eine rasche Ermittlung der Lewisformel, wenn man von der Summenformel ausgeht:

1. Bestimme die Gesamtzahl der Valenzelektronen V im Molekül. V ist die Summe der Gruppennummern plus (minus) eventueller negativer (positiver) Ladungen (bei Ionen). Normalerweise ist V eine gerade Zahl, nur Radikale haben ungerade Valenzelektronenzahlen. (Im Falle eines ungeraden V muß man zur Berechnung der Mehrfachbindungen vom nächstniederen geraden V ausgehen.)

2. Berechne  $V_0$ , das ist die Zahl der Valenzelektronen im Molekül bzw. Molekülfragment, wenn die Oktettregel erfüllt ist und keine Ringe vorliegen, nach der Formel:

$$V_0 = 6N + 2$$

N ist die Zahl der Atome im Molekül, wobei Wasserstoffatome nicht mitgezählt werden.

3. Berechne die Zahl der Mehrfachbindungen M:

$$M = \frac{V_0 - V}{2}$$

(Wenn  $M = 2$ , so existieren entweder zwei Doppelbindungen, eine Dreifachbindung, eine Doppelbindung + Ringstruktur oder gar zwei Ringe. Will man die Regeln auf Verbindungen von Hauptgruppenelementen jenseits der ersten Achterperiode ausdehnen, kann M negative Werte annehmen:  $M = -1$  bedeutet dann 5,  $M = -2$  sogar 6 Elektronenpaare ordnen sich um ein Zentrum [Vergrößerung der Valenzschale]).

4. Ordne die Atome „chemisch sinnvoll“ an, indem du beachtest, daß

4.1 H-Atome zumeist nur eine echte Bindung eingehen und daher immer nur am Rand der Verbindungen zu finden sind;

4.2 C sehr oft vier, N meist drei Bindungen eingeht und O – O Bindungen sehr selten sind.

4.3 symmetrischen Anordnungen der Vorzug einzuräumen ist und daß daher bei Verbindungen vom Typ  $\text{AB}_n$  fast ausschließlich das Atom A eine zentrale Position besetzt.

### Beispiele:

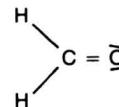
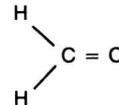
$$\text{CH}_2\text{O} \quad V = 4 + 2 \cdot 1 + 6 = 12$$

$$V_0 = 6 \cdot 2 + 2 = 14$$

$$M = (14 - 12) / 2 = 1$$

$M = 1$  bedeutet eine Doppelbindung oder eine Ringstruktur. Da H-Atome keine Mehrfachbindungen eingehen, bleibt nur die Möglichkeit die Doppelbindung zwischen O und C anzunehmen. Daher ergibt sich als Grundgerüst:  $\text{C} = \text{O}$

Gemäß 4.2 schreiben wir die H-Atome zum Kohlenstoff und ordnen die übrigen Elektronenpaare dem Sauerstoff zu. (Die Gesamtzahl der Elektronenpaare muß  $V/2$  sein.)



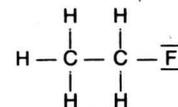
Formaldehyd

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{F} \quad V = 2 \cdot 4 + 5 \cdot 1 + 1 \cdot 7 = 20$$

$$V_0 = 6 \cdot 3 + 2 = 20$$

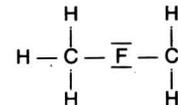
$$M = 0$$

Keine Doppelbindungen, daher resultiert:



Monofluorethan

Beachte, daß der Vorschlag



die Regel 4.2 mißachtet und daher ausscheidet.

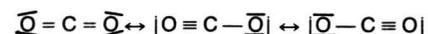
$$\text{CO}_2 \quad V = 1 \cdot 4 + 2 \cdot 6 = 16$$

$$V_0 = 6 \cdot 3 + 2 = 20$$

$$M = (20 - 16) / 2 = 2$$

Die Lewisformel muß zwei zusätzliche Bindungen beinhalten, denn die Möglichkeit zweier Ringe ist bei drei Atomen nicht gegeben.

Ein Ring plus eine Doppelbindung würde eine Peroxidbindung  $\text{O}-\text{O}$  erforderlich machen, die zu vermeiden ist. Es bleiben drei Möglichkeiten über:



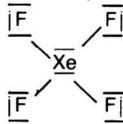
Wegen der höheren Symmetrie (und der Forderung nach Minimalisierung der formalen Ladungszahl, die wir gleich anschließend behandeln werden) ist die Struktur mit den zwei Doppelbindungen die energetisch günstigste.

$$\text{XeF}_4 \quad V = 8 + 4 \cdot 7 = 36$$

$$V_0 = 6 \cdot 5 + 2 = 32$$

$$M = (36 - 32) / 2 = 2$$

M = -2 bedeutet: 6 Elektronenpaare ordnen sich um ein Zentrum an, als Zentrum kommt gemäß 4.3 nur Xe in Frage.



Xe kann natürlich als ein Element der 5. Periode mehr als 8 Elektronen in seine Valenzschale aufnehmen und folgt daher der Oktettregel nicht.

### Die formale Ladungszahl

Ein sehr nützlicher Begriff bei der Diskussion von Molekülformeln ist die „formale Ladungszahl“ von Atomen in einem Molekül. Man erhält die formale Ladungszahl F, die ein Maß für die Abschirmung positiver Kernladungen durch umgebende Elektronen darstellt, durch die einfache Formel:

$$F = G - P_b - P_n \cdot 2 - E$$

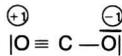
G ..... Gruppennummer  
 P<sub>b</sub> ..... Zahl der bindenden Elektronenpaare  
 P<sub>n</sub> ..... Zahl der nichtbindenden Elektronenpaare  
 E ..... Zahl der ungepaarten Elektronen  
 (nur bei Radikalen)

Als Regel kann gelten, daß die Atome in Molekülen möglichst geringe formale Ladungszahlen anstreben, weshalb Oktettstrukturen mit niederen formalen Ladungszahlen zu bevorzugen sind. F wird als arabische Ziffer samt Vorzeichen in einen Kreis oberhalb des Elementsymbols eingetragen.

### Beispiele:



Ausgangspunkt ist die Valenzstrichformel mit den zwei Doppelbindungen. Die Berechnung von F für die Sauerstoffe: G = 6, P<sub>b</sub> = 2, P<sub>n</sub> = 2; F = 0. Für das Kohlenstoffatom ist die formale Ladung ebenfalls 0. Anders sieht die Sache aus für die beiden Strukturen mit je einer Dreifachbindung. Hier hat der Kohlenstoff noch immer 0, das eine Sauerstoffatom plötzlich +1, das andere -1.



Auf Grund der Minimalisierungsregel der formalen Ladung ist die erste Formel zu favorisieren.



Die Oktettstruktur läßt nur eine Formel mit F ≠ 0 zu.

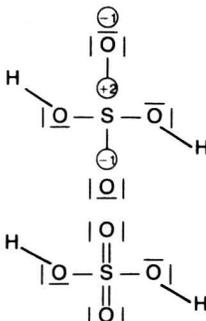


Die Formel  $|\text{C} = \overline{\text{O}}|$  minimalisiert zwar F, verletzt aber die Oktettregel.



Die bisherigen Regeln weisen auf folgende Valenzstrichformel.

Danach würde dem Schwefel die extrem hohe formale Ladung +2 zukommen. Als Element der Achterperiode kann allerdings der Schwefel in seine Valenzschale mehr als vier Elektronenpaare aufnehmen, so daß sich seine hohe formale Ladung reduziert, was zu einer „Nichtoktettstruktur“ führt. (Recht gut läßt sich aus diesen Beispielen erkennen, daß die Summe aller formalen Ladungszahlen in einem neutralen Molekül 0 sein muß.)



### Die Oxidationszahl

Steht man vor der Aufgabe, die Stöchiometrie einer Redoxreaktion richtig wiederzugeben, also die Reaktionsgleichung aufzuschreiben bedient man sich einer äußerst nützlichen Angelegenheit: der Oxidationszahl. Die Oxidationszahl (O) ist, genauso wie die vorhin behandelte „formale Ladungszahl“ eine formale Größe, beleuchtet also nur einen sehr engen Aspekt der Wirklichkeit. Die Vorstellung, die der Oxidationszahl zugrunde liegt, ist die, daß jene Elektronenpaare, welche Bindungen zwischen zwei voneinander verschiedenen Atomen in einem Molekül bewirken, nicht im gleichen Maß beiden Atomrümpfen „gehören“. Im Gegenteil, man versucht die bindenden Elektronenpaare jeweils einem Bindungspaar zuzuordnen.

Bei der Bestimmung der Oxidationszahlen ist es nun sehr wichtig zu wissen, welches Atom in einem Molekül die größere und welches die kleinere Elektronegativität besitzt. Wir müssen also in der Tabelle der Elektronegativitäten nachsehen und die bindenden Elektronenpaare dem jeweils elektronegativeren Partner zuordnen. Es gilt folgende Definition:

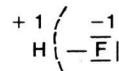
$$O = F + P_w - P_d$$

O ..... Oxidationszahl  
 F ..... formale Ladungszahl  
 P<sub>w</sub> ..... Anzahl der bindenden Elektronenpaare die abgezogen werden  
 P<sub>d</sub> ..... Anzahl der bindenden Elektronenpaare die zum jeweiligen Element zugezählt werden

### Beispiele:



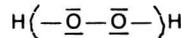
Die Elektronegativität des F ist größer als die des H, daher wird das bindende Elektronenpaar dem F zugeordnet.



(Oxidationszahlen werden als Ziffern samt vorangestelltem Vorzeichen über dem Elementsymbol vermerkt.)

für H: F = 0, P<sub>w</sub> = 1, P<sub>d</sub> = 0, daher 0 = +1

für F: F = 0, P<sub>w</sub> = 0, P<sub>d</sub> = 1, 0 = -1



Für H siehe Beispiel 1

Für O: F = 0, P<sub>w</sub> = 0, P<sub>d</sub> = 1, 0 = -1

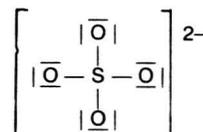
### Molekülgeometrie

Nicht bloß formale Größen sind aus Valenzstrichformeln ablesbar, sondern auch Moleküleigenschaften, beispielsweise die ungefähre Geometrie. Zu diesem Zweck muß man die Zahl der stereochemisch relevanten Elektronenpaare (S) kennen. Sie ergibt sich, gemäß Gillespie [5] aus der Summe der Zahl der σ-bindenden (P<sub>σ</sub>) und der Zahl der nichtbindenden (P<sub>n</sub>) Elektronenpaare.

$$S = P_n + P_\sigma$$

Diese stereochemisch relevanten Elektronenpaare determinieren die Molekülgeometrie, indem sie sich maximal abstoßen. Zwei Elektronenpaare ordnen sich linear an, drei bestimmen eine dreieckige, vier eine tetraedrische, fünf eine trigonal bipyramidale, sechs eine oktaedrische und sieben eine pentagonal bipyramidale Anordnung. Die meisten Verbindungen weisen eine Zahl der stereochemisch relevanten Elektronenpaare von entweder vier oder sechs auf. Je nachdem, wieviele von den stereochemisch relevanten Elektronenpaaren σ-Elektronenpaare sind, ergibt sich die Molekülgeometrie (Tab. 1).

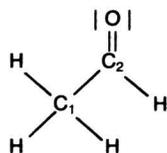
### Beispiele:



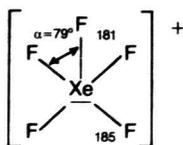
Summe der $\sigma$ - und $n$ -Elektronenpaare	Anordnung der EP'S	Verder Ligan-denatome	Anordnung	Beispiele
1	linear (s)	AB	linear	H <sub>2</sub>
2	linear (sp)	AB <sub>2</sub>	linear	CO <sub>2</sub> , BO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>+</sup> , HCN, BeCl <sub>2</sub> (g), N <sub>3</sub> <sup>-</sup> , BeH <sub>2</sub>
		IAB	linear	N <sub>2</sub> , CO, NO, NO <sup>+</sup>
3	dreieckig (sp <sup>2</sup> )	AB <sub>3</sub>	dreieckig	BCl <sub>3</sub> , GaI <sub>3</sub> , InMe <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , COX <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> X, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>3</sub> , BF <sub>3</sub> , BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , BH <sub>3</sub>
		IAB <sub>2</sub>	gewinkelt	CF <sub>2</sub> , SiCl <sub>2</sub> , SrX <sub>2</sub> (g), PbX <sub>2</sub> , NOX, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NSF
		AB	linear	<sup>1</sup> O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , C <sub>2</sub> <sup>4-</sup>
4	tetraedrisch (sp <sup>3</sup> )	AB <sub>4</sub>	tetraedrisch	BF <sub>4</sub> <sup>-</sup> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NR <sub>3</sub> O, NSF <sub>3</sub> , PF <sub>3</sub> O, SiF <sub>4</sub> , TiCl <sub>4</sub> , PO <sub>3</sub> F <sup>2-</sup> , SO <sub>3</sub> X <sup>-</sup> , SO <sub>2</sub> X <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , XeO <sub>4</sub> , CCl <sub>4</sub>
		IAB <sub>3</sub>	trigonal-pyramidal	CH <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> , PX <sub>3</sub> , SOX <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ClO <sub>2</sub> F, XeO <sub>3</sub> , AsH <sub>3</sub>
		AB <sub>2</sub>	gewinkelt	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> O, ROH, ROR, H <sub>2</sub> F <sup>+</sup> , SX <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> O, I <sub>3</sub> <sup>+</sup> , ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , XeO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, TeBr <sub>2</sub>
		IAB	linear	HF, OH <sup>-</sup> , F <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> <sup>2-</sup>
5	trigonal-bipyramidal (sp <sup>3</sup> d)	AB <sub>5</sub>	trigonalbipyramidal	PF <sub>5</sub> , PCl <sub>5</sub> , PF <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> , SbCl <sub>5</sub> , SbMe <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> , SOF <sub>4</sub> , IO <sub>2</sub> F <sub>3</sub> , IO <sub>3</sub> F <sub>2</sub> <sup>-</sup> , XeO <sub>3</sub> F <sub>2</sub>
		IAB <sub>4</sub>	verzerrt tetraedrisch	SbF <sub>4</sub> <sup>-</sup> , SF <sub>4</sub> , SeF <sub>4</sub> , ClOF <sub>3</sub> , IO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> <sup>-</sup> , XeO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
		AB <sub>3</sub>	T-förmig	ClF <sub>3</sub> , BrF <sub>3</sub> , ICl <sub>3</sub> , XeOF <sub>2</sub>
		IAB <sub>2</sub>	linear	ICl <sub>2</sub> <sup>-</sup> , IBrCl <sup>-</sup> , I <sub>3</sub> <sup>-</sup> , KrF <sub>2</sub> , XeF <sub>2</sub>
6	oktaedrisch (sp <sup>3</sup> d <sup>2</sup> )	AB <sub>6</sub>	oktaedrisch	AlF <sub>6</sub> <sup>3-</sup> , SiF <sub>6</sub> <sup>2-</sup> , PF <sub>6</sub> <sup>-</sup> , SF <sub>6</sub> , SeF <sub>6</sub> , Te(OH) <sub>6</sub> , IO <sub>6</sub> <sup>3-</sup> , IOF <sub>5</sub> , XeO <sub>6</sub> <sup>4-</sup> , XeO <sub>2</sub> F <sub>4</sub>
		IAB <sub>5</sub>	quadratisch-pyramidal	SbF <sub>5</sub> <sup>2-</sup> , SF <sub>5</sub> <sup>-</sup> , BrF <sub>5</sub> , IF <sub>5</sub> , XeF <sub>5</sub> <sup>+</sup> , XeOF <sub>4</sub>
		AB <sub>4</sub>	quadratisch	BrF <sub>4</sub> <sup>-</sup> , IF <sub>4</sub> <sup>-</sup> , ICl <sub>4</sub> <sup>-</sup> , XeF <sub>4</sub>
7	pentagonal bipyramidal	AB <sub>7</sub>	pentagonal-bipyramidal	IF <sub>7</sub> , XeOF <sub>6</sub>
		IAB <sub>6</sub>	verzerrt	SbBr <sub>6</sub> <sup>3-</sup> , IF <sub>6</sub> <sup>-</sup> , IOF <sub>5</sub> , XeF <sub>6</sub>

Tab. 1 Zusammenhang zwischen der Elektronenpaaranordnung und der Molekülgeometrie

Die Zahl S am Schwefel ist 4, das Sulfation hat tetraedrische Molekülgeometrie.



Im Acetaldehyd findet man eine tetraedrische Anordnung der Atome um den Methylkohlenstoff C<sub>1</sub> (S = 4) während die Anordnung um den benachbarte Carboxylatkohlenstoff eine dreieckige ist (S am C<sub>2</sub> gleich 3).



(Bindungsabstände in pm)

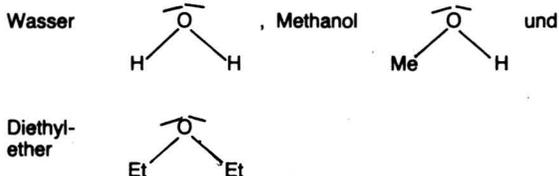
In der oktaedrischen Anordnung der Elektronenpaare im XeF<sub>5</sub><sup>+</sup> besetzen vier F-Atome die äquatorialen Positionen, ein F-Atom ist axial angeordnet, das nichtbindende Elektronenpaar besetzt die sechste Oktaederecke (S = 6).

### Molekülfunktionen

Zwischen zwei chemischen Spezies kann es – je nach der elektronischen Konstellation zueinander – entweder zum Abtausch einzelner Elektronen (Redoxprozeß) oder zum Anteiligwerden von Elektronenpaaren (Lewis-Säure-Base-Reaktion) kommen. Während die Aussagekraft von Molekülformeln über Redoxprozesse eher gering ist (Oxidationszahlen geben nur in Ausnahmefällen an, ob eine Spezies als Oxidations- oder Reduktionsmittel auftritt), ist eine Vorhersage der sauren bzw. basischen Moleküleigenschaften auf Grund von Lewis-Strukturformeln sehr wohl möglich. Beispielsweise können ausschließlich Moleküle bzw. Ionen, die über nichtbindende freie Elektronenpaare verfügen, gute Elektronenpaar-Donatoren (= Lewis-Basen, = elektrophile Reagentien, = kationensolvatisierende Spezies) sein. Als Maß der Verfügbarkeit des Elektronenpaares (Maß der Basizität, Donizität) dienen die Donorzahlen (DN) [6].

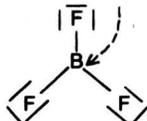
Sehr gute Donoren sind:

Ammoniak		DN = 59
Pyridin		DN = 33 und
Formamid		DN = 24



mit ihren zwei nichtbindenden Elektronenpaaren am Sauerstoff sind mittelstarke Donoren (Donorzahlen um 19).

Etwas schwieriger als die Donator- ist die Akzeptorfunktion eines Moleküls oder Ions aus der Valenzstrichformel zu erkennen. Aber es gelingt doch, man muß nur wieder an die Oktettregel (bzw. allgemeiner an die Edelgasregel) denken. So ist beispielsweise  $\text{BF}_3$  deswegen eine so starke Lewis-Säure, da am Bor – gemäß der Oktettregel – noch Platz für ein zusätzliches Elektronenpaar zur Verfügung steht. Tatsächlich können Donatoren am  $\text{BF}_3$

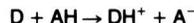


angreifen und sogenannte „Donor-Akzeptor-Verbindungen“ bilden, z. B.:



Die stärkste Lewis-Säure ist sicherlich das völlig „elektronenentblößte“ Proton  $\text{H}^+$ . Deshalb sind auch alle Verbindungen, die  $\text{H}^+$  abspalten können (das sind alle Verbindungen, die Wasserstoff enthalten, der an sehr elektronegative Atome gebunden ist), gute

bis ausgezeichnete Lewis-Säuren. Sehr starke Akzeptoren sind beispielsweise die Ameisensäure mit einer Akzeptorzahl (AN) – die analog zur Donorzahl die Akzeptorsäure mißt – von 84, die Essigsäure (AN ~ 53) und interessanterweise das Wasser (AN > 55). All diese Verbindungen können mit einem Donator D nach der Gleichung

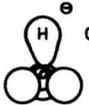
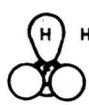
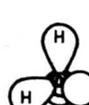


reagieren.

Wasser ist also sowohl ein Donor als auch ein Akzeptor und das ist auch der eigentliche Grund dafür, daß seine Schmelz- und Siedepunkte so abnorm hoch sind: Mittels seiner Donor- und Akzeptorfunktion reagiert es mit sich selbst und bildet Polymere. Wenn es darum geht, die Sonderstellung des Wassers als amphoterer Lösungsmittel hervorzuheben, bietet sich eine Tabelle an, in der alle halbwegs stabilen Moleküle, Atome und Ionen der Elemente der ersten Achterperiode mit insgesamt acht Valenzelektronen eingetragen sind (Tab. 2).

Alle Spezies in dieser Tabelle sind isoelektronisch, d. h. sie haben die gleiche Anzahl und eine recht ähnliche Anordnung der Elektronenpaare. (Die Elektronenpaare sind übrigens in dieser Darstellung einmal nicht als „dürre“ Striche sondern „bauchige“ Flächen symbolisiert, und zwar sind die bindenden EP's hantelförmig, die nichtbindenden kugelförmig eingezeichnet.) Innerhalb einer Zeile finden wir gleiche Molekülgeometrie – isostere Moleküle. Betrachtet man Spezies auf der von links unten nach rechts oben verlaufenden Diagonale, so verhalten sich diese bei Reaktionen isofunktionell, beispielsweise kann sowohl  $\text{OH}^-$  und  $\text{F}^-$  als auch  $\text{NH}_2^-$  Protonen aufnehmen, bzw.  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{H}_3\text{O}^+$  solche abgeben. Das Wasser genießt nun eine Sonderstellung, indem es von all diesen Spezies (außer  $\text{NH}_3$ ) gleichermaßen Protonen abgeben und aufnehmen kann.

Tab. 2

III	IV	V	VI	VII	VIII
					
					
					
					
					

Stellvertretend für die vielen Reaktionsmöglichkeiten der Spezies der Tab. 2 untereinander, sei die Reaktion der „basischen Oxide“, die in ein Kation und  $O^{2-}$  dissoziieren, mit Wasser angeführt; es kommt zu einer „gerechten“ Verteilung der Protonen auf  $O^{2-}$  und  $OH_2$ , weshalb die Lösung basisch wird ( $OH^-$  – Bildung).

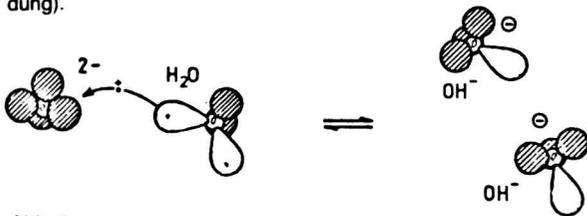
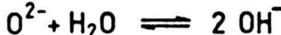


Abb. 1



### Zusammenfassung

Der Beitrag will aufzeigen, auf welchem einfachen Niveau mannigfache Moleküleigenschaften diskutiert werden können. Selbstverständlich gibt es für das Lewis-Konzept unübersteigbare Anwendungsgrenzen. So ist es beispielsweise nicht möglich das einfache Molekül  $O_2$  in Lewis-Strichformeln halbwegs brauchbar wiederzugeben. Man bedenke aber, daß mit den an ein Modell gestellten Ansprüchen der Aufwand exponentiell zunimmt.

### Literatur

- [1] G. E. K. Branch, J. Chem. Educ. **61**, 18 (1984).
- [2] G. N. Lewis, J. Am. Chem. Soc. **38**, 762 (1916).
- [3] A. A. Frost, R. A. Prentice, III, R. A. Rouse, J. Am. Chem. Soc. **89**, 3064 (1967); A. A. Frost, R. A. Rouse, J. Am. Chem. Soc. **90**, 1965 (1968); E. R. Talaty, A. K. Schwartz, G. Simons, J. Am. Chem. Soc. **97**, 972 (1975).
- [4] A. B. P. Lever, J. Chem. Educ. **49**, 819 (1972); M. E. Zandler, E. R. Talaty, J. Chem. Educ. **61**, 124 (1984).
- [5] R. J. Gillespie, Molekülgeometrie – Elektronenpaarabstoßung und molekulare Struktur, Verlag Chemie, Weinheim 1975.
- [6] V. Gutmann, The Donor-Acceptor Approach to Molecular Interactions, Plenum Press, N. Y., 1978.
- [7] M. B. Ormerod, Struktur und Eigenschaften chemischer Verbindungen, Verlag Chemie, Weinheim 1976.

## Der mikrobielle Ursprung fossiler Brennstoffe

Durch genaue chemische Analysen mittels modernster analytischer Technik konnte in den letzten Jahren eine französische Forschergruppe den mikrobiellen Ursprung fossiler Brennstoffe, also von Rohölen und Kohlen, aufklären.

Es zeigte sich dabei, daß es sehr viele Gemeinsamkeiten bei ihrer Entstehung gibt. Modernste Verfahren der Spurenanalyse brachten dabei die Erkenntnis, daß alle diese fossilen Brennstoffe Abbauprodukte gleichartiger mikrobieller Vorfahren enthalten, also einen gemeinsamen mikrobiellen Ursprung besitzen. Fossile Brennstoffe entstammen einem kleinen, jedoch ständig wirksamen Leck des Kohlenstoffkreislaufes zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche und sind Resultat des Wechselspiels zwischen Photosynthese und Atmung. Allerdings sind diese fossilen Brennstoffe nur ein geringer Teil der organischen Materie, die der Oxidation zu Kohlendioxid bzw. Carbonaten entging und daher nicht einen Teil der Sedimente bildet.

Da jede Organismenform ihre eigenen typischen Verbindungen synthetisiert, kann eine genaue Analyse der in den fossilen Brennstoffen enthaltenen Verbindungstypen auch Rückschlüsse auf die Art der Lebewesen ziehen lassen, die an ihrer Entstehung beteiligt waren. So leiten sich die im Erdöl enthaltenen Verbindungen von Vorläufermolekülen ab, die in den Zellmembranen von planktonisch lebenden Einzellern, von grundbewohnenden Bakterien und auch anderen Mikroorganismen synthetisiert worden waren. Die genaue Analyse eines so komplex zusammengesetzten Stoffes, wie Rohöl, erscheint daher zunächst ziemlich aussichtslos, besonders wenn man bedenkt, daß bis Ende der sechziger Jahre das American Petroleum Institute bereits mehr als 350 Kohlenwasserstoffe und ungefähr 200 organische Schwefelverbindungen aus verschiedenen Rohölen identifiziert hatte. Dabei handelt es sich um relativ einfache Strukturen mit bis zu etwa 15 C-Atomen. Seit Beginn der siebziger Jahre begann eine französische Forschergruppe mit der Anwendung moderner Analysemethoden. Zunächst wurden die interessierenden Fraktionen mittels Säulenchromatographie und anschließender Trennung durch Molekularsiebe weiter fraktioniert. Die so erhaltenen Fraktionen wurden gaschromatographisch weiter zerlegt und zu ihrer Identifizierung ein

Massenspektrometer eingegeben. Durch die Auswertung der dabei entstehenden Fragmente konnten erste Hinweise auf die Struktur gewonnen werden. Die so erhaltenen hypothetischen Strukturen konnten bei nur zwei Verbindungen durch Röntgenstrukturanalyse bestätigt werden, da zu geringe Mengen an Fraktionen aus der Gaschromatographie zur Verfügung standen; aber auch durch Synthesen der in Frage kommenden Stoffe konnten die gefundenen Strukturen bestätigt werden.

Als die systematische Untersuchung von Rohölen und Kohlen nach den oben skizzierten Verfahren durchgeführt wurden, ergaben sich zwei sehr überraschende Resultate: 1. die Peaks bei der Gaschromatographie von bestimmten Rohölfraktionen und Kohlen zeigten eine verblüffende Übereinstimmung, die auf die gleichen Vorläufermoleküle und damit die gleichen Mikroorganismen hinwies, und 2. ihre offensichtliche Verwandtschaft zu den Sterinen, die auf einen Membranbaustein hindeutete. So konnte eine neuartige Substanzgruppe als Membranbausteine von Bakterien, die Hopanoide, identifiziert werden. Bei vergleichenden Sedimentuntersuchungen zeigte sich, daß alle organische Substanz, die in irgendeinem Sediment nachgewiesen wurde, auch diese Hopanoide enthält, wobei Sedimentmilieu und Alter (bis zu 500 Mio. Jahren) keine Rolle spielt.

Hopanoide sind  $C_{30}$ -pentacyclische Triterpene. Ihre Struktur entspricht weitgehend den Sterinen. Bis Anfang der siebziger Jahre waren nur sehr wenige Hopanoide in lebenden Organismen bekannt, wie etwa in Blaualgen oder Farnen. Diese „modernen“ Hopanoide wären jedoch viel zu selten, als daß sie die reichlichen und ubiquitären Vorkommen der Hopanoide in fossilen Brennstoffen erklären könnten. Zudem enthalten die fossilen Hopanoide bis zu 36 C-Atome, während in rezenten Hopanoiden oft nur 29 C-Atome enthalten sind. Es erscheint höchst unwahrscheinlich, daß während der Bildung fossiler Brennstoffe die Zahl der C-Atome zunehmen sollte.

Im Jahre 1973 isolierte eine Arbeitsgruppe in den USA am MIT (Cambridge) aus dem Bakterium *Acetobacter xylinum*, das aus ganz anderen Gründen untersucht wurde, ein Hopanoide mit 35 C-Atomen. Es zeigte sich jedoch später, daß die Struktur dieses Hopanoids, des „Bakteriohopantetrols“, als Vorläufer der fossilen Hopanoide anzusehen ist. Wie schon der Name dieser Substanz erkennen läßt, enthält sie 4 OH-Gruppen, die an der Seitenkette des Fünferinges des Steringerüsts sitzen. Damit ist diese Substanz ausgesprochen polar gebaut. Sie wirkt ganz analog zum Cholesterin, das ebenfalls polar ist, als Verstärkermolekül in Membranen. Während diese rezenten „Bio-Hopanoide“ polar sind (das Ringsystem des Sterins selbst enthält keine polaren Gruppen und ist daher ausgesprochen hydrophob), fehlen den fossilen Hopanoiden der Sauerstoff und damit die polaren Gruppen. Diese Befunde deuten darauf hin, daß auch in der Evolution die Hopanoide in den Prokaryonten die gleiche Aufgabe erfüllten, wie in den den Sauerstoff verwertenden Eukaryonten des Cholesterin. Somit sind die Membranhopanoide urchimlicher Mikroorganismen auch die Vorläufermoleküle der in fossilen Brennstoffen gefundenen Hopanoide.

### LITERATUR:

Spektrum d. Wiss., 10/54/1984.

## Mycotoxine

Schimmelpilze produzieren zwei für Menschen und Tiere wichtige Stoffgruppen: die Antibiotika und die Mycotoxine. Man kennt heute etwa 350 verschiedene Schimmelpilze mit annähernd 10 000 verschiedenen Stämmen. Da sich die meisten Schimmelpilze aggressiv auf Nahrungsmitteln ausbreiten, können sie manchmal sogar zu epidemieartig auftretenden Mycotoxikosen führen. Die in den letzten Jahren durchgeführten Strukturaufklärungen der Mycotoxine führte zu einer Einteilung ihrer biologischen Schlüsselbausteine in drei große Gruppen: Polyketide, Isopentylpyrophosphat und Aminosäure (Tab. 1). Mycotoxine sind zumeist unpolare, chemisch sehr resistente und werden in hohen Konzentrationen gebildet. Im Gegensatz zu den Antibiotika enthalten sie keine Zuckerbausteine. Ihre Wirkung ist sehr vielfältig und reicht von Leberdegeneration und Hämorrhagie bis zur Carcinogenese. Ihre Neigung zur Kumulation im Säugetier und im Menschen, verbunden mit häufig langer Inkubationszeit, erschwert die Erkennung einer Mycotoxikose oft sehr. Daher stellt die Aufnahme schon sehr geringer Mengen an Mycotoxinen ein großes Risiko dar. Besonders gefährlich ist das von *Aspergillus flavus* erzeugte Aflatoxin  $B_1$ , denn der schwer zu kontrollierende Grenzwert von 5 ppb (= 5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) in Nahrungsmitteln darf nicht überschritten werden.

Tabelle Herkunft und biologische Aktivität [4] von 18 Mycotoxinen (A. = *Aspergillus*; Cl. = *Claviceps*; F. = *Fusarium*; P. = *Penicillium*).

Mycotoxin	Typischer Produzent	LD <sub>50</sub> [mg/kg]	Toxizität [a]			Biologische Aktivität
			R.	M.	H.	
Penitrem A 4	<i>P. cyclospium</i>	1.05		IP		Tremor-erzeugend
Rubratoxin B 14	<i>P. rubrum</i>	3.0		IP		Anorexie, Gelbsucht
Malformin A, 13	<i>A. niger</i>	3.1		IP		gastrointestinale Blutungen, Leber- und Nierenschädigung
Islanditoxin 15	<i>P. islandicum</i>	3.6			SC	Leberdegeneration
Emodin 34	<i>P. islandicum</i>	3.7			OR	Anorexie, Diarrhoe
T-2-Toxin 10 [b]	<i>F. culmorum</i>	4	OR			Hämorrhagie, Hautnekrosen
Moniliformin 3	<i>F. moniliforme</i>	4			OR	Hämorrhagie der Haut, Darmblutungen
Patulin 29	<i>P. patulum</i>	5		IP		Carcinogen, Mitosegift, Atemhemmung
PR-Toxin 16	<i>P. roqueforti</i>	5.8	IP			Lungen- und Nierenödeme, Leberdegeneration
Aflatoxin B <sub>1</sub> 1 [b]	<i>A. flavus</i>	7.2	OR			Lebercarcinom
Citreoviridin 12 [b]	<i>P. citreoviride</i>	7.5			IP	Cardiovasculäre Störungen, Atemstillstand
Cytochalasin E 17	<i>A. clavatus</i>	9.1	OR			Kreislaufkollaps, Lebernekrose
Roquefortin 2	<i>P. roqueforti</i>	15-20	IP			Atonie, Entkräftung
Ochratoxin A 30	<i>A. ochraceus</i>	22	OR			Gewichtsverlust, Anorexie
Secalonsäure A 6 [b]	<i>Cl. purpurea</i>	50	IP			Lebernekrose
Sterigmatocystin 48	<i>A. versicolor</i>	60	IP			chronische Leber- und Nierenschädigung
Ergotamin 5 [b]	<i>Cl. purpurea</i>	62	IV			Vasoconstriction, Emesis, Nekrosen
Zearalenon 32	<i>F. roseum</i>	?				Östrogen, Anabolicum

[a] Versuchstiere: R. (Ratte), M. (Maus), H. (Hähnchen); Applikation: IP (intraperitoneal), SC (subcutan), OR (oral), IV (intravenös). [b] Urheber gefährlicher Mycotoxikosen. *Angew. Chem.* 96 (1984) 462-474

Tabelle 1: Herkunft und biologische Aktivität [4] von 18 Mycotoxinen (A. = *Aspergillus*; Cl. = *Claviceps*; F. = *Fusarium*; P. = *Penicillium*).

Schimmelpilze können als Nahrungskonkurrenten von Menschen und Tieren aufgefaßt werden. So bildet sich Schimmel z. B. auf Fruchtsäften, die einige Zeit unverschlossen an der Luft stehen, schon in wenigen Tagen. Die immer in der Luft vorhandenen Keime bilden dann ganze Kolonien von Schimmelpilzen. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten. Der ungestaltete Anblick eines solchen verschimmelten Getränkes warnt den Menschen offenbar schon instinktiv, dieses so „verdorbene“ Nahrungsmittel zu genießen. Die oberflächliche Entfernung des Schimmelüberzuges von Brot oder Obst, wie z. B. Äpfeln, führt aber nicht zur Entfernung der Mycotoxine, die häufig durch Diffusion bereits tiefe Schichten des Nahrungsmittels erreicht haben können. Somit haben die Schimmelpilze quasi einen Verdrängungskampf um das Nahrungsmittel gewonnen.

Die Gefährlichkeit der Mycotoxine und der durch sie verursachten Mycotoxikosen wurde lange Zeit unterschätzt („neglected diseases“). So wurde in den letzten Jahren des Zweiten Weltkrieges und den ersten Monaten nach seiner Beendigung sogar schimmelhaltiges Mehl und Brot verkauft. Diese Situation änderte sich jedoch schlagartig, als in englischen Farmen eine Massenvergiftung junger Truthühner auftrat, die Schlagzeilen machte. Sie wurde durch Erdnußmehl verursacht, das den Schimmelpilz *Aspergillus flavus* enthält. Seither wurde durch intensive Untersuchungen der Inhaltsstoffe von Schimmelpilzen eine ganze Reihe gefährlicher Erkrankungen auf eine Mycotoxikose zurückgeführt. Zu dieser Zeit machten auch die physiologischen, toxikologischen und lebensmittelchemischen Untersuchungsmethoden rasche Fortschritte. Dabei zeichnen sich besonders drei wichtige Forschungsbereiche ab: 1. Aufklärung von Strukturen und biologischen Aktivitäten, 2. Untersuchungen über die Biosynthese der Mycotoxine und 3. Versuche zum Schutz vor Giftwirkungen.

### Der Entwicklungsstand der Mycotoxinforschung

Bisher sind rund 300 Mycotoxine bekannt, die sich insgesamt 25 Strukturtypen zuordnen lassen. Sie stellen durchwegs polycyclische Systeme dar, wobei es sich um Fünfer- und Sechsering handelt, die teils Heterocyclen mit N- und O-Atomen sind. Dabei sind diese Ringe vielfältig aneinander gebunden, häufig auch aneinander kondensiert. Einige dieser Typen tragen auch zusätzliche Seitenketten. Neben diesen Polycyclen sind manche Mycotoxine ringförmige Polypeptide mit oft ausgefallenen Aminosäuren, wie z. B. D-Formen. Die Stereochemie der Mycotoxine ist entsprechend kompliziert, und zu ihrer Reindarstellung sind nur die modernsten Trennverfahren effizient.

Recht interessant ist ein Vergleich der Toxizität: so ist für Ratten die LD<sub>50</sub> für As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15 mg/kg, für E 605 (Parathion) beträgt sie 4 bis 13 mg/kg, für Aflatoxin B<sub>1</sub> (1) beträgt sie 7,2 mg/kg. Das Mycotoxin Roquefortin (2) aus *Penicillium roqueforti* ist im normalen Blauschimmelkäse in so geringen Mengen enthalten (<7 ppm), daß erst ein Verzehr von 200 kg dieses Käses beim Menschen zu einer tödlichen Vergiftung führen würde. Allerdings beträgt seine LD<sub>50</sub> für die Maus etwa 10 bis 20 mg/kg.

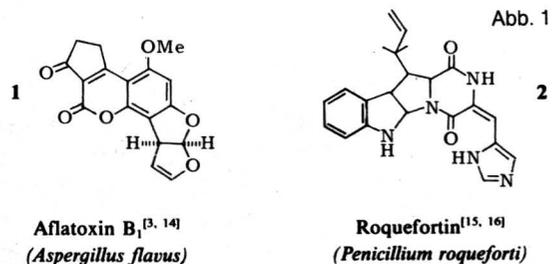


Abb. 1: Strukturen und Toxizitäten von zwei typischen Mycotoxinen und Vergleichstoxinen. OR bedeutet orale, IP intraperitoneale Applikation.

Nach einer Schätzung der International Agency on Cancer haben 80% der Krebserkrankungen Umweltursachen, zu denen in nicht unbedeutlichem Umfang auch die Mycotoxine beitragen. Dabei ist der Mensch in zweierlei Weise durch Mycotoxine gefährdet: 1. durch direkten Verzehr von Nahrungsmitteln, die mit toxischen Schimmelpilzen infiziert sind, und 2. durch Verzehr von Fleisch, Milch und Eiern von Tieren, die mit Futter ernährt wurden, das Mycotoxine bzw. Schimmelpilze enthält. Dieses „Carry over“ ist auf die hohe Resistenz dieser Toxinmoleküle zurückzuführen. Besonders gilt dies für Leber und Nieren, da in diesen Organen Mycotoxine angereichert werden.

### Die biologische Aktivität der Mycotoxine

Eigentlich begann die Strukturaufklärung der Mycotoxine mit der Erforschung der am längsten bekannten Mycotoxikose, dem Ergotismus. Diese im Mittelalter häufig epidemieartig auftretende Erkrankung, das sogenannte „St.-Antonius-Feuer“, wird durch das im Mutterkorn gebildete Mycotoxin Ergotamin (3) hervorgerufen und führt zusammen mit den noch viel toxischeren Ergochromen (z. B. der Secalonsäure, 4) zu schwersten Erkrankungen: Lebernekrose, periphere Gefäßstörungen, Gangrän und Nekrose der Extremitäten. Der Name St.-Antonius-Feuer weist auf die brennenden Schmerzen in den Extremitäten hin, die oft durch eine Wallfahrt zum Grab des hl. Antonius zu Padua geheilt wurden. Diese Pilgerreise führte den Betroffenen aus dem Gebiet hinaus, in dem mit Mutterkorn verunreinigtes Mehl zur Brotherstellung verwendet wurde. Ergotamin ist ein Derivat der Lysergsäure. Es ist bereits seit der Mitte der dreißiger Jahre durch die Arbeitsgruppe von Stoll und A. Hofmann untersucht worden, aber seine Struktur wurde erst zu Beginn der sechziger Jahre auch durch Synthese bestätigt.

Gerade am Beispiel der Ergochrome, die viel später als Ergotamin entdeckt wurden, kann die Leistungsfähigkeit moderner Analyseverfahren aufgezeigt werden. Die Ergochrome enthalten 6 bis 10 Chiralitätszentren und treten als Diastereomengemische auf. In den Jahren von 1964 bis 1966 konnten schließlich neun sterisch einheitliche Ergochrome isoliert und

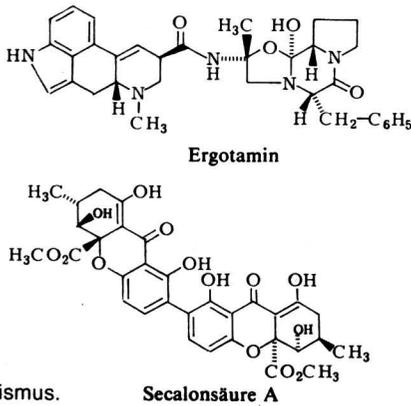
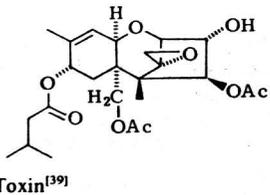


Abb. 2: Ergotismus.

einschließlich ihrer absoluten Konfiguration aufgeklärt werden. Es ist in diesem Zusammenhang wirklich bemerkenswert, daß von einer südafrikanischen Arbeitsgruppe das toxische Prinzip des Maispilzes *Penicillium exalicum* das Enantiomere zur Secalonsäure aus dem Mutterkorn ist.

Eine weitere schwere alimentäre Mycotoxikose ist die „ATA“-Krankheit (alimentäre toxische Aleukie). Diese Krankheit ist durch eine fortschreitende Schädigung des Systems, das die Bildung der roten und weißen Blutkörperchen bildet, gekennzeichnet. Die ATA beginnt mit ausgedehnten Hauterstörungen, führt zur Hämorrhagie, Entzündungen und Sepsis. Im Endstadium zeigen sich Schrumpfungen des Knochenmarks und starke Abnahme der Leukocyten und Erythrocyten. Die Mortalität beträgt 60%. Das erste massive Auftreten von ATA fand 1944 im südlichen Ural statt und war auf mit Fusarien infiziertes Getreide zurückzuführen. Es handelt sich bei diesem „T-2-Toxin“ (5) um eine Verbindung, die 1948 von Freemann

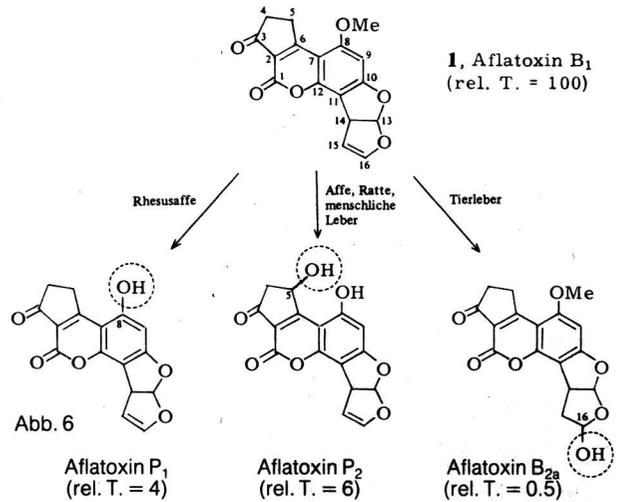


Ab. 3: Alimentäre toxische Aleukie: Urheber.

und Morrison aus *Trichothecium roseum* isoliert wurde, weshalb dieser sehr bedeutende Mykotoxingruppe „Trichothecene“ genannt wurde. Heute scheint ATA eine erhebliche Gefährdung der Bevölkerung von Kambodscha zu sein.

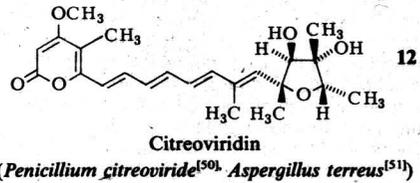
Eine weitere schwere Mycotoxikose ist die durch Aflatoxine hervorgerufene „Aflatoxikose“. Unmittelbar nach dem Auftreten der „Turkey-X-Disease“ wurden umfangreiche Sreening-Programme in gewissen Gebieten Afrikas und Asiens durchgeführt, wo ebenfalls die Bevölkerung Erdnüsse als Nahrungsmittel verwendet. Dazu wurde die tägliche Aflatoxinaufnahme in Nahrungsmittelproben, die auf Märkten und in Familienhaushalten eingesammelt wurden, bestimmt. Es ergab sich ein eindeutiger statistischer Zusammenhang mit Leberkreishäufigkeit und Aflatoxinaufnahme. In trockenen Hochländern mit einer täglichen Aflatoxinaufnahme von 3,5 bis 5,1 ng/kg Körpergewicht, gab es auf 100 000 Einwohner meist weniger als 2 Fälle an Leberkarzinom, während in den warmen Feuchtgebieten bei einer täglichen Aufnahme von bis zu 13,0 ng/kg die Leberkreishäufigkeit sogar auf 222,4 anstieg (Mozambique). In Indien wurde die Krankheit „Childhood Cirrhosis“ ebenfalls mit der gesteigerten Aflatoxinaufnahme korreliert. Besonders tragisch ist dabei, daß das toxischste Aflatoxin M<sub>1</sub>, das erst bei Aufnahme von Aflatoxin durch Kühe und Veränderung durch deren Stoffwechsel (Hydroxylierung an C-14) entsteht und so für die schwere Leberzirrhose bei Kleinkindern verantwortlich wird. Ausgedehnte Tierversuche zeigten, daß meist das Aflatoxin B<sub>1</sub> bei der Passage durch Tiere um etwa den Faktor 100 in der Toxizität abnimmt, wobei Entgiftung, das heißt Hydroxylierung an den C-Atomen 5, 8 und 16 stattfindet. Nur bei der Kuhmilch führt das Carry over zu keiner Minderung, sondern sogar zu einer Steigerung der Toxizität.

Eine weitere schwere Toxikose, die noch zu Anfang unseres Jahrhunderts in Japan etwa 10 000 Todesopfer jährlich forderte, ist die „Cardiac Beriberi“. Sie wird durch den auf Reis



Strukturen und relative Toxizitäten (rel. T.) [4] einiger Metabolite von Aflatoxin B<sub>1</sub>. 1. Strukturänderungen sind durch Umkreisung hervorgehoben.

gedeihenden Schimmelpilz *Penicillium citreoviride* hervorgerufen. Die ersten Erscheinungen ähneln sehr stark der B<sub>1</sub>-Avitaminose Beriberi (Störungen der Herzfähigkeit, später Atembeschwerden, Erbrechen). Seitdem der Zusammenhang zwischen verschimmeltem Reis und dieser Krankheit erkannt worden war und deshalb entsprechende Gegenmaßnahmen getroffen wurden, ist diese endemische Krankheit Südostasiens und Japans stark zurückgegangen. Dieses Mycotoxin ist das Citreoviridin (6), das von *Aspergillus terreus* erzeugt wird.



Ab. 4: „Cardiac Beriberi“: Urheber sowie deren Herkunft.

Dieser Schimmelpilz ist sehr weit verbreitet und gedeiht auf allen Getreidearten und zuckerhaltigen Nahrungsmitteln. Dabei kann die Citreoviridin-Menge sogar bis zu 2% des Trockengewichtes erreichen. Diese Befunde sind vor allem auch deshalb so wichtig, da dieser Schimmelpilz in verschiedenen biotechnologischen Prozessen eingesetzt wird, z. B. zur Gewinnung von Itaconsäure. Auch ein anderer „Nutzschimmelpilz“, *Aspergillus niger*, der zur großtechnischen Gewinnung von Zitronensäure verwendet wird, erzeugt Mycotoxine, z. B.

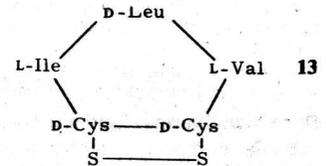


Abb. 5: Malformin A

das interessante Polypeptid Malformin (LD<sub>50</sub> für die Maus: 3,1 mg/kg; 7). Daher ist bei der Reinigung solcher biotechnologisch hergestellter Produkte besondere Sorgfalt notwendig.

### Der Schutz vor Mycotoxikosen

Die Kenntnis der Ursachen von Mycotoxikosen hat zur Entwicklung vielfältiger Schutzmaßnahmen geführt. Sicher hat in erster Linie die Verhinderung, in zweiter Linie zumindest die Minimierung der Bildung von toxischen Schimmelpilzen auf Nahrungsmitteln größte Bedeutung: Abwehr von Schimmelpilzen, Auslesen infizierter Früchte, chemische Desaktivierung (Erhitzen, UV-Bestrahlung, Oxidation, Zusatz von Säuren oder Basen) und die biologische Desaktivierung (Reaktion mit Nahrungsbestandteilen, Passage durch Nutz- und Schlachtvieh, Abbau durch Mikroorganismen, Abbau durch Inhibitoren im Stoffwechsel). Die Abwehr von Schimmelpilzen ist die effizien-

teste und sicherste Methode, während Auslesen einen erheblichen technischen Aufwand erfordert. Die anderen chemischen Maßnahmen sind auch sehr aufwendig und haben vor allem den Nachteil, daß man nicht sicher weiß, ob dabei nicht andere, toxische Produkte gebildet werden.

Für die besonders gefährlichen Mycotoxine wurden in den letzten Jahren in zahlreichen Ländern Grenzwerte für Nahrungsmittel festgelegt, die auch gesetzlich kontrolliert werden. Allerdings sind diese Grenzwerte nicht in allen Ländern gleich hoch angesetzt. So ist in der BRD bei Aflatoxin für alle Nahrungsmittel der Grenzwert 5 µg/kg, in Japan und Polen aber 0 µg/kg; in Italien und Großbritannien dürfen Erdnußprodukte 50 µg/kg enthalten, in Indien nur 30 µg/kg. Akzeptiert man die Annahme eines Schwellenwertes für die karzinogene Wirkung, so wäre dieser für einen Erwachsenen in der BRD mit 375 µg Aflatoxin B<sub>1</sub> erreicht. Aber in 100 g Nahrungsmitteln können sogar bis zu 5000 µg enthalten sein, was in vielen Ländern gerade noch erlaubt ist. Diese höchst unbefriedigende Situation ist auf die unterschiedliche Auslegung des Begriffes Schwellenwert einerseits, andererseits auf die Probleme der analytischen Kontrolle zurückzuführen.

Von der IUPAC Kommission on Food Chemistry wurden alle verfügbaren Methoden einer Sichtung unterzogen und folgende Empfehlung festgelegt: Mindestens 25 g des Nahrungsmittels soll in fünf Teilschritten behandelt werden: Extraktion, Anreicherung, Trennung, Identifizierung und quantitative Bestimmung. Dabei werden meist DC und HPLC zum Trennen eingesetzt und Massenspektrometrie zur Identifizierung. Für manche Mycotoxine sind spezielle DC-Methoden entwickelt worden, die schnell und ohne größeren Aufwand gleichsam an Ort und Stelle die Bestimmung erlauben.

Grundsätzlich sollte es einfacher sein, das Eindringen von Schimmelpilzen in Nahrungsmittel zu verhindern, als z. B. eine bakterielle Infektion beim Menschen zu heilen. Dem steht leider unsere traditionelle Großzügigkeit und vielleicht auch Gleichgültigkeit oder überhaupt unsere Unerfahrenheit mit den Gefahren durch Schimmelpilze gegenüber. Hinzu kommt, daß manche Mycotoxikosen infolge ihrer langen Inkubationszeit nicht erkannt werden konnten, sie sind also erst mit dem Rückgang anderer Krankheiten und der Zunahme der Lebenserwartung relevant geworden.

#### LITERATUR:

Mycotoxine aus Schimmelpilzen – Waffen ungebeter Tischgenossen von Mensch und Tier: Strukturen, Wirkungen, Biosynthese und Schutzmöglichkeiten. Burchard Franck (Univ. Münster); Angew. Chem., 96 (1984), 462–474.

Leonhard A. Hütter, Hall in Tirol

**Preiswerter und praktischer Allround-Ofen:**

## HERAEUS-Universal-Glühbox W 10/10 A

Erhitzen von Stoffen auf höhere Temperaturen, Schmelzen, Glühen, Veraschen . . . gehören zu den in jedem Labor ständig wiederkehrenden Arbeiten. Ein für diese Zwecke – insbesondere im Unterricht und Lehrbetrieb – geeignetes preiswertes Markengerät, das außerdem für viele anderweitige Arbeiten eingesetzt werden kann, wird vorgestellt.

#### Einsatzbereiche:

- Chemieunterricht und anderer fachkundlicher Unterricht
- Schülerübungen und Praktika
- Keramarbeiten
- Metallkundliche Arbeiten
- Handwerkliche und Hobbyarbeiten
- Wasseruntersuchung (Glührückstand, z. B. nach DIN 38 409-H 2)

#### Gerätebeschreibung:

Die Universal-Glühbox W 10/10 A weist folgende besondere Merkmale auf:

- Glühräum aus feuerfester keramischer Muffel, in deren Längsbohrungen die Heizwicklung (CrAlFe-Legierung) eingebaut ist. Die Muffel ist durch hitzebeständige Faserstoffe vom Außengehäuse wirksam isoliert.
- Der Glühräum wird durch eine einfach zu bedienende Schwenktür verschlossen, die beim Öffnen den Heizstrom allpolig abschaltet. Die heiße Seite der Schwenktür ist beim Öffnen vom Bediener abgewandt.
- Einschalten: durch seitlichen Kippschalter; dieser enthält einen Leuchtmelder, der den Einschaltzustand (Netz) optisch anzeigt.

- Steuern der Ofentemperatur: Die Glühbox ist mit einem Leistungssteller zum stufenlosen Steuern der Temperatur ausgerüstet. Hierzu wird dem Ofen durch periodisches Ein- und Ausschalten des Heizstromes intermittierende Energie zugeführt. Die Einschaltdauer kann an einer Skalenscheibe eingestellt werden:

Leistungsstufe	1	2	5	7	8	9	9,5
Nutzraumtemperatur	130	200	380	500	600	750	850 °C (±30 °C)

Zur Verkürzung der Anheizzeit kann die Dauerstellung 10 gewählt werden.

- Wird eine bestimmte exakte Temperatur benötigt, kann in die Bohrung der Schwenktür ein geeigneter Temperaturfühler (vgl. Zusatzgerät) eingeführt und der Leistungssteller entsprechend eingeregelt (und markiert) werden (vor Öffnen der Tür nicht vergessen, die Temperatursonde herausziehen!).
- Durch die Öffnung der Schwenktür kann auch z. B. Schutzgas eingeleitet werden.
- Das Gerät besitzt eine fest angeschlossene Zuleitung mit Schutzkontaktstecker und kann an jede Schukosteckdose angeschlossen werden.
- Das Gerät ist VDE-geprüft, Prädikat: „Geprüfte Sicherheit“; Funkschutzzeichen.

#### Technische Daten:

Nenntemperatur:	1000 °C
Arbeitstemperatur:	max. 850 °C (im Dauerbetrieb)
Nennleistung:	0,47 kW
Nennspannung:	220 V (±10%), 50/60 Hz
Anheizzeit:	3 Std. (bis auf Nenntemperatur)
Nutzraum:	Durchmesser 100 mm, Tiefe 100 mm
Außenmaße:	280 × 265 × 300 mm (B × H × T)
Aufstellungsart:	horizontal als Muffelofen
Gewicht:	ca. 6 kg

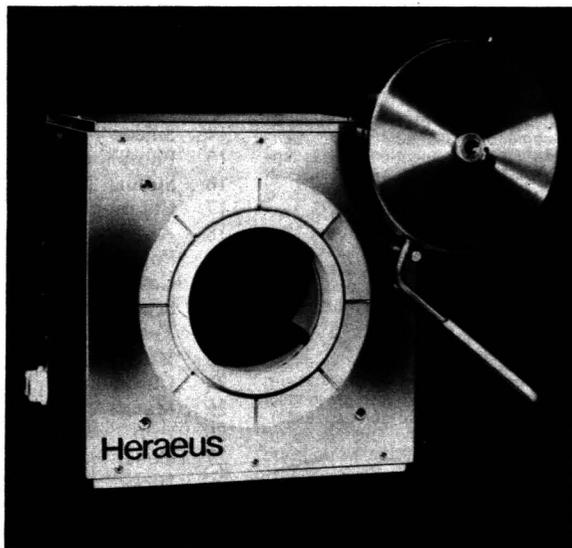


Abb. 1: HERAEUS-Universal-Glühbox W 10/10 A mit geöffneter Schwenktür und im Ofenraum eingesetzter Herdschale (das Einsatzgut soll mit der Heizmuffel nicht unmittelbar in Berührung kommen).

Werkfoto: HERAEUS

#### Zusatzgerät:

Zur Ermittlung der jeweils herrschenden Ofentemperatur (Ist-Temperatur) bzw. zur exakten Einregulierung einer bestimmten Soll-Temperatur mit dem Leistungssteller kann das HERAEUS-Kelvitron®-Temperaturanzeigergerät TAK (220 V) mit elektronischem Verstärker und einem in °C geeichten (0 . . . 1200 °C), analog anzeigenden Meßwerk (Güteklasse 1,5; Skalenlänge 85 mm) empfohlen werden. Dazu Temperaturfühler NiCr-Ni, 0 . . . 1200 °C, 140 mm lang. Dieser kann entweder direkt oder mittels 1,5 m Ausgleichsleitung an das TAK angeschlossen werden. Die Umgebungstemperatur (0 . . . 55 °C) wird elektronisch kompensiert. Die Anschaffung dieses Zusatzgerätes macht sich insbesondere dann bezahlt, wenn mehrere Öfen betrieben und deren Temperatur exakt eingestellt bzw. kontrolliert werden soll. Außerdem kann es als universelles Temperaturmeßgerät vielfach Verwendung finden.

#### Bezugsquellen:

W. C. HERAEUS GmbH, Prod. Ber. Elektrowärme, Postf. 1553, D-6450 Hanau 1  
HERAEUS GmbH Wien, Pichlergasse 1, A-1090 Wien

# Kurznachrichten

**Wie entsteht Kohle?** Alles, was die Wissenschaftler bisher darüber geglaubt haben, muß seit den Untersuchungsergebnissen einer amerikanischen Geologengruppe am Argonne National Laboratory bei Chicago über den Haufen geworfen werden, berichtete die Zeitschrift *Research & Development*. Kohle entwickelt sich aus Humus, also abgestorbenen Pflanzen, die durch Bakterien und Pilze zersetzt werden. Humus

verwittert dann bei einer Temperatur von 150 Grad Celsius und nicht bei 400 Grad, wie bisher angenommen wurde. Anwesende Tonkrümel beschleunigen die Kohleentstehung aus dem Holzbestandteil Lignin, so daß so hohe Temperaturen wie 400 Grad nicht mehr nötig sind, die unmöglich beim Kohlungsprozeß geherrscht haben konnten. Natürliche Kohle enthält des öfteren Tonteilchen.

**LITERATUR:**  
*Research & Development*, Februar 1984, S. 92.

Petra Schulz

## TABLE OF ATOMIC WEIGHTS TO FOUR SIGNIFICANT FIGURES (Scaled to the relative atomic mass of $^{12}\text{C} = 12$ exactly)

Values quoted in this table are reliable to  $\pm 1$  or better in the fourth significant figure except for the five elements for which the larger indicated uncertainties apply. Each element that has neither a stable isotope nor a characteristic natural isotopic composition is represented in this table by one of that element's commonly known radioisotopes identified by its mass number (in superscript preceding the chemical symbol) and its relative atomic mass.

### Eine neue Tabelle mit Atommassen für vier signifikante Stellen.

Auf Antrag des IUPAC-Komitee of Teaching of Chemistry wurde unter Mitarbeit der IUPAC-Commission on Atomic Weights and Isotopic Abundances von den Autoren N. N. Greenwood und H. S. Peiser die folgende Tabelle erarbeitet.

Der Ausdruck „Atomic Weights“ ist nach wie vor von vielen Chemikern bevorzugt, obwohl eigentlich darunter die durchschnittliche relative Atommasse („mean relative atomic mass“) gemeint wird und diese Bezeichnung auch zunehmend Anhänger findet. Seitdem 1961 diese Angaben auf das Isotop C-12 bezogen werden, dessen Masse mit 12,0000 definiert wird, sind die Atommassen dimensionslose Zahlen, deren numerischer Wert der Molmasse in g/mol entspricht.

Von 20 Elementen findet man in der Natur nur ein einziges Isotop, daher ist von diesen Elementen die Atommasse sehr genau bestimmbar, dabei immer besser als 1 : 1 000 000. Bei allen anderen Elementen, die aus mehr als einem Isotop bestehen, ist diese Bestimmung weit weniger exakt möglich, da je nach Herkunft der Probe die Isotopenzusammensetzung schwankt. Deshalb ist für diese Elemente die Atommasse keine „natürliche Konstante“. Bei den in dieser Tabelle aufgelisteten Elementen sind zumindest 31 Elemente mit größerer Unsicherheit bezüglich der angegebenen Massen anzusehen. Ein Beispiel dafür ist bereits Wasserstoff mit seinen drei Isotopen.

Bei allen Elementen mit Ordnungszahlen größer als 83 (Bismuth) kommt noch hinzu, daß sie aus vielen radioaktiven Isotopen zusammengesetzt sind, so daß hier die Schwankungen nach Herkunft (natürlich oder gar künstlich) noch größer sind. Daher sind in dieser Tabelle alle Atommassen ab Polonium zusätzlich mit der Nukleonenzahl versehen, auf die sich die Atommasse bezieht.

Diese Tabellen werden alle zwei Jahre durch die entsprechenden IUPAC-Kommissionen überprüft. So stammt diese Tabelle von 1983. Es ist aber höchst unwahrscheinlich, daß sich in den nächsten Jahren bei der vierstelligen Angabe der durchschnittlichen Atommassen bemerkenswerte Änderungen ergeben werden.

Kopien sind erhältlich bei Prof. D. J. Waddington, Department of Chemistry, University of YORK, Heslington, York, YO1 500, UK. (Übersetzung, gekürzt: Dr. E. Jarisch.)

Atomic Number	Name	Symbol	Atomic Weight	Atomic Number	Name	Symbol	Atomic Weight
1	Hydrogen	H	1.008	53	Iodine	I	126.9
2	Helium	He	4.003	54	Xenon	Xe	131.3
3	Lithium	Li	6.941±2	55	Caesium	Cs	132.9
4	Beryllium	Be	9.012	56	Barium	Ba	137.3
5	Boron	B	10.81	57	Lanthanum	La	138.9
6	Carbon	C	12.01	58	Cerium	Ce	140.1
7	Nitrogen	N	14.01	59	Praseodymium	Pr	140.9
8	Oxygen	O	16.00	60	Neodymium	Nd	144.2
9	Fluorine	F	19.00	61	Promethium	<sup>145</sup> Pm	144.9
10	Neon	Ne	20.18	62	Samarium	Sm	150.4
11	Sodium	Na	22.99	63	Europium	Eu	152.0
12	Magnesium	Mg	24.31	64	Gadolinium	Gd	157.3
13	Aluminium	Al	26.98	65	Terbium	Tb	158.9
14	Silicon	Si	28.09	66	Dysprosium	Dy	162.5
15	Phosphorus	P	30.97	67	Holmium	Ho	164.9
16	Sulfur	S	32.07	68	Erbium	Er	167.3
17	Chlorine	Cl	35.45	69	Thulium	Tm	168.9
18	Argon	Ar	39.95	70	Ytterbium	Yb	173.0
19	Potassium	K	39.10	71	Lutetium	Lu	175.0
20	Calcium	Ca	40.08	72	Hafnium	Hf	178.5
21	Scandium	Sc	44.96	73	Tantalum	Ta	180.9
22	Titanium	Ti	47.88±3	74	Wolfram (Tungsten)	W	183.9
23	Vanadium	V	50.94	75	Rhenium	Re	186.2
24	Chromium	Cr	52.00	76	Osmium	Os	190.2
25	Manganese	Mn	54.94	77	Iridium	Ir	192.2
26	Iron	Fe	55.85	78	Platinum	Pt	195.1
27	Cobalt	Co	58.93	79	Gold	Au	197.0
28	Nickel	Ni	58.69	80	Mercury	Hg	200.6
29	Copper	Cu	63.55	81	Thallium	Tl	204.4
30	Zinc	Zn	65.39±2	82	Lead	Pb	207.2
31	Gallium	Ga	69.72	83	Bismuth	Bi	209.0
32	Germanium	Ge	72.59±3	84	Polonium	<sup>210</sup> Po	210.0
33	Arsenic	As	74.92	85	Astatine	<sup>210</sup> At	210.0
34	Selenium	Se	78.96±3	86	Radon	<sup>222</sup> Rn	222.0
35	Bromine	Br	79.90	87	Francium	<sup>223</sup> Fr	223.0
36	Krypton	Kr	83.80	88	Radium	<sup>226</sup> Ra	226.0
37	Rubidium	Rb	85.47	89	Actinium	<sup>227</sup> Ac	227.0
38	Strontium	Sr	87.62	90	Thorium	Th	232.0
39	Yttrium	Y	88.91	91	Protactinium	<sup>231</sup> Pa	231.0
40	Zirconium	Zr	91.22	92	Uranium	U	238.0
41	Niobium	Nb	92.21	93	Neptunium	<sup>237</sup> Np	237.0
42	Molybdenum	Mo	95.94	94	Plutonium	<sup>239</sup> Pu	239.1
43	Technetium	<sup>99</sup> Tc	98.91	95	Americium	<sup>243</sup> Am	243.1
44	Ruthenium	Ru	101.1	96	Curium	<sup>247</sup> Cm	247.1
45	Rhodium	Rh	102.9	97	Berkelium	<sup>247</sup> Bk	247.1
46	Palladium	Pd	106.4	98	Californium	<sup>252</sup> Cf	252.1
47	Silver	Ag	107.9	99	Einsteinium	<sup>252</sup> Es	252.1
48	Cadmium	Cd	112.4	100	Fermium	<sup>257</sup> Fm	257.1
49	Indium	In	114.8	101	Mendelevium	<sup>256</sup> Md	256.1
50	Tin	Sn	118.7	102	Nobelium	<sup>259</sup> No	259.1
51	Antimony	Sb	121.8	103	Lawrencium	<sup>260</sup> Lr	260.1
52	Tellurium	Te	127.6				

# EXPERIMENTALPHYSIK

Prof. Richard Lederer

Anton Schmid, RG 19, Wien

## Akustikexperiment — genauer betrachtet

Erregt man eine Luftsäule veränderlicher Länge mit einer Stimmgabel oder einem Schallkopf zum Mitschwingen, so erhält man bei geeigneter Luftsäulenlänge Resonanzen. Eine solche Luftsäule kann man realisieren, indem man ein Rohr in einen wassergefüllten Standzylinder verschieden tief eintaucht. Die Schallquelle wird über das Rohr gehalten und bringt die Luftsäule darin zum Mitschwingen. Die jeweilige Länge der Luftsäule bei Resonanz ist sehr genau meßbar, da die Lautstärkenmaxima überaus deutlich sind.

In den Lehrbüchern findet sich nun die bekannte Erklärung: stehende Wellen in der Luftsäule haben ein festes Ende an der Wasseroberfläche, ein offenes Ende am oberen Ende des Rohres. Es ergeben sich somit Resonanzen, wenn die Länge der Luftsäule  $\frac{\lambda}{4}(2n - 1)$ ,  $n \in \mathbb{N}$  mißt ( $\lambda$  Wellenlänge des Schalls in Luft).



Führt man nun das Experiment tatsächlich quantitativ durch, so erhält man ein überraschendes Ergebnis, das an folgenden konkreten Versuchsdaten verdeutlicht werden soll:

Rohrlänge: 35 cm  
Rohrdurchmesser: 25 mm  
Wandstärke: 2 mm  
Frequenz: 1700 Hz

1. Maximum (Grundschiwingung) Luftsäulenlänge: 4 cm  
2. Maximum (1. Oberwelle) Luftsäulenlänge: 14 cm

Die Luftsäule im 2. Fall sollte auf Grund obiger Überlegungen dreimal so groß sein wie beim 1. Maximum.

Die Kontrollrechnung ( $c = f \cdot \lambda$ ) ergibt für beide Resonanzen zu kleine Werte für die Schallgeschwindigkeit (272 m/s bzw. 317,3 m/s), was auf einen systematischen Fehler hindeutet.

## Versuche mit der Elektronenablenkröhre

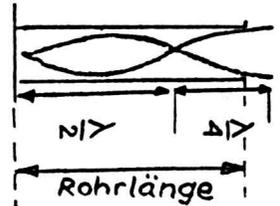
Vor etwa einem Jahr erhielten zahlreiche AHS die Elektronenablenkröhre 06985.00 zugewiesen. Es soll hier versucht werden, auf einige Probleme einzugehen, die herangetragen wurden.

### Kein Oszilloskop!

Die Elektronenablenkröhre ist keinesfalls ein Oszilloskop-Ersatz. Wenn man alles mögliche Zubehör zusammenrechnet, kommt wahrscheinlich mehr heraus, als heute ein technisches Oszilloskop kostet. Das Gerät hat die Aufgabe, die „black box“ Oszilloskop transparent zu machen und Verständnis für den inneren Aufbau eines Oszilloskops zu erzielen. Um eine „black box“ zu erklären, sollte aber nicht wieder eine black box verwendet werden, und das war sicherlich der Grund, warum das Betriebsgerät nicht mitbestellt wurde. Es wäre ja sehr bequem, die Buchsen des Betriebsgerätes mit denen des Röhrensockels zu verbinden, und schon kann es damit losgehen, etwas zu demonstrieren, was nur wenige Schüler durchschauen.

Der Sinn der Anschaffung besteht vielmehr darin, mit Spannungen, die gewohnten Netzgeräten entnommen werden, die

Rechnet man die Schallgeschwindigkeit unter Verwendung von  $\lambda/2$  als der Differenz der Luftsäulenlängen, so erhält man den durchaus befriedigenden Wert  $c = 340$  m/s. Die nebenstehende Zeichnung gibt also den tatsächlichen Schwingungszustand der Luftsäule in dem Rohr wieder. Dieses Ergebnis wäre auch bei der Behandlung von Orgelpfeifen zu berücksichtigen!



Erklärung: Die Luftsäule in einem Rohr ist nicht mit hinreichender Näherung als eindimensionales schwingungsfähiges Gebilde zu betrachten. Die Schallschnelle hat sicher an der Wasseroberfläche einen Knoten, am offenen Ende des Rohres liegt der Schwingungsbauch aber deutlich außerhalb des Rohres (analog der Knoten des Schallwechseldruckes).

Diese beiden Größen des Schallfeldes sind ja in ähnlicher Weise miteinander verknüpft wie  $\vec{E}$ - und  $\vec{B}$ -Feld längs einer Lecher-Leitung oder eines Dipols. Für Schüler ist dieser Zusammenhang sicher mit Hilfe einer Lecher-Leitung oder der Bernoulli-Gleichung (Strömungslehre) einsichtig.

Anschließend sei noch auf ein ähnliches Experiment hingewiesen, das diesen Zusammenhang auch schön zeigt:

Der Sinusgenerator wird auf eine Resonanzfrequenz des Rohres abgestimmt. Dies erkennt man an der maximalen Amplitude der Schwingung auf dem Bildschirm des Kathodenstrahloszilloskopes. Führt man nun das Sondenmikrofon M in das Rohr ein, so steigt (bei Erregung der Grundwelle) die Amplitude bis zur Mitte an, um dann beim Weiterbewegen wieder abzunehmen. Das Mikrofon ist also offensichtlich für den Schallwechseldruck empfindlich.

Die angegebene Versuchsanordnung kann auch benutzt werden, um die „Durchlaßkurve“ des Resonators (des Rohres) quantitativ zu bestimmen: In der Mikrofonstellung „Maximum“ wird die Frequenz des Sinusgenerators geändert und die jeweilige Schwingungsamplitude gemessen. Die Resonanzkurve ergibt sich in einem Diagramm, in dem  $I/I_0$  gegen  $f/f_0$  aufgetragen wird.

Die Durchführung der angeführten Experimente erscheint mir wünschenswert, weil durch sie mit einfachen Mitteln grundlegende Einsichten im Bereich der Schwingungs- und Wellenlehre gewonnen werden können.

für ein Oszilloskop erforderlichen Beschaltungsmaßnahmen zu zeigen. Es ist viel instruktiver, wenn ein Schüler durch Verstellen einer Gleichspannung die Wanderung des Leuchtflecks über den Schirm bewirkt, als wenn das vollautomatisch auf geheimnisvolle Weise geschieht.

### Erforderliches Netzgerät

An Schulen, die vor zwanzig Jahren schon bestanden haben, gibt es Netzgeräte für Röhrenversuche, die gerade das richtige Hilfsmittel für die Ablenkröhre darstellen. Es gibt aber auch jüngere Schulen, die wegen des Wegfallens der Röhrenversuche ein solches Netzgerät nicht besitzen, und da gibt es natürlich Schwierigkeiten. Es ist aber sinnvoller, ein Netzanschlußgerät oder Netzgerät für Röhrenversuche oder für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen anzuschaffen als das Betriebsgerät, das nur für die Ablenkröhre geeignet ist.

Ein geeignetes Netzgerät müßte eine Wechselspannung von 6 Volt, eine Gleichspannung stellbar bis 20 Volt und zwei Gleichspannungen bis 200 oder 250 Volt liefern, wobei die eine davon fest sein kann, während die zweite Gleichspannung von Null bis 200 Volt stellbar sein muß.

Der Anschluß dieser Spannungen an die Ablenkröhre hängt vom Versuchsziel ab. Wir können die Einsatzmöglichkeiten der Röhre grob in drei Gruppen gliedern:

1. Die für ein technisches Oszilloskop erforderliche Spannungsversorgung,

2. magnetische Ablenkung von Elektronen,
3. Modellversuche zum Fernsehapparat.

### Modell eines Industrie-Oszilloskops

Wir sehen an der Ablenkröhre aus durchsichtigem Glas, wie im Prinzip eine Oszilloskopröhre im Innern aussieht, wobei wir auf das Fehlen der Vertikalablenkplatten hinweisen sollten.

Welche Spannungen benötigen wir für den Betrieb?

1. Nach Anlegen der Wechselspannung 6,3 Volt an den Buchsen „Heizung“ sehen wir das Glühen der Kathode.
2. Durch Beschalten der Anode mit der Festspannung 250 Volt (die Spannung kann bis 380 Volt betragen) werden die emittierten Elektronen beschleunigt, wir sehen aber nichts davon, weil die Elektronen noch gebündelt werden müssen.
3. Die stellbare Gleichspannung 0–20 oder 0–50 Volt wird an der Buchse „Hilfsanode“ angeschlossen und so eingestellt, daß wir am Schirm einen möglichst scharfen Lichtfleck sehen.

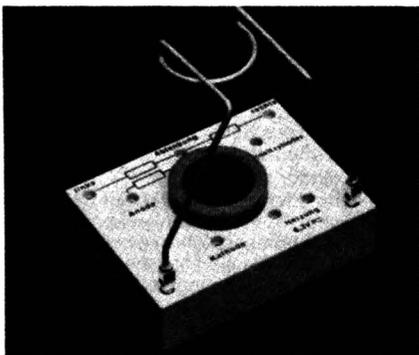


Abb.: Fassung für Dem.-Elektronenröhren 06985.00.

Um eine Vertikalablenkung des Strahls herbeizuführen, können wir (abweichend vom technischen Gerät, weil wir keine Vertikalablenkplatten zur Verfügung haben) eine Spule mit 1200 oder 1600 Windungen an der 6,3-Volt-Heizspannung dazuschalten und rechts oder links neben die Röhre halten (Entfernung passend verändern!). Wir sehen nun einen vertikalen Strich, wissen also noch nichts über den zeitlichen Verlauf des Magnetfeldes, das die Ablenkung bewirkt.

### Zeitachse

Die einfachste Möglichkeit, eine Zeitachse zu veranschaulichen (wir besprechen später noch schönere Methoden), besteht darin, an die beiden äußeren Buchsen („Ablenkung“) ganz oben auf der Halterung der Röhre die stellbare Gleichspannung (0 bis etwa 150 Volt) anzuschließen, zuerst den Minuspol links.

Läßt man nun einen Schüler die Gleichspannung zuerst langsam, dann schneller erhöhen und rasch auf Null zurückstellen, dann erhält man zwar kein schönes Bild, aber einen sehr instruktiven Einblick in die Erscheinung der Ablenkung der Elektronen in einem elektrischen Feld. Wir können noch umpolen und die Elektronen nach links ablenken. Man erkennt trotz oder vielleicht wegen der Einfachheit der Mittel, daß man eine symmetrische (negative und positive) Gleichspannung an den Ablenkplatten anlegen muß, die im Idealfall sägezahnförmig verlaufen muß.

### Funktionsgenerator

Die Kurven auf dem Bildschirm sind in diesem einfachsten Versuch deshalb so wirr, weil wir uns mit 50-Hz-Ablenkstrom für das Magnetfeld begnügt haben. Viel schönere Ergebnisse können wir durch den Einsatz eines Funktionsgenerators erzielen.

Die AHS bekommt mit den Schülerarbeitsgeräten zunehmend Funktionsgeneratoren ins Haus geliefert. Wer noch keinen besitzt, sollte sich auch für viele andere Versuche ein solches Gerät beschaffen. Die beiden bedeutenden Lehrmittelfirmen haben überaus preiswerte Lösungen gefunden, wodurch die Beschaffung kaum ein Problem darstellt. Man sollte jedoch unbedingt auf 5 Watt Ausgangsleistung achten, wie das auch für die Schülergeräte Bedingung ist.

Wir können nun die Spule, die rechts oder links von der Röhre angebracht ist oder gehalten wird und die Vertikalablenkung bewirkt, vom Funktionsgenerator mit etwa 3 Hertz (Sinus) beschicken. Wenn nun die Gleichspannung an den Horizontalablenkplatten von Null an gesteigert wird und man eine passende Änderungsgeschwindigkeit einübt, erkennt man sehr schön die Entstehung einer Sinuskurve.

### Es geht noch schöner

Der Nachteil unserer einfachen Ablenkung mittels elektrischem Feld besteht darin, daß der Strahl von der Mitte weg nur nach einer Richtung abgelenkt wird. Dieser Nachteil fällt weg, wenn wir die Zeitachse ebenfalls durch magnetische Ablenkung mit Hilfe des Funktionsgenerators bewirken. Das entspricht zwar nicht dem Oszilloskop, ist aber wieder ein Modell für das Bild des Fernsehapparates, bei dem alle Ablenkungen (in der bisher noch üblichen Technik, vielleicht sind bald Änderungen zu erwarten) durch Magnetspulen bewirkt werden. Bei dieser Art der Darstellung legt man die Spule für die Vertikalablenkung an 50 Hz Wechselspannung (6,3 V). Unter der Röhre stellt man eine zweite Spule (600 bis 1600 Windungen) auf, die den Elektronenstrahl horizontal ablenkt. Diese Horizontalablenkung läßt man nun durch das Magnetfeld eines Stromes bewirken, den man dem Funktionsgenerator entnimmt.

Man erkennt überaus anschaulich die Wirkung einer langsameren oder schnelleren Ablenkfrequenz, sieht bei geeigneter Frequenz eine stehende Sinuskurve und erlebt das Wandern der Kurve bei geringer Abweichung von dieser Frequenz, wodurch man die segensreiche Wirkung einer Triggerung versteht.

Nach diesen einführenden Versuchen sollte für aufmerksame und geistig wache Schüler die prinzipielle Wirkungsweise eines Oszilloskops verständlich sein.

(Wird fortgesetzt)

Klaus Hötzenecker

## Mechanik im Schülerversuch

### I. Einleitung:

Bis 1974 war die Ausstattung der Schulen vorwiegend derart gestaltet, daß die Lehrer die Experimente ausführten – das Lehrereperiment stand im Vordergrund. Erst Mitte der achtziger Jahre trat eine Wende ein.

Durch die großzügige Unterstützung des BMfUK, im besonderen durch Hr. MR Dr. Szirucsek, konnten die Schulen mit Schülerexperimentiergeräten ausgestattet werden.

Das Schülerexperiment hat nun seinen festen Platz gefunden, da die Motivation und die Begeisterung für Physik durch die Schüler selbsttätigkeit enorm gefördert werden.

Dieser Aufsatz soll nun eine Möglichkeit aufzeigen, die Mechanik (gleichförmig beschleunigte Bewegung, gleichförmige Bewegung, Impulssatz, Bestimmung von  $g$ , dynamische Kraft-einheit  $N$  und Energiesatz) im Schülerexperiment den Schülern näherzubringen. Ich habe dieses Stoffgebiet in der 5. Klasse (NWRG) bereits durchgeführt und festgestellt, daß die im Frontalunterricht trockene Materie dadurch stark aufgelockert werden konnte.

### II. Beschreibung der benötigten Geräte:

#### a) Fahrbahn:

Die Fahrbahn in den Experimentiersätzen ist meist auch in der Optik und in der Elektrik verwendbar. Sie sollte verwindungsfrei sein und eine engtolerante Spurweite haben.

#### b) Meßwagen:

Die Räder der Meßwagen müssen spitzengelagert sein und eine Reibung von weniger als 0,005 N verursachen. Ferner ist eine Vorrichtung zum Aufsetzen von Massestücken notwendig, um die Abhängigkeit von der Masse zeigen zu können. Als sehr praktisch erweist sich ein Wagen mit herausnehmbaren Massestücken, damit die zu beschleunigende Masse stets konstant gehalten werden kann. Außerdem gelingt mit solchen Massestücken die Kompensation der Rollenersatzmasse und der Massen des ansteckbaren Zubehörs – wie z. B. Feder (Stoßversuche) und Prallplatte (Stoßversuche).

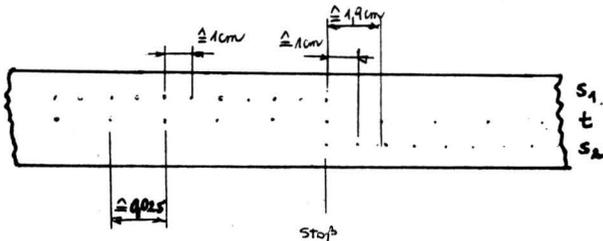
#### c) Zubehör:

- 1 Massescheibe zur Verdoppelung bzw. Verdreifachung der Wagenmasse
- 2 Federn, ansteckbar
- 2 Prallplatten, ansteckbar

#### d) Registriereinrichtung:

Die Registriereinrichtung sollte die Zeit- und 2 Wegspuren haben (Stoßversuche).

Die Zeitspur besteht darin, daß im Takt der 50-Hz-Wechselspannung Punkte in einem Papierstreifen gebrannt werden. Der Zeitabstand zwischen zwei Punkten beträgt dann 0,02 s. Die Registrierung der Wege erfolgt am besten über Lichtschranken, die in die Umlenkrollen am Ende der Fahrbahn eingebaut sind. Bei einem bestimmten Abstand der Speichen der Umlenkrollen (z. B. 1 cm) wird bei jeder Unterbrechung der Lichtschranke (also nach jedem cm zurückgelegten Weges) eine Wegmarke auf den Registrierstreifen eingebrannt. Je schneller man nun den Registrierstreifen aus dem Registriergerät zieht, um so weiter voneinander entfernt sind die einzelnen Zeit- bzw. Wegmarken. Das untenstehende Beispiel soll die Registrierung veranschaulichen:



### III. Versuche:

Mit dieser Einrichtung können nun folgende Themen experimentell behandelt werden:

- Beschleunigung proportional zur Kraft ( $a \sim F$ )
- Beschleunigung proportional zum Kehrwert der Masse ( $a \sim \frac{1}{m}$ )
- Dynamische Definition der Kräfteinheit N
- konstante Beschleunigung und konstante Geschwindigkeit
- Impulssatz beim elastischen und unelastischen Stoß
- Energieerhaltungsprinzip im elastischen und unelastischen Stoß
- Bestimmung der Erdbeschleunigung g

#### Versuch 1: Konstante Beschleunigung eines Wagens mit Reibungsausgleich.

Dieser Versuch liefert Ergebnisse zu a), b) und c).

##### a) Reibungsausgleich:

Zum Reibungsausgleich wird der Wagen ohne angehängte Schnur auf die Metallschiene gestellt und mit der Hand ganz leicht in Richtung auf die Registrierrollen angestoßen. Wegen der Reibung verlangsamt sich der Wagen auf einer ebenen, waagrechten Unterlage, und bei sehr kleinen Anfangsgeschwindigkeiten bleibt er sogar nach einigen Zentimetern stehen. Durch Unterlegen von Papierstücken o. a. wird die Schiene gegenüber den Registrierrollen um ca. 4 mm angehoben, bis die auftretende Hangabtriebskraft die Wagenreibung gerade kompensiert. Stößt man den Wagen wieder in Richtung auf die Registrierrollen an, dann soll er mit konstanter Geschwindigkeit laufen. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten ist dies ohne irgendein Meßmittel gut zu beobachten.

##### b) Beschleunigungsversuch:

Zur Beschleunigung soll ein herausnehmbares Gewicht aus dem Wagen verwendet werden, so daß die beschleunigte Masse stets gleich groß bleibt.

##### c) Durchführung:

Während der Wagen durch das Gewicht beschleunigt wird, zieht man einen Registrierstreifen aus dem Registriergerät. Da die Anfangspunkte am Streifen sehr eng beieinanderliegen, kann die Auswertung erst ab einem bestimmten Zeitpunkt beginnen und liefert so eine Weg-Zeit-Tabelle. Die dazugehörige

Weg-Zeit-Funktion zeigt sehr schön den quadratischen Verlauf. Mit Hilfe von Differenzbildungen ergibt sich nun zwischen je zwei Zeit- bzw. Wegmarken ein mittlerer Beschleunigungswert

$$\left( v_1 = \frac{s_1}{t_1}, v_2 = \frac{s_2}{t_2}, v_3 = \frac{s_3}{t_3} \dots \rightarrow \right. \\ \left. \rightarrow a = \frac{v}{t_m} = \frac{v_2 - v_1}{(t_3 - t_2) - (t_2 - t_1)} \right)$$

So erhält man als Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm eine Gerade und kann die Beschleunigung a ablesen und mit dem Rechenwert für a vergleichen.

Der Vergleich mit der Newtonschen Theorie zeigt eine gute Übereinstimmung. Zur experimentellen Erarbeitung der Beziehung  $F = m \cdot a$  werden mehrere Beschleunigungsmessungen unter geänderten Versuchsbedingungen durchgeführt:

- Änderung der Wagenmasse,
- Änderung der Antriebskraft.

Unter Voraussetzung der definierten Größen Masse und Beschleunigung ist damit auch ein experimenteller Zugang zur dynamischen Definition der Kräfteinheit N möglich.

#### Versuch 2: Konstante Beschleunigung und konstante Geschwindigkeit eines Wagens.

Dieser Versuch liefert Ergebnisse zu d).

Hier wird der Reibungsausgleich durch eine Büroklammer gebildet, die den Wagen zusätzlich beschleunigt (Masse der Büroklammer ca. 0,4 g). Ein zweites Gewicht aus dem Wagen beschleunigt diesen wieder und wird nach einer bestimmten Weglänge am Boden aufgesetzt, so daß die beschleunigende Kraft wegfällt.

Es wirken nun drei Kräfte auf den Wagen:

- Gewichtskraft  $F_D$  der Büroklammer,
- Reibungskraft  $-F_R$  des Wagens,
- Gewichtskraft  $F$  der Antriebsmasse.

$F_D$  und  $F_R$  sollen einander aufheben. Die Auswertung wie in Versuch 1 ergibt die erwarteten Ergebnisse.

#### Versuch 3: Elastischer und unelastischer Stoß zweier Wagen.

Dieser Versuch liefert Ergebnisse zu e) und f).

Dazu braucht man nun ein zweites Paar Umlenkrollen am anderen Ende der Fahrbahn. Dieses Paar hat keine Registriereinrichtung. Verwendet man beim Stoß statt einer Feder eine Plastillkugel, so ergibt sich ein unelastischer Stoß. Für jeden Wagen verwendet man nun eine Registrierrolle, so daß jetzt erstmals die zweite Wagenspur des Registriergerätes benötigt wird. Der Faden führt vom Wagen über die Registrierrolle unter der Fahrbahn durch zur Umlenkrolle und wieder zum Wagen zurück.

Man stößt nun den 1. Wagen mit der Hand an und zieht gleichzeitig den Papierstreifen aus dem Registriergerät. Das Ergebnis ist der Energie- und Impulserhaltungssatz (bis auf die Verluste durch die Feder ca. 10%).

#### Versuch 4: Bestimmung von g.

Dieser Versuch liefert Ergebnisse zu g).

Hier läßt man über eine Registrierrolle ein Laststück (100 g) fallen und registriert Weg und Zeit. Die Auswertung erfolgt wie im Versuch 1. Als Ergebnis treten Werte um  $9,3 \text{ m/s}^2$  für g auf.

#### Zusammenfassung:

Es kann festgestellt werden, daß die selbst durchgeführten Experimente die Motivation der Schüler für den Physikunterricht stark anheben. Diese Experimente führen zu einer sinnvollen Belebung des Physikunterrichts, weil die Selbsttätigkeit der Schüler gefördert wird. Diese Art der Stoffarbeitung erfordert jedoch vom Lehrer eine genaue Planung, was Organisation und Vorbereitung betrifft. Trotzdem kann ich das Schülerexperiment als Mittel, den Physikunterricht zu gestalten, neben dem Lehrervortrag und dem Lehrereperiment, sehr empfehlen.

# MATHEMATIK

Dr. Walter Kranzer

Zu unserem Bedauern wurde der Name des Autors des Artikels „Geom. auf d. Kassettendecke (II)“ in Nr. 68 der Wiss. Nachr., S. 24, nicht genannt. Wir holen hiemit

das Versäumnis nach. Auch den zweiten Teil des Beitrages verfaßte Herr OStR Kurt Wagner (BG Klagenfurt).

Die Redaktion

# Über ein unbeachtetes Merkmal des Morleyschen Dreiecks

Untersucht man die zwischen dem Morleyschen Dreieck und seinem Bezugsdreieck bestehenden Seitenneigungen und Winkelbeziehungen, so findet man einen als Merkmal anzusprechenden gesetzmäßigen Zusammenhang. Der Winkelsatz hierüber ist dem Seitenabschnittsatz des CEVA vergleichbar.

## 1. Grundmerkmale des Morleyschen Dreiecks

Das Morleysche Dreieck beruht bekanntlich auf folgendem Satz: Teilt man die Innenwinkel eines Dreiecks in drei gleiche Teile, so schneiden sich die den Seiten benachbarten Teilungsschenkel in den Eckpunkten eines regelmäßigen Dreiecks (Bild 1, X, Y, Z).

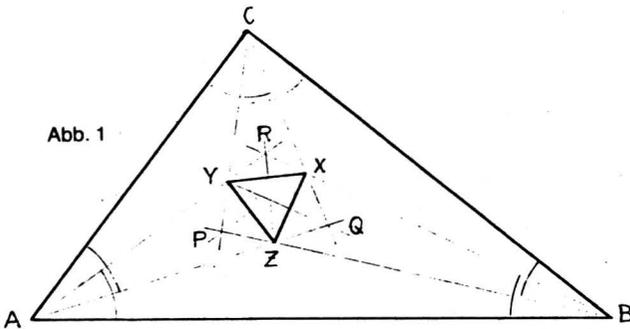


Abb. 1

Dieser Satz, der durch eine Aufgabenstellung Morleys zu Beginn unseres Jahrhunderts bekannt wurde, hat zu mancherlei Überlegungen geführt: zu verschiedenartigen Beweisen, zur Erweiterung auf die Schnittpunkte von Drittelungslinien der Außenwinkel, zu projektiven Betrachtungen und zur Einordnung in umfassendere Zusammenhänge. Dabei fand eine bemerkenswerte Eigenschaft des Morleyschen Dreiecks noch keine Beachtung, nämlich die gesetzmäßige Beziehung der Winkel, die von den Seiten des Morleyschen und denen des Bezugsdreiecks gebildet werden. Sie könnte zwar aus den Winkelberechnungen einschlägiger Abhandlungen gefolgert werden, wurde aber noch nicht als „Merkmal“ herausgestellt oder erkannt. Um sie auf einfache Weise vor Augen zu führen, ist es zweckmäßig, einen zweiten Zusammenhang der beiden Dreiecke heranzuziehen. Das Morleysche Dreieck wird nämlich nicht nur durch die den Seiten des

Bezugsdreiecks benachbarten Teilungsschenkel  $\frac{\alpha}{3}, \frac{\beta}{3}, \frac{\gamma}{3}$  bestimmt, sondern ebenso durch die entfernteren zweiten Teilungsschenkel  $\frac{2\alpha}{3}, \frac{2\beta}{3}, \frac{2\gamma}{3}$ , die sich paarweise in den Punkten R, P, Q schneiden und die Winkel  $\angle ARB = 60 + \frac{2\gamma}{3}$ ,  $\angle BPC = 60 + \frac{2\alpha}{3}$ , und  $\angle CQA = 60 + \frac{2\beta}{3}$  bilden. Die Halbierungslinien dieser Winkel sind gleichzeitig Winkelhalbierende des Morleyschen Dreiecks, d. h. je zwei Seiten dieses Dreiecks liegen spiegelbildlich zu RZ, PX und QY<sup>2)</sup>. Daher sind die Dreiecke YXR, ZYP und XZQ gleichschenkelig. Mit dieser Gegebenheit lassen sich die gefragten Winkel und ihre Beziehungen leicht ermitteln.

## 2. Winkel und Winkelbeziehungen zwischen den beiden Dreiecken

Zeichnet man durch X, Y, Z ein zum Bezugsdreieck gleichlaufendes Hilfsdreieck A'B'C' (Bild 2), so erscheinen die Neigungen der Seiten des Morleyschen Dreiecks gegenüber den Seiten des Bezugsdreiecks als Stufenwinkel bei X, Y, Z innerhalb des Hilfsdreiecks.

<sup>1)</sup> die auch als den Nebenseiten benachbarte angesehen werden können

<sup>2)</sup> siehe Karl Lorenz, Ein Dreiecksatz, Deutsche Mathematik 2, 1937

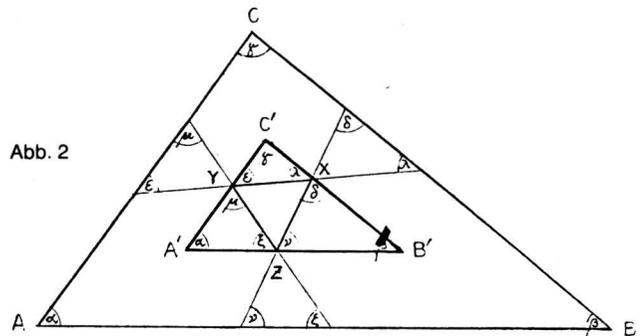


Abb. 2

Eine Vergrößerung der vereinigten Mittelteile von Bild 1 und 2 veranschaulicht die Verhältnisse (Bild 3). Die von den Teilungsschenkeln bei P, Q, R gebildeten Winkel haben, wie bereits erwähnt, die Größen  $60 + \frac{2\alpha}{3}$ ,  $60 + \frac{2\beta}{3}$  und  $60 + \frac{2\gamma}{3}$ . Daraus folgen die zu den Dreiecken ZYP, XZQ und YXR gehörigen, paarweise auftretenden Grundwinkel mit  $60 - \frac{\alpha}{3}$ ,  $60 - \frac{\beta}{3}$  und  $60 - \frac{\gamma}{3}$  und schließlich die Winkel  $\delta, \epsilon, \zeta, \lambda, \mu, \nu$  mit den Werten bzw. Summen

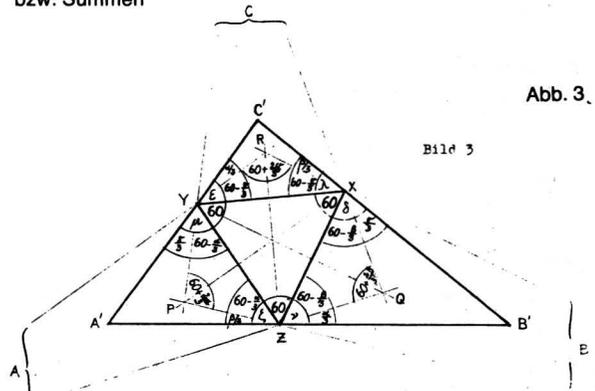


Abb. 3

$$\delta = 60 - \frac{\beta + \gamma}{3} = \frac{\alpha + 2\gamma}{3}$$

$$\lambda = 60 - \frac{\gamma + \beta}{3} = \frac{\alpha + 2\beta}{3}$$

$$\epsilon = 60 - \frac{\gamma + \alpha}{3} = \frac{2\alpha + \beta}{3}$$

$$\mu = 60 - \frac{\alpha + \gamma}{3} = \frac{\beta + 2\gamma}{3}$$

$$\zeta = 60 - \frac{\alpha + \beta}{3} = \frac{2\beta + \gamma}{3}$$

$$\nu = 60 - \frac{\beta + \alpha}{3} = \frac{2\alpha + \gamma}{3}$$

$$\delta + \epsilon + \zeta = 180^\circ = \alpha + \beta + \gamma$$

$$\lambda + \mu + \nu = 180^\circ = \alpha + \beta + \gamma$$

Wie ersichtlich beträgt die Summe gleichliegender Winkel in beiden Fällen  $180^\circ$ . Dieses Ergebnis ist bemerkenswert und läßt sich auch geometrisch veranschaulichen (Bild 4). Verlängert man nämlich die Teilungsschneiden über X, Y, Z hinaus, so entstehen aus den Seiten des Bezugsdreiecks (als Grundlinien) und den zweiten und ersten bzw. den ersten und zweiten Teilungsschneiden der anliegenden Winkel Dreiecke, an deren Spitzen D, E, F und L, M, N die besagten Winkel als Außenwinkel auftreten. Je drei den obigen Gruppen zugehörige Außenwinkel sind zugleich Innenwinkel in einem der Dreiecke, die durch drei zweite bzw. drei erste Teilungsschneiden entstehen, und ergeben daher die Winkelsumme von  $180^\circ$ .

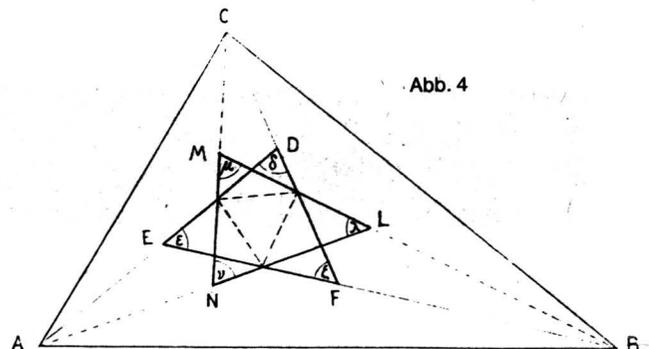


Abb. 4

Da es unendlich viele – allerdings ungleich große – regelmäßige Dreiecke gibt, die man einem Dreieck einzeichnen kann, ist noch zu prüfen, ob die gefundene jeweilige Winkelsumme von  $180^\circ$  für alle regelmäßigen Dreiecke gilt oder nur für das mit dem Morleyschen übereinstimmende.

Eine einfache Überlegung zeigt, daß sie nur für dieses Dreieck zutrifft und daher als ausgesprochenes Kennzeichen zu werten ist. Da  $\delta + \lambda = \epsilon + \mu = \zeta + \nu$  stets gleich  $120^\circ$  sein müssen, wie aus Bild 3 zu entnehmen ist, bringt die Vergrößerung eines Summanden zwangsläufig die Verkleinerung des anderen um denselben Betrag mit sich. Das heißt, macht man  $\delta$  um  $\varphi$  größer, so wird  $\lambda$  um  $\varphi$  kleiner usw. Das würde zu Summen von  $180 + 3\varphi$  und  $180 - 3\varphi$  führen. Winkelsummen von je  $180^\circ$  treten also nur beim Morleyschen Dreieck auf. Daraus folgt der

**Satz:** Die Summen von je drei nicht aufeinanderfolgenden Winkeln zwischen den Seiten des Morleyschen und des Bezugsdreiecks sind einander gleich und betragen jeweils  $180^\circ$ .

Dieser Satz gilt nicht nur für das eigentliche Morleysche Dreieck innerhalb des Bezugsdreiecks, sondern für alle regelmäßigen Dreiecke, die durch Drittelung der Außenwinkel gebildet werden können, denn für die 6 Winkel  $\delta \dots \nu$  gefundenen Werte ergeben sich bei allen „Morleyschen“ Dreiecken. Ein den ursprünglichen Ausführungen entsprechender Beweis ist dafür leicht zu erbringen.

Abschließend noch eine Bemerkung betreffend die eingangs erwähnte Ähnlichkeit des gefundenen Winkelsatzes mit dem Seitenabschnitt-Satz des CEVA. Obgleich beide Sätze für das Morleysche Dreieck zutreffen – für den Satz des CEVA hat es Franklin (2) nachgewiesen – haben sie im allgemeinen keine beziehung zueinander, sind also nicht wechselseitig austauschbar.

#### Literatur:

- 1 F. G. Taylor und W. L. Marr, The six trisectors of each of the angles of a triangle. Proceedings of Edinburgh, Math. Soc. 32, 1914, S. 119
- 2 Philip Franklin, The Simson lines of a triangle, the three cusped hypocycloid and the Morley triangles. Journal Math. Physics 6, 1926/27, S. 50
- 3 J. Marchand, Sur une méthode projective dans certaines recherches de géométrie élémentaire. L'Enseignement mathématique 29, 1930, S. 289
- 4 André Haarbleicher, Trisectrices des triangles De l'emploi des droites isotropes comme axes de coordonnées, Gauthiers-Villars, Paris, 1931, S. 36
- 5 Karl Lorenz, Ein Dreiecksatz. Deutsche Mathematik 2, 1937, S. 588
- 6 Max Zacharias, Über den Zusammenhang des Morleyschen Satzes von den winkeldrittelnden Ecklinien eines Dreiecks mit den trilinearen Verwandtschaften im Dreieck und mit einer Konfiguration der Dreiecksgeometrie. Deutsche Mathematik 3, 1938, S. 36
- 7 J. Mahrenholz, Bibliographische Notizen zu K. Lorenz: Ein Dreiecksatz. Deutsche Mathematik 3, 1938, S. 272
- 8 H. v. Kaven, Ein Satz über die Winkeldrittelnden im Dreieck. Ztschr. für mathem. und naturw. Unterricht 69, 1938, S. 155
- 9 J. E. Hofmann, Über die Figur der Winkeldrittelnden im Dreieck. Ztschr. für mathem. und naturw. Unterricht 69, 1938, S. 158
- 10 Josef E. Hofmann, Ein neuer Beweis des Morleyschen Satzes. Deutsche Mathematik 4, 1939, S. 589
- 11 Gerhard Kowalewski, Beweis des Morleyschen Dreiecksatzes. Deutsche Mathematik 5, 1940, S. 265
- 12 M. Henri Lebesgue, Sur les n-sectrices d'un triangle. L'Enseignement mathématique 38, 1940, S. 39
- 13 J. W. Peters, The theorem of Morley. National Mathem. Magazine 16, 1941, S. 119
- 14 H. D. Grossmann, The Morley triangle: A new geometric proof. The American Mathematical Monthly 50, 1943, S. 552
- 15 Heinrich Dörrie, Der Satz von Morley. Ebene und sphärische Trigonometrie, Oldenbourg 1950, S. 181
- 16 Clarence Lubin, A proof of Morley's theorem. The American Mathematical Monthly 62, 1955, S. 110
- 17 K. Venkatachaliengar, An elementary proof of Morley's theorem. The American Mathematical Monthly 65, 1958, S. 612
- 18 Leon Bankoff, A simple proof of the Morley theorem. Mathematics Magazine 35, 1962, S. 223
- 19 H. S. M. Coxeter, Der Satz von Morley. Unvergängliche Geometrie, Birkhäuser, Basel, 1963, S. 40
- 20 A. Vandeghen, A note on Morley's theorem. The American Mathematical Monthly 72, 1956, S. 638
- 21 G. L. Neidharst und V. Milenkovic, Morley's triangle. Mathematics Magazine 42, 1969, S. 87
- 22 R. J. Webster, Morley's triangle theorem. Mathematics Magazine 43, 1970, S. 209
- 23 J. C. Burns, Morley's triangle. Mathematics Magazine 43, 1970, S. 210
- 24 E. P. B. Umbaglio, A direct geometrical proof of Morley's theorem. Eureka 2, 1976, S. 162
- 25 Leon Bankoff, The beauty and thruth of the Morley theorem. Eureka 3, 1977, S. 294
- 26 Karl Steiner, Zum Satz von Morley. Elemente der Mathematik, 1977/5, S. 124
- 27 Rita Blanck und Eberhard Schröder, Über den Satz von Morley. Mitteilungen der Mathematischen Gesellschaft Hamburg, 1978, S. 413
- 28 C. O. Oakly und J. C. Baker, The Morley trisector theorem. The American Mathematical Monthly 85, 1978, S. 737

W. Dörfler\*)

## Zielsetzungen des Informatikunterrichtes (II)

### Methodische Fähigkeiten im Informatikunterricht

In der bisherigen Diskussion um den Informatikunterricht und seine Ziele war der zentrale Punkt das **Algorithmieren**, d. h. die Methodik zum Erstellen algorithmischer Problemlösungen, vgl. [3, 5]. Schlagworte dazu sind: Vom Problem zum Algorithmus, vom Algorithmus zum Programm. Um das Ziel der Entwicklung der entsprechenden Fähigkeiten herum wird heute weitgehend Informatikunterricht organisiert. Anhand mehr oder weniger gut geeigneter Programmiersprachen werden algorithmische Basisstrukturen und Basiselemente dem Schüler vermittelt, der dadurch das Erstellen von Algorithmen erlernen soll, die dann von ihm in der jeweiligen Programmiersprache formuliert werden.

Diese Tätigkeit des Entwickelns von Algorithmen wird im derzeitigen Schulunterricht in anderen Fächern kaum gepflegt, auch nicht im Mathematikunterricht. Dort werden zwar vom Schüler gewisse Algorithmen selbst ausgeführt, aber die eigenständige Konstruktion und Formulierung mit vorgegebenen Ausdrucksmitteln für eine Ausführung auf einer Maschine tritt nirgends auf. Vor allem **nichtnumerische Algorithmen** mit nichtnumerischen Daten sind ein für die (allgemeinbildende) Schule gänzlich neuer Stoff, der vom Informatikunterricht angeboten werden soll (etwa: Sortieren, Suchen in Listen oder allgemeiner in Datenstrukturen; Spiele; Algorithmen auf Graphen u. a.). Schon allein zum Verständnis und Nachvollzug von Algorithmen ist die Kenntnis bestimmter Ablaufstrukturen (Sequenz, Wiederholung, Schleife u. ä.) erforderlich, und für das selbständige Entwickeln von Algorithmen ist deren Beherrschung als operative Denkmittel unumgänglich. Es geht also weniger um das Erlernen einzelner Algorithmen (die man ja immer nachschlagen kann), sondern um den Erwerb von Mitteln zum Umgang mit und zur Konstruktion von Algorithmen.

Ein weiterer unter dem Titel Algorithmierung angesprochener Punkt ist **Problemlösen**. Die Erstellung eines Algorithmus löst ja stets eine ganze Klasse von Problemen. Damit sind wir allerdings bei einem nicht vollständig erfaßbaren Lernziel angelangt, dessen Erreichung durch die Vermittlung gewisser Strategien und Techniken zwar unterstützt werden kann, wo es aber letztlich keine Operationalisierung, kein umfassendes Regelsystem geben kann. Die Informatik hat gewisse Methoden zur Organisation von Problemlöseprozessen entwickelt, die die Tätigkeit sowohl einzelner Personen wie auch von Gruppen anleiten können. Bekannte Schlagworte dazu sind: Strukturiertes Programmieren, Top-down-Vorgehen, Modularisierung u. a. Hierbei geht es vorwiegend um die Systematisierung, Strukturierung des Denkens, Reflektierens, aber auch Diskutierens, was allein sehr oft schon Lösungsansätze sichtbar macht, aber die intensive Auseinandersetzung mit der Problemsituation und ihren Inhalten nicht ersetzt (wohl aber anleiten kann). Manche dieser Strategien dienen vor allem der Komplexitätsreduktion, der Reduktion bzw. Modularisierung eines hochkomplexen Problems (wie es für die Informatik-Anwendungen ganz typisch ist!) auf überblickbare und oft schon durch Standardverfahren lösbare Probleme. Hier sehe ich einen gewissen Gegensatz zur typisch (inner)mathematischen Problemstellung, wo zwar auch Heuristiken das kreative Denken erleichtern und unterstützen, aber doch mehr die begrifflich bestimmte Idee dominiert. Es ist auch ganz charakteristisch, daß (heute verfügbare) Computer Problemlösungen in der Mathematik erarbeiten oder zumindest unterstützen, wo der Mensch vor allem an der Komplexität, dem Umfang der zu verarbeitenden Information scheitern muß. Mehr strukturelle Ähnlichkeit besteht zwischen Problemen bei der Anwendung von Mathematik, der Mathematisierung einerseits und Problemen der Programmierung/Algorithmierung bzw. Software-Erstellung im allgemeinen. In allen diesen Fällen geht es um die Modellierung (Erfassung, Beschreibung, Darstellung, Strukturierung) von Situationen und Prozessen durch formale Modelle. Dieser Umsetzungs- und Gestaltungsprozeß (das „Modell“ verändert ja auch umgekehrt die sogenannte Realität!), die Mittel zu seiner Organisation und Durchführung sollten einen wichtigen Lernzielkomplex des Informatikunterrichtes darstellen.

\*) o. Prof. Dr. W. Dörfler, Bildungsuniversität Klagenfurt.

Obwohl ich das Lernziel „Algorithmierung“ für eine legitime Schwerpunktsetzung halte, sollte erwähnt sein, daß aktuelle Entwicklungen darauf hindeuten, daß der Computer vermehrt zu Problemlösungen anderer als algorithmischer Natur eingesetzt werden kann: Auffinden von Zusammenhängen, von Gesetzmäßigkeiten, von zunächst nur implizit vorhandener Informationen u. ä. Die Bedeutung der Algorithmierung als individuelle Fähigkeit oder sogar Fertigkeit (vor allem beim Übersetzen in eine Programmiersprache) wird auch noch dadurch eingeschränkt werden, daß es vermehrt fertige „Algorithmenbanken“ geben wird, aus denen man nur mehr das Gesuchte auszuwählen braucht. Auch dabei wird uns der Computer noch kräftig unterstützen. Extrem formuliert: Wir werden dem Computer vielleicht nur mehr unser Problem mitteilen können müssen, und er bietet uns dann sogar mehrere Problemlösungen an oder unterstützt uns zumindest dabei. Das heißt, die Fähigkeit zur präzisen **Problemformulierung** wird stark an Bedeutung zunehmen, was auch aus methodischen Entwicklungen im Software-Engineering abzulesen ist. Darauf sollte auch der Informatikunterricht reagieren und Hilfsmittel zur Problemformulierung und ihrer Darstellung vermitteln (verschiedene graphische Methoden, Tabellen, aber auch Pseudo-Programmiersprachen). Auf das hier auftretende Kommunikationsproblem (Teamarbeit) wird noch eingegangen.

Einige **Konsequenzen** aus den bisherigen Überlegungen sollen kurz zwischendurch angedeutet werden. Nimmt man die genannten Zielsetzungen (Fähigkeiten zur Problemstellung, Problemformulierung, Problemlösung durch Algorithmierung bzw. Erstellung formaler Computermodelle, Programmierung) ernst, so muß der Informatikunterricht aus seiner starken Anbindung an die Mathematik und an mathematische Algorithmen gelöst werden. Viele typische Aspekte der genannten Ziele sind nämlich dort nicht realisierbar und damit nicht erlernbar; oft liegt dabei die Problemlösung schon algorithmisch vor, nur die Umsetzung in eine Programmiersprache ist noch zu leisten. Die Strukturierung noch offener, „amorpher“ Situationen mit den Mitteln, die der Computer zur Verfügung stellt, ist innerhalb der Mathematik nicht im wünschenswerten Ausmaß realisierbar. Der Informatikunterricht muß sich daher seine Problemstellungen aus anderen Bereichen holen, was Kooperation mit anderen Fächern erforderlich macht. An den AHS bieten sich etwa an: Biologie, Geographie und Wirtschaftskunde, Physik, aber auch Sprachen. Gewisse Anwendungsbereiche müssen aber an den AHS im Informatikunterricht selbst erarbeitet und aufbereitet werden. Das entspricht durchaus der Arbeitssituation von vielen Informatikern, die erst im Zuge einer Software-Entwicklung für einen vorgegebenen Anwendungsbereich sich Kenntnis über diesen verschaffen müssen. Für die Schule werden das keine hochspezialisierten Anwendungen sein. Um das Typische herauszuarbeiten, gibt es bereits in der unmittelbaren Lebenswelt des Schülers ergiebige Themenbereiche (vgl. das Beispiel von Neuper [15] zur Organisation des Kursunterrichts in den letzten Schulwochen). Interessant und wichtig für den Lernprozeß ist dabei das Zusammenspiel, die Wechselwirkung der inhaltlichen, in der Problemsituation gelegenen Bedingungen und der formalen Methoden der Informatik.

Eine weitere Konsequenz betrifft die **soziale Organisation des Unterrichts**. Es kann im Lichte der hier formulierten Zielsetzungen ohne Übertreibung gesagt werden, daß nur Organisationsformen in Frage kommen, die intensive Kommunikation auf allen Ebenen (Gruppenbildung, Kooperation, Projektarbeit) ermöglichen und fördern. Erfahrungen aus realen Projektabläufen bei der Systemanalyse und Systementwicklung zeigen, daß einschlägige sozialkommunikative Fähigkeiten und Organisationskenntnisse oft über Erfolg und Mißerfolg der Arbeit entscheiden. Auch Neuper [15] berichtet darüber, wie drastisch die Erfahrungen der Schüler waren mit Auswirkungen nichtbeachteter Koordinationsregeln auf die Kommunikation an Schnittstellen zwischen verschiedenen Modulen (entsprechen den Gruppen) des Gesamtprojekts. Wichtig ist, daß solche Erfahrungen subjektiv gemacht werden, weil bloßes Reden darüber (durch den Lehrer) selten das erforderliche Verhalten hervorruft. Somit könnte der Computer durch die durch ihn auftretenden Erfordernisse einigen Druck in Richtung auf Veränderungen in der Klassenorganisation erzeugen. Man muß aber auch die Gefahr sehen, daß gerade die Mächtigkeit dieses Werkzeuges verfestigend wirkt, Strukturen zementiert, weil es natürlich auch im traditionellen Unterricht (z. B. Mathematik) einsetzbar ist und diesen quantitativ noch ausbaubar macht. Lehrerausbildung und Lehrerfortbildung werden hierauf besonders achten müssen.

Der effiziente Einsatz des Computers zur Problemlösung erfordert auch die Entwicklung von **Denkformen und Denkmitteln**, die bisher von eher untergeordneter Bedeutung waren,

weil sie ohne die Hilfe des Computers nicht zielführend eingesetzt bzw. in Problemlöseprozesse übersetzt werden konnten. Als ersten Punkt erwähne ich dazu den Ersatz von traditionellen analytischen, geschlossenen Verfahren durch (systematische) **Such- und Probiervverfahren**. Als einfaches Beispiel kann hier schon die Zinsrechnung dienen: Man verfolgt einfach am Computer die Veränderungen des Kapitals bei einer vorgegebenen Tilgungs- bzw. Verzinsungsform, um bestimmte Termine zu ermitteln, anstatt den gesuchten Wert aus einer Gleichung (geschlossene Form für das Kapital nach  $n$  Zeiteinheiten) auszurechnen. Das ergibt viel mehr Durchsichtigkeit, Einblick in den gesamten Ablauf und ist viel einfacher. Genauso wird man in vielen anderen Fällen nicht nach der geschlossenen Lösung einer Differenzgleichung suchen, sondern sie durch Iteration oder Rekursion schrittweise lösen. Das Aufstellen der Differenzgleichung selbst aus dem Problem bleibt dabei natürlich nicht erspart.

Dies ist eine (einfache) Form der **Simulation** von Prozessen: Man weiß, wie ein „elementarer“ Schritt, eine elementare Veränderung vor sich geht (man hat ein Modell dafür) und kann somit durch „Nachspielen“ am Computer die Entwicklung ausgehend von einer Startposition aus verfolgen. Viele Simulationen von biologischen oder ökologischen Vorgängen haben diese Struktur. Durch die damit verbundene **Elementarisierung**, ja Trivialisierung (s. auch Ziegenbalg [19]) werden Probleme (auch in der Schule!) bewältigbar, die früher jeder analytischen, geschlossenen Lösung unzugänglich waren. Auch die klassische Analysis wird davon nicht unberührt bleiben.

**Problemmethoden** im engeren Sinne gewinnen durch den Computer an Reputation: Das Einsetzen von Probewerten bedeutet keinen Aufwand, die Auswirkungen von systematischen Veränderungen der Werte von Parametern auf die Zielgrößen können auch mit dem Computer untersucht werden. Damit kann man zu Lösungen kommen bzw. kann die Struktur von Zusammenhängen aufklären. Es sei darauf hingewiesen, daß dies auch als ein didaktisch sehr wirksames Mittel zur Vermittlung bestimmter Zusammenhänge (z. B. lineares versus exponentielles Wachstum) verwendet werden kann.

Das Fehlen eines mächtigen Rechenwerkzeuges hat die Entwicklung geschlossener Problemlösungen und Modelle erforderlich gemacht, um Überblick und Lösungen zu ermöglichen. Der Computer macht „intelligentes Raten“, Versuch und Irrtum, Lernen aus Fehlern wieder zu einer zentralen Denkmethode; er ersetzt dabei nur teilweise Einfallsreichtum (für das Raten und Probieren), konfrontiert uns aber fast augenblicklich mit den Resultaten des jeweiligen Versuchs, oft auch in besonders übersichtlicher Form, um Richtung und Ausmaß von „Fehlern“ erkennbar zu machen. Es gibt heute für gewisse Bereiche schon umfangreiche Software-Unterstützung für derartiges experimentelles, „operatives“ Arbeiten (spread-sheet-software, Visi-Calc, Visi-Plot). Im Hintergrund steht dabei immer die Frage: Was geschieht, wenn . . . ? Es ist ungeheuer nützlich, sich diese Frage als kognitive Grundhaltung anzugewöhnen (operatives Prinzip) und damit an Problemstellungen heranzugehen, die zunächst undurchsichtig und unüberblickbar sind. Aber auch bei relativ einfachen Formeln kann diese operative Methode bereits hilfreich sein, um deren Struktur verständlich zu machen.

Weiter oben wurden **Iteration** und **Rekursion** erwähnt. Ich denke, daß es sich dabei nicht bloß um mathematische Verfahren handelt, sondern daß damit Denkstile verbunden sind, die es gilt zu entwickeln (und die auch erst mit dem Computer praktische Relevanz erhalten haben). Beide Verfahren sind mächtige Instrumente zur Strukturierung von Problemen, wobei Rekursion oft zu besonders einfachen, leicht überblickbaren Lösungen führt. Rekursion und Iteration sind sowohl kompakte Problembeschreibungen wie auch (für den Computer) Anweisungen zur Lösung eines Problems. Probleme tragen aber oft nicht in bereits expliziter Form iterative oder rekursive Strukturen, sondern diese müssen erst konstruiert werden – die Fähigkeit dazu ist ein weiteres Ziel für den Informatikunterricht. Es muß hier allerdings angemerkt werden, daß nicht alle Programmiersprachen für die Unterstützung derartiger Methoden geeignet sind. Besonders bei Basic zeigen sich in dieser Hinsicht gravierende Mängel (fehlendes Prozedurkonzept, z. T. auch keine Sprachmittel für Schleifen). Empfehlenswert sind dagegen moderne Sprachen, wie LOGO oder LISP. Eine analoge Anmerkung gilt auch für die Modularisierung als Organisationsprinzip beim Problemlösen.

Neben den bisher angeschnittenen kognitiven Lernzielen, die auf den Erwerb von Wissen bzw. die Entwicklung von Fähigkeiten zielen, soll noch ein Einsatzbereich des Computers zur Erweiterung unserer kognitiven Möglichkeiten angesprochen werden. Am Bildschirm können wir (z. B. LOGO durch Graphik)

unsere Denkabläufe und Denkprozesse „sichtbar“ machen. Der Computer ermöglicht eine gut beobachtbare, speicherbare, reflektierbare **Externalisierung unseres Denkens** (natürlich gewisser Formen nur), wodurch wir über unser Denken nachdenken können, Fehler, Irrtümer aufdecken können, kurz, unser (formales) Denken korrigieren und verbessern können. Wichtig dabei ist, daß der Prozeß der Externalisierung, der Darstellung des Denkens in verschiedenen Darstellungsformen, dabei vom Computer übernommen wird und wir „bloß“ für den Computer verständlich „laut“ denken brauchen. Dies sollte für den Erwerb, die Entwicklung von kognitiven Strategien (operativen Schemata) von großem Vorteil sein. Der Zusammenhang mit dem oben genannten Probiervverhalten ist wohl deutlich zu sehen. Informatikunterricht könnte solche Möglichkeiten gezielt verwirklichen und bewußt machen.

Abschließend sei noch auf wichtige affektive Ziele des Informatikunterrichts schlagwortartig hingewiesen:

- Abbau der Angst vor den Geräten durch Erfahrung ihrer Beherrschbarkeit
- Erhöhung der Bereitschaft, Computer (sinnvoll) einzusetzen
- Erhöhung der Bereitschaft zu kooperativem Arbeiten, zum Eingehen auf den Gesprächspartner (Problemverständnis)
- Abbau der Angst vor Fehlern (Fehler als konstruktives Moment beim Problemlösen)
- Entwicklung von Vertrauen zum eigenen Denken

Ich muß natürlich zugeben, daß die hier aufgestellten Ziele noch eine gründliche didaktische Forschung hinsichtlich ihrer Realisierungsbedingungen und schulischen Umsetzung (Unterrichtsbeispiele!) erfordern. Vieles ist jedoch durch die Praxis der Angewandten Informatik plausibel zu machen – letztlich hatte aber dieser Vortrag auch Legitimationscharakter mit dem Ziele, (eine bestimmte Form von) Informatikunterricht an der allgemeinbildenden Schule zu begründen, wobei ich auch an Hauptschule und Unterstufe der allgemeinbildenden Schulen denke.

#### Literaturhinweise:

- [1] ABELSON, H.: Einführung in LOGO (Übersetzung H. Lötke), IWT Verlag, Hamburg 1983.
- [2] ARLT, W. (Hrsg.): Informatik als Schulfach, Oldenbourg Verlag, München-Wien 1982
- [3] BALZERT, H.: Vom Problem zum Programm – ein methodischer Ansatz zum systematischen und strukturierten Programmieren. ZDM 9 (1977), 166–174
- [4] BECK, U.: Ziele des zukünftigen Informatikunterrichts sind Ziele des Mathematikunterrichts. Journal für Mathematik-Didaktik 1 (1980), 189–197
- [5] BRAUER, W., u. a.: Zielsetzungen und Inhalte des Informatikunterrichts. ZDM (Zentralblatt für Didaktik der Mathematik) 8 (1976), 35–43
- [6] Deutsche Mathematiker-Vereinigung: Stellungnahme zum Informatikunterricht an Gymnasien, Bonn 1983
- [7] DÖRFLER, W.: Fundamentale Ideen der Informatik und Mathematikunterricht. Erscheint in Didaktik-Reihe der ÖMG
- [8] DÖRFLER, W.: Möglichkeiten des Computereinsatzes im Mathematikunterricht. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 1978, Schrödel Verlag, Hannover 1978
- [9] DÖRFLER, W.: Computer im Mathematikunterricht: Beispiele aus der Stochastik. In: Mathematikunterricht und Informatik (Hrsg.: K. D. Graf), Zentralinstitut für Unterrichtswissenschaften und Curriculumentwicklung, Berlin 1982
- [10] FREIBICHLER, A.: Relevanz der strukturierten Programmierung für den Schulbereich. ZDM 10 (1978), 97–101
- [11] HAAS, H. W., WILDENBERG, D. (Hrsg.): Informatik für Lehrer, Band I, II. Oldenbourg Verlag, München-Wien 1982
- [12] INFORMATIK im Unterricht der Sekundarstufe II. Schriftenreihe des IDM Band 15/16, Bielefeld 1977
- [13] LÖTKE, H.: Arten des Programmierens und Programmiersprachen – ihr Stellenwert im Mathematikunterricht. ZDM 15 (1983), 220–224
- [14] LÖTKE, H., und QUEHL, W.: Systematisches Programmieren und Basic. Teubner, Stuttgart, 1982
- [15] NEUPER, W.: Systemkonstruktion und Projektmanagement. Wiss. Nachrichten Nr. 64 (Jänner 1984), 22–26
- [16] PAPER, S.: Mindstorms, Kinder, Computer und neues Lernen. Birkhäuser Verlag, Basel 1982
- [17] SCHÄUER, H., und TAUBER, M. (Hrsg.): Informatik in der Schule, Oldenbourg Verlag, Wien-München 1980
- [18] SCHMITT, A.: Informatik-Unterricht in der Schule. In: Jahrbuch Überblicke Mathematik 1977, 133–146, Mannheim 1977
- [19] ZIEGENBALG, J.: Informatik und Ziele des Mathematikunterrichts. ZDM 15 (1983), 215–220

#### Ein Schreiben, das uns freut!

*Johannes Nendwich besuchte die 6. Kl. des BG Krems. Er hat, angeregt durch den Unterricht, selbständig mathematisch zu überlegen begonnen und ist dabei auf nette Zusammenhänge gestoßen, die er unserer Redaktion mitteilte. Wir geben gerne unseren Lesern sein Schreiben als Beispiel für die Kreativität einer gut geführten, motivierten Jugend im Wortlaut bekannt:*

## Leserbrief

Als wir in der Schule von Mittelwerten sprachen, „spielte“ ich zu Hause ein bißchen mit ihnen und gelangte dann zu folgenden Beziehungen:

1) Das geom. Mittel  $m_g$  zweier Zahlen ist gleich dem geom. Mittel aus dem harmonischen Mittel  $m_h$  und dem arithm. Mittel  $m_a$  der zwei Zahlen.

2) Das arithm. Mittel zweier Zahlen ist gleich dem quadratischen Mittel  $m_q$  und dem geom. Mittel der beiden Zahlen.

Ad 1)

$$\text{Beh.: } m_g(a, b) = m_g[m_h(a, b), m_a(a, b)] .$$

Beweis:

$$m_g[m_h(a, b), m_a(a, b)] = \sqrt{\frac{2ab}{a+b} \cdot \frac{a+b}{2}} = \sqrt{ab} = m_g(a, b) .$$

Ad 2)

$$\text{Beh.: } m_a(a, b) = m_q[m_q(a, b), m_g(a, b)] .$$

Bew.:

$$\begin{aligned} m_q[m_q(a, b), m_g(a, b)] &= \\ &= \sqrt{\frac{\left(\sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}}\right)^2 + (\sqrt{ab})^2}{2}} = \sqrt{\frac{a^2+b^2}{2} + ab} \cdot \frac{1}{2} = \\ &= \frac{a+b}{2} = m_a(a, b) . \end{aligned}$$

Noch eine Kleinigkeit zu den Prozenten:

Zieht man von einer Zahl  $x$  ebensoviele Prozente, wie der Wert der Zahl beträgt, ab, so erhält man das gleiche Ergebnis, wie wenn man von der „prozentual komplementären Zahl“, also von  $100 - x$ , ebensoviele Prozente abzieht, wie der Wert dieser Zahl beträgt.

$$\text{Beh.: } x - x \cdot (x/100) = (100 - x) - (100 - x) \cdot \frac{100 - x}{100} .$$

$$\text{Bew.: } \begin{array}{l|l} 100x - x^2 & 10000 - 100x - (100 - x)^2 \\ 100x - x^2 & 100x - x^2 . \end{array}$$

Johannes Nendwich  
Stiftskonvikt Göttweig  
3511 Furth/Göttweig

Otto Vogl, BG f. Berufstätige Linz

## Eine Anwendung der Infinitesimalrechnung

Wer nach Anwendungen der Infinitesimalrechnung sucht (u. U. lassen sich durch Beschäftigung mit deren Anwendungen subjektive Erfahrungsbereiche berücksichtigen [1]), stößt auf zwei dzt. im Straßenbau benützte Kurven: die **Traktrix** [2] und die **Klothoide** [3, 4], welche letztere auf Ernesto Cesaro zurückgehen soll. Nachstehend möge nur die Klothoide eingehendere Behandlung erfahren.

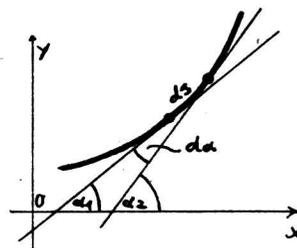


Abb. 1

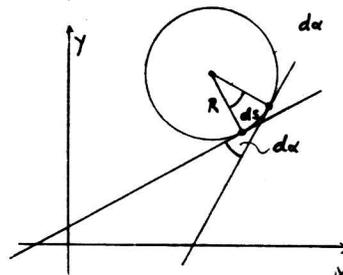


Abb. 2

**Definition der Klothoide**

Die Klothoide ist eine Kurve, deren Krümmung  $k$  linear mit der Bogenlänge  $s$  wächst

(1)  $K = C \cdot s$ ,  $C$  ist eine reelle Konstante.

Die Krümmung  $k$  einer Kurve  $\gamma$  kann „naiv“ als Änderung des Neigungswinkels  $\alpha$  der Tangente pro Einheit der Bogenlänge aufgefaßt werden, also  $k = d\alpha/ds$  (Abb. 1). Falls  $\gamma$  ein Kreis ist (Abb. 2), gilt  $ds = R \cdot d\alpha$ ,  $k = 1/R = d\alpha/ds$ , also  $R = 1/k$ .

Das führt auf die Definition des Krümmungskreises in einem Punkt  $P$  einer beliebigen Kurve  $\gamma$ :

Es ist jener Kreis, der  $\gamma$  in  $P$  berührt und dort (bis auf das Vorzeichen) die gleiche Krümmung wie die Kurve hat und in einer geeigneten Umgebung von  $P$  auf derselben Seite der Tangente in  $P$  wie  $\gamma$  liegt. Damit folgt aus (1) für die Klothoide

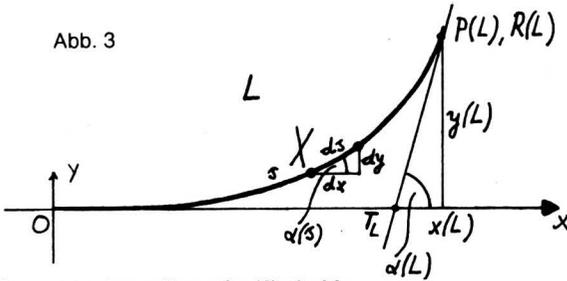
(2)  $1/R = C \cdot s = s/A^2$ ,  $A =$  Vergrößerungsfaktor,

und

(3)  $s \cdot R = A^2$ .

(3) ist die sogenannte **natürliche Gleichung** der Klothoide.

Abb. 3



**Parameterdarstellung der Klothoide**

In Abb. 3 sind dem Punkt  $X$  die Bogenlänge  $s$  und der Tangentenwinkel  $\alpha(s)$ , dem Punkt  $P$  die Bogenlänge  $L$ , der Tangentenwinkel  $\alpha(L)$  und der Krümmungsradius  $R(L)$  zugeordnet. Wegen (1) und (2) gilt  $k = d\alpha/ds = s/A^2$ , also

$$\int_0^L (d\alpha/ds) \cdot ds = \int_0^L s \cdot ds / A^2,$$

$$\alpha(L) - \alpha(0) = L^2 / 2A^2$$

und nach (3)

(4)  $\alpha(L) = A^2 / 2R^2$ .

Der Tangentenabschnitt  $T(L)$  ist durch

(5)  $T(L) = x_L - y_L \cdot \cot \alpha(L)$

festgelegt. Abb. 3 entnimmt man  $dx = ds \cdot \cos \alpha$ ,  $dy = ds \cdot \sin \alpha$ , also

$$\int_0^L (dx/ds) \cdot ds = \int_0^L \cos \alpha \cdot ds$$

$$x(L) - x(0) = \int_0^L \cos(s^2 / 2A^2) \cdot ds, \quad x(0) = 0.$$

Die analoge Rechnung bzgl.  $y(L)$  ergibt schließlich die Darstellung der Klothoide mittels des Parameters  $L$  (= Bogenlänge)

(6a)  $x(L) = \int_0^L \cos(s^2 / 2A^2) \cdot ds$

(6b)  $y(L) = \int_0^L \sin(s^2 / 2A^2) \cdot ds$ .

Die elementar nicht darstellbaren Integrale tragen den Namen **Fresnelsche Integrale**. Ihre Werte sind entweder Tabellen [5] zu entnehmen oder man erhält sie mit Hilfe der Reihen für die Sinus- und die Cosinusfunktion, der Gleichung

(6)  $L/A = \sqrt{2} \cdot \alpha$

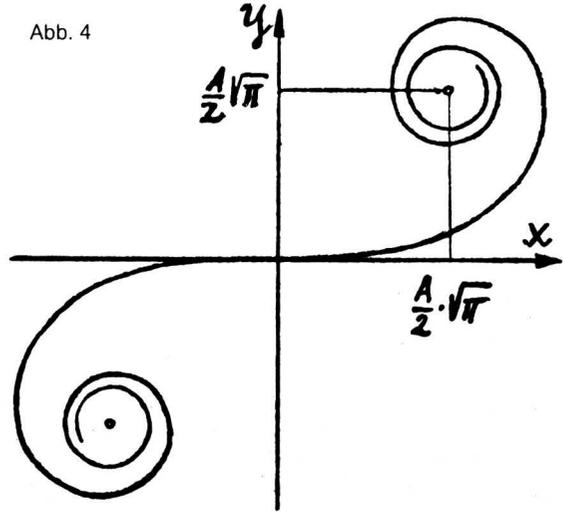
und der Substitution  $s/A = u$ . Ergebnis:

(7a)  $x(L) = A \cdot \sqrt{2\alpha} \cdot (1 - \alpha^2/10 + \alpha^4/216 - \alpha^6/9360 + \dots)$

(7b)

$y(L) = A \cdot \sqrt{2\alpha} \cdot (\alpha/3 - \alpha^3/42 + \alpha^5/1320 - \alpha^7/75600 + \dots)$ ,

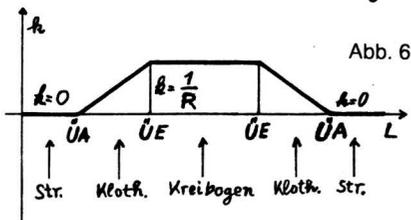
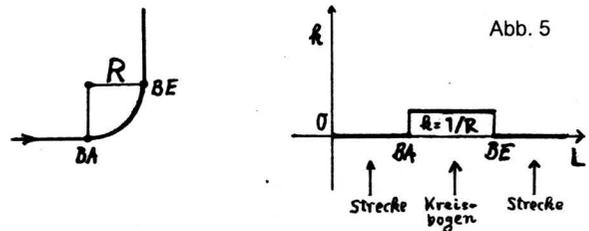
Abb. 4



Die Reihen werden mit Taschenrechnern oder Computer berechnet. Abb. 4 zeigt einen Teil der Klothoide.

**Anwendungen im Straßenbau**

Die Übergangsbögen im Straßenbau sind Klothoidenbögen [3]. Schließt an ein geradliniges Straßenstück unvermittelt ein Kreisbogen an, so entsteht im Schaubild für die Krümmung (Abb. 5) am Bogenanfang (BA) bzw. Bogenende (BE) (Abb. 5, 6) ein Sprung, d. h., das Lenkrad müßte ohne Zeitaufwand von Geradfahrt auf den Einschlagwinkel gemäß der Kreisrümmung gedreht werden. Dies könnte das Fahrzeug aus der Bahn tragen. Legt man aber zwischen Gerade und Kreisbogen einen Klothoidenbogen als Übergangsbogen (s. Abb. 6, ÜA, ÜE = Anfang bzw. Ende des Übergangsbogens), so verschwindet die Sprungstelle im Diagramm, die Krümmung wächst vielmehr linear mit der Bogenlänge von Null auf den Wert der Kreisrümmung am Ende des Übergangsstückes, wenn an dieser Stelle die Krümmungen von Kreis und Klothoide übereinstimmen. Die Berücksichtigung des Umstandes, daß zum Einschlagen eine gewisse Zeit erforderlich ist, erhöht die Verkehrssicherheit.



**Beispiele**

Da in der Praxis des Straßenbaues die Dinge meist ziemlich kompliziert liegen [6], müssen für Unterrichtszwecke Vereinfachungen Platz greifen. Zur Illustration

**Bsp. 1:** Eine S-Kurve besteht aus folgenden Teilstücken:  
 Strecke A<sub>1</sub> (0; 0) B (200; 0), Kloithoide BC (nach unten konvex, A = 400),  
 Kreisbogen CD (nach unten konvex, R = 400, Zentriwinkel  $\varphi_1 = 30^\circ$ ),  
 Kloithoide DE (nach unten konvex, A = 400), Strecke EF = 120,  
 Kloithoide FG (nach unten konkav, A = 400), Kreisbogen GH (nach unten konkav, R = 400, Zentriwinkel  $\varphi_2 = 30^\circ$ ),  
 Kloithoide HI (nach unten konkav, A = 400), Strecke IJ = 200. (Alle Maßzahlen in m).

Man berechne für glatte Übergangsstellen die Länge des S-Bogens A<sub>1</sub>BCDEFGHIJ und die Koordinaten des Punktes I! Ebenso ist eine Zeichnung im Maßstab 1:10.000 anzufertigen. (S. Abb. 7.)

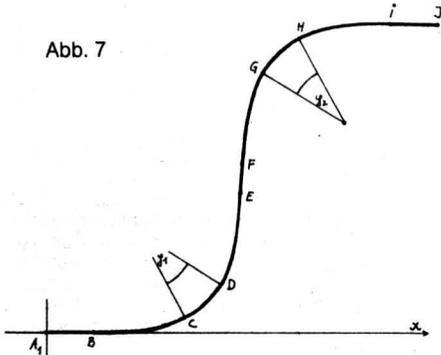


Abb. 7

**Lösung:** Alle vier Übergangsbögen sind gleich lang. Die Länge eines Bogens ergibt sich aus (6), sie beträgt 400 m. Die anderen Längen stehen von Haus aus fest. Somit beträgt die Länge der S-Kurve insgesamt 2540 m.

Die Koordinaten von C folgen aus den Reihenentwicklungen (7a, b)

$$C(590; 65,5)$$

Die Kloithoidentangenten in C, D, G, H sind zum Zeichnen vorteilhaft. Sie erhält man aus (4).

**Bsp. 2:** Die Kloithoide A<sub>1</sub>B, A<sub>1</sub>(-70; 0), berührt die x-Achse in A<sub>1</sub>. B liegt im I. Quadranten, der Neigungswinkel der Tangente in B ist 30°. In B schließt ein Kreisbogen mit dem Zentriwinkel  $\varphi = 30^\circ$  an. Der Vergrößerungsfaktor für die Kloithoide ist  $A = 100\pi/2$ . (Maße in m, Übergang in B glatt, s. Abb. 8). Man berechne die Koordinaten von C und die Länge des Straßenstückes A<sub>1</sub>BC und fertige eine Zeichnung im Maßstab 1:2500 an!

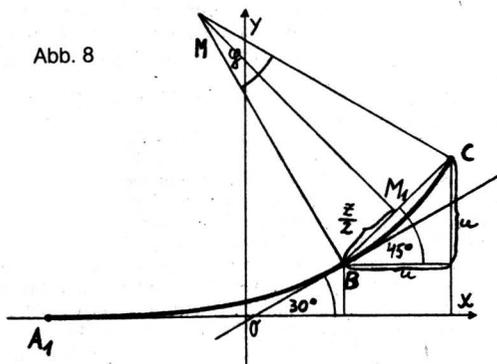


Abb. 8

**Lösung:** Die Koordinaten von B ergeben sich nach Verschieben des Koordinatenursprungs nach A<sub>1</sub> mit Hilfe von (7a, b) zu **B = (34,3; 18,3)**.

Der Krümmungsradius in B lautet nach (4)  $R = 102,3$ , er stimmt mit dem Radius des anschließenden Kreisbogens überein. Wegen  $z = 2R \cdot \sin 15^\circ$  und  $u = z/\sqrt{2}$  ergeben sich für C die Koordinaten  $x_C = 34,3 + u$ ,  $y_C = 18,3 + u$ , also **C(71,7; 55,8)**.

Das gesamte Straßenstück ist 161 m lang.

**Literatur:**

- 1) Bauersfeld, H.: 4. Kärntner Symposium f. Didaktik der Mathematik: Ergebnisse und Probleme von Mikroanalysen des mathematischen Unterrichtes.
- 2) Firneis, F. J., Atzwanger, P. J.: Bestimmung von Schleppkurven für beliebige Leitkurven mittels numerischer Integration, Öst. Akad. d. Wiss., Inst. f. Informationsverarbeitung, Wien.
- 3) Heeb, Gerstbauer: Straßenbau, Teubner 1963.
- 4) Kasper, Schürba, Lorenz: Die Kloithoide als Trassierungselement, Dümmler, Bonn.
- 5) Jahnke, Emde, Lösch: Tafeln höherer Funktionen, Teubner Stuttgart 1966.
- 6) Wehner, B., Siedek, P., Schulze, K. H.: Handbuch des Straßenbaues, Bd. 1, Springer, Berlin 1979.

## Das Primzahlenpolynom

Vor einigen Jahren erfuhr man, daß es gelungen war, auf Grund logischer Verfahren ein Polynom P zu konstruieren, dessen **positive Werte** bei der Belegung seiner 26 Variablen mit ganzen rationalen Zahlen durchwegs Primzahlencharakter haben. Da das Alphabet zufällig ebenfalls 26 Buchstaben umfaßt, ist es zweckmäßig, die Variablen mit den Buchstaben a, b, c, ... x, y, z zu bezeichnen. In der Annahme, daß ein solches Polynom auf Interesse stößt, geben wir es nachstehend unseren Lesern bekannt. Es lautet:

$$P(a, b, c, \dots x, y, z) = (k+2) \cdot \{1 - (wz+h+j-q)^2 - (2n+p+q+z-e)^2 - (a^2y^2-y^2+1-x^2)^2 - [e^4+2e^3 \cdot (a+1)^2 - o^2]^2 - [16(k+1)^3 \cdot (k+2) \cdot (n+1)^2 + 1 - f^2]^2 - <[(a+u^4-u^2a^2)-1] \cdot (n+4dy)^2 + 1 - (x+cu)^2 >^2 - (ai+k+1-i)^2 - [(gk+2g+k+1) \cdot (h+i) + h-z]^2 - [16r^4(a^2-1) + 1 - u^2]^2 - [p-m+(a-n-1)+b(2an+2a-n^2-2n-2)]^2 - [z-pm+pla-p^2+t(2ap-p^2-1)]^2 - [q-x+y(a-p-1)+s(2ap+2a-p^2-2p-2)]^2 - (a^2i^2-l^2+1-m^2-(n+1+v)^2)^2\}$$

P gibt allerdings nicht die Primzahlen in ihrer natürlichen Ordnung wieder. Wegen des ersten Faktors (k+2) erhält man nur für zwei Arten der Belegung der Variablen positive Polynomwerte, also Primzahlen:

- a) Jeder Klammersausdruck innerhalb der geschwungenen Klammer nimmt den Wert 0 an. Dann ist k+2 eine Primzahl.
- b) Treten innerhalb der geschwungenen Klammer von Null verschiedene Klammerwerte auf, dann ist der Wert der geschwungenen Klammer negativ. Für k = -3 muß er eine negative Primzahl, für k < -3 muß er -1 sein. Dementsprechend ist dann der Betrag der geschwungenen Klammer eine Primzahl bzw. k+2 eine negative Primzahl.

Das Primzahlenpolynom ist für die praktische Berechnung von Primzahlen ziemlich wertlos. Auch ein leistungsfähiger Rechenautomat müßte sehr, sehr oft die 26 Variablen belegen, ehe er auf einen positiven P-Wert trifft. Gar nicht zu reden vom gezielten Einsatz.

Die Bedeutung des Polynoms ist vielmehr theoretischer Art, weil damit nachgewiesen wurde, daß derartige Polynome sehr wohl existieren.

**LITERATUR:**

Math. Miniaturen, Bd. 1, Lebendige Zahlen, Birkhäuserverlag Basel-Boston-Stuttgart 1981.

## Kopfrechnen in der Unterstufe

Trotz allen elektronischen Rechenhilfen, die heute zur Verfügung stehen, ist die Fähigkeit, gewisse Rechnungen rasch und richtig im Kopf auszuführen, in vielen Lebenslagen von großer praktischer Bedeutung. Deshalb hat die Schule nach wie vor die Aufgabe, diese Fähigkeit zu entwickeln und zu verankern. Geschieht das in trockener, bezugsloser Art, dann entstehen Widerwillen und meist nur oberflächlich gefestigte Fertigkeiten. Viel mehr bleibt viel besser haften, wenn die Übung des Kopfrechnens in einer Weise durchgeführt wird, die den Jugendlichen gar nicht merken läßt, daß er eigentlich übt. Jugendliche Neugier, Empfänglichkeit und Wettbewerbsfreude sind die Zugpferde für das - mitunter sogar spielerische - Erwerben von numerischer Routine.

In der Unterstufe gibt es genug Gelegenheiten für einen „gutartig“ getarnten Übungsbetrieb, von dessen Organisationsform nachstehend einige Proben vorgelegt sowie zur Nachahmung empfohlen werden.

Besonders ertragreich sind die Primzahlen, denen die Schüler bei den Problemkreisen Teilbarkeit, ggT, kgV, Kürzen, Erweitern schon in der zweiten Klasse begegnen. Versteht es der Lehrer, den eigenartigen Reiz dieser mathematischen Objekte

empfinden zu lassen, so hat er den Acker gut bestellt, auf dem die Früchte der ausgestreuten numerischen Saat reifen.

Damit die jungen Leute für Primzahlen sensibilisiert werden, empfiehlt es sich, vorerst einige interesseweckende Tatsachen mitzuteilen. Bemerkungen über Primzahlwillige, über das Seltenerwerden der Primzahlen beim Fortschreiten in der Folge der natürlichen Zahlen u. ä. können brauchbare Wettbewerbssituationen schaffen, deren Ziele auf möglichst freiwilliger Basis angestrebt werden sollen. Etwa: Wer kann bis zur nächsten Stunde eine möglichst große Primzahl, einen Zwilling mit möglichst großen Partnern mitteilen? Es schadet gar nichts, wenn die halbe Verwandtschaft mobilisiert wird, gerade dadurch verankert sich der Begriff Primzahl 1000mal nachhaltiger als durch das bloße Auswendiglernen der Definition!

Daß die Zahlen

$$7, 37, 337, 3337, 33337 \text{ und } 333337$$

prim sind, darf nicht dazu verleiten zu glauben, das ginge unbeschränkt so weiter! Die Folge weckt sicher manches Interesse, sie läßt im Unterricht für das dritte Folglied die Primzahleigenschaft mittels Kopfrechnung bestätigen. Daß jedoch dem 7. Glied

$$3333337 = 7 \cdot 31 \cdot 15361$$

diese Eigenschaft abgeht, mahnt zur Vorsicht vor Verallgemeinerungen und ist angesichts des Teilers 7 leicht zu überprüfen.

Die größte Primzahl mit lauter verschiedenen Ziffern, nämlich 987 653 201

dürfte einen gewissen Eindruck kaum verfehlen.

Die zwei kleinsten vollkommenen Zahlen sind  $6 = 1 + 2 + 3$  und  $28 = 1 + 2 + 4 + 7 + 14$ . Nach der Erklärung, daß eine **natürliche Zahl N vollkommen** heißt, wenn sie gleich der Summe aller ihrer Teiler (mit Ausnahme des Teilers N selbst) ist, kann der Lehrer zur Suche nach solchen Zahlen im Abschnitt [1, 100] anregen. Die Überprüfung von den nächst größeren vollkommenen Zahlen 496, 8128 ist im Rahmen der Faktorentzerlegung im Unterricht ohne weiteres durchführbar.

Daß die abkürzende Schreibweise  $n!$  für das Produkt  $1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n$  praktisch ist, leuchtet schon in den untersten Schulstufen ein. Die Werte  $1!, 2!, 3!, \dots 7! = 5040$  sind leicht im Kopf zu bestimmen. Hinweise auf das starke Wachstum der Faktoriellen gibt Anreiz zur Berechnung von  $8!, 9!, \dots$  im Heft oder an der Tafel mit gleichzeitiger unbewußter Übung des Einmaleins. Außerdem lernt der Schüler einen zweckmäßigen Begriff sozusagen im Vorbeigehen kennen, den er später brauchen kann. Eine Motivation zu selbständigem Arbeiten geht von der Folge

$$\begin{aligned} 3! - 2! + 1! &= 5, \\ 4! - 3! + 2! - 1! &= 19, \\ 5! - 4! + 3! - 2! + 1! &= 101, \end{aligned}$$

aus, sobald festgestellt ist, daß die Summen 5, 19, 101, 619, 4421, 35899 lauter Primzahlen sind, wovon sich die Schüler bis zur Summe 4421 ohne Aufwand überzeugen können. Für 35899 ist das zu langwierig, weil alle Primzahlen bis 181 durchprobiert werden müßten. Daß das nicht so weitergeht, erkennt man an der nächsten Summe, denn

$$9! - 8! + \dots - 1! = 326981 = 79 \cdot 4139.$$

Auch in der Folge

$$\begin{aligned} 2 + 1 &= 3, \\ 2 \cdot 3 + 1 &= 7, \\ 2 \cdot 3 \cdot 5 + 1 &= 31, \\ 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 + 1 &= 211, \\ 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 + 1 &= 2311 \end{aligned}$$

sind die Summen durchwegs prim, nicht jedoch das nächste Glied

$$2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 + 1 = 30031 = 59 \cdot 509.$$

Ein bekanntes Beispiel zur Warnung vor ungerechtfertigten Verallgemeinerungen ist das Polynom

$$P(x) = x^2 + x + 41.$$

Die Substitution der Zahlen 1, 2, 3, ..., 40 liefert lauter Primzahlwerte. Das geht ersichtlicher Weise nicht so fort, weil man für  $n = 41$

$$P(41) = 41^2 + 41 + 41,$$

also eine durch 41 teilbare Zahl erhält. Das möge der Lehrer zuerst für sich behalten, denn die didaktisch ertragreichere Präsentation in der Form

$$\begin{aligned} 41 \text{ prim,} \\ 41 + 2 &= 43, \text{ prim,} \\ 43 + 4 &= 47, \text{ prim,} \\ 47 + 6 &= 53, \text{ prim,} \\ 53 + 8 &= 61, \text{ prim,} \end{aligned}$$

regt an zu überprüfen, ob nicht doch einmal eine zusammengesetzte Zahl erscheint. Das tritt, wie aus Obigem hervorgeht, bei

der Addition von 80 prompt ein, und man kann sich vorstellen, mit welchem Triumph dieses Ergebnis eigener „Forschung“ mitgeteilt wird! Eine gute Möglichkeit, ausgiebiges, eigenständiges Kopfrechnen zu veranlassen. Damit die Sache auch ein wenig interessant wird, kann nebenbei gesagt werden, daß im Abschnitt [2, 1023] nur die Primzahlen  $p \in \{2, 3, 5, 7, 11, 37, 379, 1019, 1021\}$  für den Ausdruck

$$(2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot \dots \cdot p) + 1$$

ebenfalls eine Primzahl ergeben.

Eine der ergiebigsten und für die Jugendlichen lustigsten Anregungen zu verbissenen Bemühungen, eine Vermutung zu widerlegen, bietet ein Zahlenspiel, bei dem ununterbrochen im Kopf gerechnet werden muß, wenn es flott abgewickelt werden soll.

**Die Spielregeln:** Man wählt eine natürliche Zahl  $n$ . Ist sie gerade, so wird sie halbiert, ist sie ungerade, wird zu ihrem Dreifachen 1 addiert. Die derart aus  $n$  hervorgegangene Nachfolgezahl ist also entweder  $n/2$  oder  $3n + 1$ . Mit ihr wird in gleicher Weise verfahren und so fort, bis sich die Nachfolgezahlen periodisch wiederholen. Als Beispiel:

$$\begin{aligned} n = 7. \quad 1. \text{ Nachfolger ist } 3 \cdot 7 + 1 &= 22, \\ 2. \text{ Nachfolger ist } 22/2 &= 11, \\ 3. \text{ Nachfolger ist } 3 \cdot 11 + 1 &= 34, \\ \text{die weiteren Nachfolger sind } 17, 52, 26, 13, 40, 20, \\ &10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, \dots \end{aligned}$$

Nun die Herausforderung an die Schüler: „Kann vielleicht jemand ein Beispiel ohne Periodizität ausfindig machen?“

Das Fortschreiten von Glied zu Glied ist im Kopf zu bewältigen, solange man kleine Ausgangszahlen verwendet. Statt in den letzten 5 oder 10 Minuten der Schulstunde das  $1 \times 1$  zu üben, ist es unterhaltsamer und mindestens ebenso wirkungsvoll, zu einer kleinen Zahl von Schüler zu Schüler die jeweilige Nachfolgezahl nennen zu lassen.

Die Suche kann auch innerhalb der Klasse organisiert werden. Jemand beginnt mit einer Zahl – etwa 11 –, bildet die Folge, ein anderer streicht in der vorbereiteten Liste der natürlichen Zahlen von 1 bis, sagen wir, 200 der Reihe nach die erscheinenden Glieder der Folge. Die stehen gebliebenen Zahlen werden als Anfangswerte an die restlichen Schüler verteilt mit der Auflage, die daraus hervorgehenden Folgen zu bilden, bis 4, 2, 1 erscheinen. Sobald auf eine schon früher aufgetretene Zahl gestoßen wird, ist natürlich die Folge abzubrechen. Wie weit man das Spiel fortsetzt, hängt von vielen Umständen ab, Übertreibungen sind natürlich auch dabei – wie überall – schädlich.

Abschließend darf aber der Lehrer nicht auf die Mitteilung verzichten, daß auch bei den stattgehabten intensiven Computereinsätzen noch immer die Periode 4, 2, 1 das Verfahren zum Abschluß brachte. Der Beweis, daß dies für jede natürliche Anfangszahl so sei, ist noch niemand geglückt, also nur eine Vermutung.

Eine andere Aktivierung der Wettbewerbsfreude zum höheren Nutzen des Kopfrechnens fußt auf der Goldbachschen Vermutung, daß jede gerade natürliche Zahl außer 2 als Summe zweier Primzahlen darstellbar wäre. Man kann einmal zur Überprüfung des Sachverhaltes bei den ersten 50 oder 100 geraden Zahlen schreiten. Dann Stichproben bei größeren Zahlen vornehmen. Schließlich die Aufforderung, gerade Zahlen ausfindig zu machen, die auf möglichst viele verschiedene Arten als Summe zweier Primzahlen darstellbar sind. Zum Beispiel:

$$20 = 3 + 17 = 7 + 13, \quad 40 = 3 + 37 = 11 + 29 = 17 + 23.$$

Mit besonderem Stolz wird sich jenes Kind melden, das die 9 Arten für 90 gefunden hat:

$$\begin{aligned} 90 &= 7 + 83 = 11 + 79 = 17 + 73 = 19 + 71 = 23 + 67 \\ &= 29 + 61 = 31 + 59 = 37 + 53 = 43 + 47. \end{aligned}$$

Der Lehrer hat auch eine Möglichkeit, die Schüler sehr zu überraschen und im Gefolge eifriges rechnerisches Erproben der Behauptung zu veranlassen. Er schreibt **unauffällig** irgendwo die Zahl 6174 auf (Rückseite der Tafel, vorbereitetes Papier). Dann läßt er sich irgendeine vierstellige natürliche Zahl  $Z$  nennen, fordert dazu auf, die größtmögliche ( $M$ ) sowie die kleinstmögliche ( $m$ ) mit  $Z$  gleichziffrige Zahl im Heft zu notieren und die Differenz  $D = M - m$  zu berechnen. Wenn es der Zufall will, lautet  $D$  sofort 6174. Ist das noch nicht der Fall, wird dasselbe Verfahren nun auf  $D$  angewandt und so fort, bis 6174 erscheint. (Das muß, wie ein indischer Mathematiker bewiesen hat, längstens beim 7. Schritt eintreten.) Sobald 6174 herauskommt, wird die vorher vom Lehrer angeschriebene Zahl 6174 vorgewiesen. Die Überraschung ist perfekt, und danach wird eifrig geprüft, ob denn das auch wirklich stets eintritt. Die Sache funktioniert nur bei den Zahlen 1000, 2111, ..., 9888 nicht. Doch ist die Wahrscheinlichkeit für die Wahl eines dieser  $Z$ -Werte gering, sie können aber auch von Haus aus ausgeschlossen werden.

**Beispiel 1:**

Z = 8352, M = 8532  
 m = 2358  
 D = 6174

**Beispiel 2:**

Z = 3860,	M <sub>1</sub> = 8630	M <sub>2</sub> = 8622	M <sub>3</sub> = 6543
	-m <sub>1</sub> = -0368	-m <sub>2</sub> = -2268	-m <sub>3</sub> = -3456
	D <sub>1</sub> = 8262	D <sub>2</sub> = 6354	D <sub>3</sub> = 3087
	M <sub>4</sub> = 8730	M <sub>5</sub> = 8532	
	-m <sub>4</sub> = -0378	-m <sub>5</sub> = -2358	
	D <sub>4</sub> = 8352	D <sub>5</sub> = 6174	

Sämtliche der vorgeschlagenen Rechnungen bedürfen nur der elementarsten Kenntnisse, die schon in den niedrigsten Schulstufen vorhanden sind. Walter Kranzer

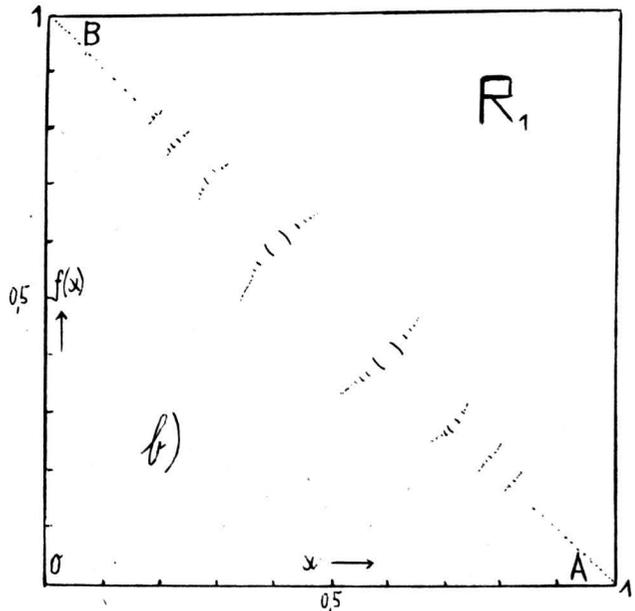
# Wozu „verrückte“ Funktionen gut sein können

Eine erkleckliche Anzahl von Menschen hält nur dann etwas von einer Forschung und ihren Ergebnissen, wenn sich diese in irgendeiner Weise als nützlich erweisen. Nun ist man in jeder Wissenschaft müheelos imstande, Sachverhalte zu nennen, die durchaus sogenannte „praktische“ Bedeutung haben, eine Bedeutung, die aber nur über sehr komplexe Zusammenhänge zu erkennen ist, weil diese dem Fernstehenden nicht verständlich gemacht werden kann. Das ist bedauerlich. Geht es jedoch überdies um Forschungsvorhaben, deren Auswirkungen noch niemand kennt, die aber Kosten verursachen, dann könnten infolge fehlenden Vertrauens in die Sinnhaftigkeit der Tätigkeit Geldgeber, Bewilliger usw. veranlaßt sein, das Projekt, den Anlagenbau oder anderes nicht zu unterstützen.

Deshalb ist es nötig, von Zeit zu Zeit an einem konkreten Beispiel aufzuzeigen, daß dem Anschein nach wertlose theoretische „Spielereien“ in Wahrheit höchst anwendungsorientierte Betätigungen des Menschengenies sein können. So ist etwa daran zu erinnern, daß die Theorie der hyperkomplexen Zahlen die Entdeckung der Positronen und weiter der Antimaterie ermöglicht und deren weiterverzweigte Anwendung auf allen Gebieten der Nukleartechnik bewirkt hat. Es sollte das Anliegen jedes Lehrers eines formal- oder naturwissenschaftlichen Faches sein, diesen Aspekt der Jugend klarzumachen.

Wir wollen nun ein Beispiel aus der Mathematik – sie begegnet häufig in obigem Sinne ausgeprägter Skepsis – vorstellen, das dem Laien eher als pathologische Ausgeburt abwegigen Denkens denn als sinnvoller Dienst an der Lösung rein technisch-wissenschaftlicher Probleme erscheint.

Die Funktion  $x \rightarrow f(x)$ , von der nun gesprochen werden soll, ist – am besten an Hand ihres Graphen – rekursiv erklärt. Das Intervall  $[0, 1]$  fungiert sowohl als Definitions- als auch als Bildbereich. Der Graph liegt somit im Einheitsquadrat. Vom Mittelpunkt M der Hauptdiagonale ist diese nach den Eckpunkten A, B hin so unterteilt, daß die Längen der dadurch entstandenen



Strecken eine geometrische Folge mit dem Häufungspunkt A bzw. B bilden (siehe Abb. a). Die einzelnen Strecken sind selbst Hauptdiagonalen eines Quadrates. Den Quadraten sind überdies noch Kreisbogen eingezeichnet, so daß die in Abb. a angedeutete Figur entsteht. Wir wollen sie nach Tilgung aller Strecken als Rahmenfigur R<sub>0</sub> bezeichnen. In R<sub>0</sub> sind also nur noch unendlich viele Kreisbogen vorhanden.

Der nächste Schritt besteht darin, daß man jeden Bogen von R<sub>0</sub> in gleicher Weise behandelt, wie dies mit den Strecken der Hauptdiagonale anfänglich geschehen ist. Dann tilgt man die Bögen aus R<sub>0</sub> und erhält die Figur R<sub>1</sub>. In R<sub>1</sub> haben die Kreisbögen die Richtung der „gekrümmten“ Nebendiagonalen der Ausgangsquadrate von R<sub>0</sub>. Man erhält R<sub>2</sub> durch Anwendung des beim Übergang R<sub>0</sub> → R<sub>1</sub> geübten Verfahrens, analog R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, ... ad infinitum. Abb. b zeigt einen winzigen Ausschnitt aus R<sub>1</sub>. Das in diesem Prozeß erzeugte Grenzgebilde R ist der Graph der Funktion  $x \rightarrow f(x)$ . Er hat die Eigenschaft, daß jeder in ein Quadrat gebettet zu denkende Teil ein bijektives Bild von R ist. (Ähnliches ist ja auch beim von Kochschen Gebilde der Fall.)

Jedermann wird den Eindruck gewinnen, daß R nicht mehr als eine reine mathematische Spielerei ist. Aber das stimmt ganz und gar nicht! R ist nämlich der Vertreter einer Graphenklasse, die durch übereinstimmende rekursive, aber kompliziertere Konstruktionsverfahren definiert ist. Unter diesen Graphen ist auch einer mit quantenmechanischer, also physikalischer Bedeutung. Seine Erklärung und bildliche Darstellung werde unterlassen, weil das zu weit führen und den Kern der Aussage, nämlich die „praktische“ Bedeutung, in den Hintergrund rücken würde.

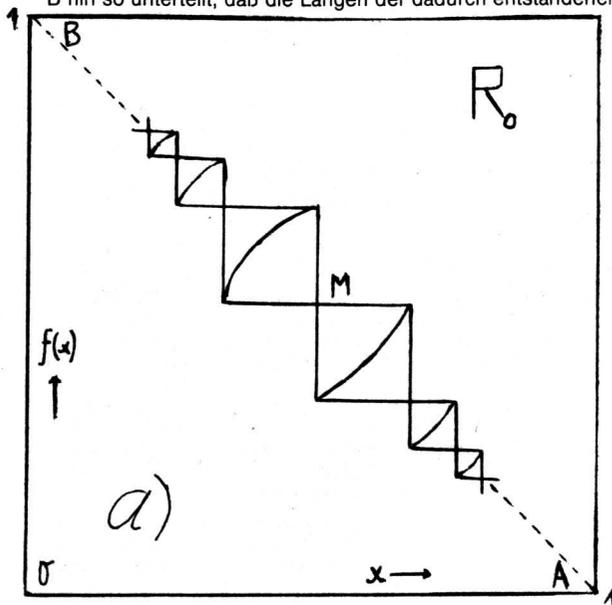
Für den Halbleiter-Physiker, allgemeiner für den Festkörper-Physiker, ist es wichtig, das Verhalten eines Elektrons in fehlerlosen Kristallen zu kennen, die in ein homogenes Magnetfeld eingebettet sind. Da gibt es sogenannte **erlaubte** und **verbotene Energiebereiche** (Energiebänder). Das Elektron führt sowohl in einem perfekten Kristall als auch in einem homogenen Magnetfeld eine periodische Bewegung aus. Die Frage, wie es sich in einem Milieu verhält, das kristallisch und magnetisch durchdrungen ist, wird durch die zuletzt angedeutete Funktion beschrieben. Aus ihr erfährt man die dem Elektron versagten Energiebänder. Die Variable x ist der entscheidende Parameter, nämlich das Periodenverhältnis der Bewegung im Kristall ohne Magnetfeld und im Magnetfeld außerhalb eines Kristalls. Die Funktion gibt für jeden x-Wert zwischen 0 und 1 die erwünschte Auskunft. Angesichts der überragenden Rolle, die heute die Elektronik, weitgehend auf den Halbleitereigenschaften basierend, spielt, darf niemand mehr unseren Graphen und damit „seine“ Funktion als sinnloses Spiel denunzieren!

Rein mathematisch gesehen, gelangt man auch über unendliche Kettenbruchentwicklungen zu derartigen Funktionen.

Noch eine Nebenbemerkung zu unserer erstbesprochenen Funktion. Sie hat die „pathologische“ Eigenschaft, für rationale Argumentwerte unstetig, für irrationale Werte stetig zu sein. Die Unstetigkeitsstellen sind endliche Sprungstellen.

**LITERATUR:**

D. R. Hofstadter, Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid, Vintage books edition, 1980, S. 138 ff.



# Aufgabenecke

Wilhelm Körperth

## Aufgabe Nr. 6.:

Es sei  $n$  eine natürliche Zahl.

Man beweise, daß für alle natürliche Zahlen  $p$  die Summe

$$S_p = \sum_{k=1}^n \left( \sec \frac{2k\pi}{2n+1} \right)^p$$

ganzzahlig ist.

(Mag. Walther Janous, Innsbruck)

Um Zusendungen der Lösungen von Aufgabe Nr. 6 an den Bearbeiter der Aufgabenecke, Herrn **OStR. Wilhelm Körperth**, 1070 Wien, Neustiftgasse 111/14 bis 1. November 1985 wird gebeten. Die Namen der Zusender richtiger Lösungen werden samt Lösungsandeutungen in Nr. 71, April 1986, der wiss. Nachrichten erscheinen.

## Lösungen von 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  $g$ , 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)

Einsender von richtigen Lösungen: Dr. Herbert HAMETNER, BGfB, Linz; Mag. Walter HOFMANN, TGM, Wien; O. Univ.-Prof. Dr. Karl PRACHAR, Wien; OStR. Mag. Dr. Johanna TIBAUDO, BORG, Innsbruck.

### 1. Lösung (Tibaudo):

Bezeichnungen:  $\overline{AB} = a_1, \overline{BC} = a_2, \overline{A_1B_1} = b_1, \overline{B_1C_1} = b_2, \overline{OA_1} = c, \overline{OO'} \perp g, \overline{O'A} = d, \overline{O'O} = e, \sphericalangle(g, g_1) = \delta$ .

Gesucht: Drehung um  $O$  mit Drehwinkel  $\varphi$ , die  $g_1$  in  $g_1'$  überführt, so daß die Punkte  $(A, B, C)$  und  $(A_1, B_1, C_1)$  perspektivisch liegen.  $\varphi = \varepsilon - \delta, \varepsilon = \sphericalangle(g, g_1'), g_1' \cap g = \{S\}$ .

Für den trivialen Fall  $a_1 : a_2 = b_1 : b_2 \Leftrightarrow a_2 b_1 - a_1 b_2 = 0$  existieren die zwei Lösungen  $\varphi_1 = -\delta, \varphi_2 = 180^\circ - \delta$ . Die Bildgerade  $g_1'$  (bzw.  $g_1''$ ) ist parallel zu  $g$ .

Für das folgende kann daher  $\Delta = a_2 b_1 - a_1 b_2 \neq 0$  vorausgesetzt werden.

Aus der Gleichheit der Doppelverhältnisse  $(S', A, B, C)$  und  $(S', A_1, B_1, C_1)$  folgt mit  $u = S'A, v = S'A_1$ :

$$u \cdot v - Av + Bu = 0 \quad (1)$$

$$A = a_1 b_2 (a_1 + a_2) / \Delta, B = a_2 b_1 (b_1 + b_2) / \Delta$$

Nach dem pythagoräischen Lehrsatz ergibt sich:

$$(u - d)^2 + e^2 = (v - c)^2 \quad (2)$$

Eliminiert man  $v$  aus (1) und setzt in (2) ein, so ergibt die Substitution  $z = u - A$  die Gleichung

$$z^4 + 2Dz^3 + (D^2 + e^2 - C^2)z^2 - 2ECz - E^2 = 0 \quad (3)$$

mit  $C = B + c, D = A - d, A \cdot B = E$ .

Da das konstante Glied von (3) stets negativ ist, hat die Gleichung (3) mindestens zwei reelle Lösungen  $z_1, z_2$ , die entgegengesetzte Vorzeichen haben. Aus diesen Lösungen ergeben sich nach  $\tan \varepsilon = e / (u - d)$  die Drehwinkel  $\varphi_1, \varphi_2$ .

Hat (3) vier reelle Lösungen, so existieren vier Drehwinkel.

Zahlenbeispiel für zwei Lösungen:  $a_1 = 2, a_2 = 3, b_1 = \sqrt{2}, b_2 = \sqrt{2}, d = 1, e = 4, c = 2\sqrt{2}, \delta = 15^\circ$  (irrelevant).

$$z^4 + 18z^3 - 31z^2 - 1920z - 7200 = 0; z_1 = -5, z_2 = 10,21135705;$$

$$\varphi_1 = 30^\circ, \varphi_2 \approx 176,7615258^\circ.$$

Zahlenbeispiel für vier Lösungen:  $a_1 = 18, a_2 = 12, b_1 = 10, b_2 = 5/2, d = 2, e = 3, c = 5, (\delta = 30^\circ)$ .

$$\varphi_1 \approx 6,87^\circ; \varphi_2 \approx 247,25^\circ; \varphi_3 \approx 154,30^\circ; \varphi_4 \approx 315,44^\circ.$$

Bemerkungen:

(1) Die zwei (bzw. vier) Zentren und  $O$  sind kollinear. Die Rechnung führt zu

$$\overline{O'A} = a_1 b_0 b_2 (a_1 + a_2) / [a_2 b_1 (b_0 + b_1 + b_2) - a_1 b_0 b_2].$$

(2) Das Gleichungssystem (1), (2) kann auch konstruktiv gelöst werden. Die Gleichung (1) ist nach  $(u - A)(v + B) = -AB$  die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel durch den Koordinatenursprung mit dem Mittelpunkt  $M(A/2, -B/2)$ . Die Gleichung (2) ist ebenfalls die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel. Beide Hyperbeln schneiden einander in zwei oder vier reellen Punkten.

## 2. Lösung (Hametner):

Bezeichnungen:  $g = x$ -Achse,  $A(r|0), B(0|0), C(t|0); g \cap g_1 = \{S\}, \sphericalangle(g, g_1) = \varphi$ . Der Drehpunkt  $O$  sei durch Polarkoordinaten  $d = OB$  und  $\psi$  festgelegt.  $a, b, c$  bedeuten die (bei der Drehung festbleibenden) Abstände der Punkte  $A, B_1, C_1$  vom Drehpunkt  $O$ .

Gesucht: Drehwinkel  $\varphi = \sphericalangle(g_1, x$ -Achse) so daß  $AA_1, BB_1, CC_1$  einander in einem Punkt  $Z$  schneiden.

Das Gleichsetzen der Doppelverhältnisse  $(S, A, B, C)$  und  $(S, A_1, B_1, C_1)$  ergibt die Gleichung zur Berechnung des Drehwinkels:

$$f(\varphi) \cdot g(\varphi) = r \cdot t \cdot (a - c) / d \quad (4)$$

$$f(\varphi) = \sin(\psi - \varphi) / \sin \varphi, g(\varphi) = P / Q$$

$$P = d \cdot \sin \psi \cdot [r(c - b) + t(b - a)] + \sin \varphi \cdot [ar(c - b) + ct(b - a)]$$

$$Q = d \cdot \sin \varphi + b \cdot \sin \varphi$$

Im nicht trivialen Fall  $r(c - b) + t(b - a) \neq 0$  kann man mit Hilfe des Zwischenwertsatzes für stetige Funktionen beweisen, daß die Gleichung (4) mindestens eine Lösung hat.

## 3. Lösung (Hofmann):

In der Projektivität der beiden Punktreihen soll dem Punkt  $O = P_1$  auf  $g_1$  der Punkt  $P$  auf  $g$  entsprechen, den Fernpunkten  $U$  von  $g$  und  $V_1$  von  $g_1$  sollen die Punkte  $U_1$  auf  $g_1$  bzw.  $V$  auf  $g$  zugeordnet sein.

Die Punkte  $P, U_1$  und  $V$  können mit Hilfe der Projektivitätsachse konstruiert werden.

Wir nehmen an, daß die Aufgabe bereits gelöst ist, daß also die Geraden  $AA_1, BB_1, CC_1$  und daher auch die Geraden  $PP_1, UU_1, VV_1$  durch einen Punkt gehen.

Die Entfernung der Punkte  $P, P_1$  soll eine Längeneinheit betragen, der feste Winkel zwischen  $PP_1$  und  $g$  wird mit  $\gamma$  bezeichnet.

Setzt man  $\overline{PV} = v, \overline{P_1U_1} = u_1$ , so erhält man für  $\overline{P_1Z} = x$  aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $VPZ$  und  $U_1ZP_1$  mit Hilfe des Kosinussatzes die Gleichung:

$$x^4 - 2x^3(1 - v \cdot \cos \gamma) + x^2(1 + v^2 - 2v \cdot \cos \gamma - u_1^2) + 2xu_1^2 - u_1^4 = 0 \quad (5)$$

Wegen des negativen konstanten Gliedes von (5) hat diese Gleichung zwei oder vier reelle Lösungen.

Das kann auch mit Hilfe einer räumlichen Deutung bewiesen werden.

## 4. Lösung (Prachar):

Sei  $D$  der (variable) Schnittpunkt von  $g$  und  $g_1$ . Das Doppelverhältnis  $(A, B, C, D)$  strebt für  $D \rightarrow A$  nach  $+\infty$  oder  $-\infty$ , je nachdem, von welcher Seite sich  $D$  dem Punkt  $A$  nähert. Die Differenz  $(A, B, C, D) - (A_1, B_1, C_1, D)$  ist also sehr groß positiv bzw. negativ, wenn  $D$  von der einen bzw. anderen Seite sehr nahe an  $A$  heranrückt. Läßt man  $D$  von der einen Seite von  $A$  aus über das Unendliche sich auf die andere Seite von  $A$  bewegen, so muß für eine passende Lage von  $D$  die Gleichheit der Doppelverhältnisse  $(A, B, C, D)$  und  $(A_1, B_1, C_1, D)$  gelten. Dann sind die beiden Punktreihen in perspektiver Lage.

Bemerkung: Die obige Lösung ist auch brauchbar, wenn man verlangt, daß  $g_1$  einen beliebigen einparametrischen Bewegungsvorgang ausführen soll, wie z. B. Gleiten längs einer gegebenen Kurve oder Abrollen auf einer solchen Kurve.

# PHYSIK, ASTRONOMIE

Dr. Walter Kranzer

## Strahlenbelastung durch natürliche Radioaktivität

Die leider sehr emotionsgeladene Diskussion über die friedliche Nutzung der Kernenergie ließ es der Redaktion angemessen erscheinen, das **Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK)** persönlich zu besuchen, um über die Ergebnisse der in dieser Großforschungsanlage angestellten Untersuchungen direkte Informationen einzuholen und an die Leser der „Wiss. Nachr.“ weiterzugeben. Aus Platzgründen kann dies nicht en bloc, sondern nur in Teilberichten geschehen. Nachstehend der erste.

Die natürliche Radioaktivität (RA), der die Bewohner der Erde ausgesetzt sind, wird aus drei Quellen genährt.

1. **Primordiale RA.** Sie stammt von Nukliden mit Halbwertszeiten, die mit dem Alter des Sonnensystems (4,6 Mrd. Jahre) vergleichbar und deshalb noch immer in merklichen Mengen vorhanden sind.

2. Beim Zerfall der primordialen Radionuklide entstehen instabile **Folgeglieder**, die in den drei bekannten Zerfallsreihen zusammengefaßt sind. (Die vierte natürliche Zerfallsreihe aus den Stammelementen  $^{237}\text{Np}$  ist wegen Kurzlebigkeit [ $T = 2,1 \cdot 10^6 \text{a}$ ] als erloschen zu betrachten.) Die RA der Tochter-, Enkel-, ... -nuklide ist die zweite Komponente der natürlichen RA.

3. Die kosmische Höhenstrahlung erzeugt bei den sehr energiereichen Kollisionen mit den Atomkernen in der Hochatmosphäre ebenfalls instabile Kerne, deren Strahlung die Lebewesen durchdringt.

Im einzelnen ergeben sich folgende Fakten (T bedeutet die Halbwertszeit).

**Ad 1:** Zu den primordialen Radionukliden gehören vorerst die Anfangsglieder der drei natürlichen Zerfallsreihen, nämlich  $^{238}\text{U}$ ,  $T = 4,5 \cdot 10^9 \text{a}$ , Stammglied der Uran-Radium-Reihe.  $^{235}\text{U}$ ,  $T = 7 \cdot 10^8 \text{a}$ , Stammglied der Actinium-Reihe.  $^{232}\text{Th}$ ,  $T = 1,4 \cdot 10^{10} \text{a}$ , Stammglied der Thorium-Reihe.

Ferner fallen noch

$^{40}\text{K}$ ,  $T = 1,28 \cdot 10^9 \text{a}$  und  $^{87}\text{Rb}$ ,  $T = 4,8 \cdot 10^{10} \text{a}$  ins Gewicht.

Dazu kommen weitere 13 primordiale instabile Kerne, die in Tab. 1 aufgezählt sind.

**Tabelle 1**

Kern	$^{115}\text{In}$	$^{138}\text{La}$	$^{144}\text{Nd}$	$^{147}\text{Sm}$	$^{148}\text{Sm}$
T(a)	$4 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{11}$	$7 \cdot 10^{15}$
Kern	$^{152}\text{Gd}$	$^{156}\text{Dy}$	$^{174}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}$	$^{187}\text{Re}$
T(a)	$1,1 \cdot 10^{14}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{15}$	$3,6 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{10}$
Kern	$^{186}\text{Os}$	$^{190}\text{Pt}$	$^{204}\text{Pb}$		
T(a)	$2 \cdot 10^{15}$	$6,1 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{17}$		

**Ad 2:** Zwischen den Folgegliedern in einer Zerfallsreihe stellt sich radioaktives Gleichgewicht ein, sobald von jedem Folgeglied während gleichen Zeiten ebensoviele Kerne zerfallen, wie das vorangehende Glied durch Zerfall nachliefert. Für die Strahlungsbelastung muß die Emission sämtlicher Glieder einer Reihe berücksichtigt werden.

Den Hauptbeitrag zur radioaktiven Strahlung der  **$^{238}\text{U}$ -Reihe** liefern mit fast 99% die Glieder  $^{214}\text{Pb}$ ,  $T = 26,8 \text{ min}$ , und  $^{214}\text{Bi}$ ,  $T = 19,8 \text{ min}$ , bei der  **$^{232}\text{Th}$ -Reihe** sind es  $^{208}\text{Tl}$ ,  $T = 3,1 \text{ min}$ , und  $^{228}\text{Ac}$ ,  $T = 6,13 \text{ h}$ .

Enthält der Erdboden an einer Stelle die Aktivitätskonzentration von 1 pCi/g (d. s. 0,037 Zerfallsakte je s = 133,2 Zerfallsakte je Stunde), dann beträgt die Dosisleistung in 1 m Höhe über Grund

1,58  $\mu\text{rem/h}$ , wenn die RA der  $^{238}\text{U}$ -Reihe entstammt,  
2,45  $\mu\text{rem/h}$ , wenn die RA der  $^{232}\text{Th}$ -Reihe entstammt,  
0,16  $\mu\text{rem/h}$ , wenn die RA dem Nuklid  $^{40}\text{K}$  entstammt.

Die Emission von radioaktiver Strahlung hängt von der chemischen Zusammensetzung der Gesteins- bzw. Erdarten im Boden ab. Die auf  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  und  $^{40}\text{K}$  entfallenden Emissionsanteile betragen in pCi/g, wie in Tabelle 2 verzeichnet.

**Tabelle 2**

Gesteinsboden	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
Granit	1,6	2,2	27
Diorit	0,6	0,9	19
Basalt	0,3	0,3	6,5
Durit	0,01	0,7	4
Kalkstein	0,8	0,2	2,5
Sandstein	0,5	0,3	10
Tonschiefer	1,2	1,3	19
Erdarten	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
Grauerde	0,9	1,3	18
Graubrauner Boden	0,8	1,1	19
Kastanienfarbiger Boden	0,7	1,0	15
Schwarzerde	0,6	1,0	11
Forstboden	0,5	0,7	10
Rasenpodsolboden	0,4	0,6	8
Bleicherde	0,2	0,3	4
Moorboden	0,2	0,2	2,5

Aus der Tabelle 2 folgt: **zirka 95% aller Menschen werden pro Jahr mit 25 bis 60 mrem RA belastet.**

Natürlich gibt es bei besonderer Beschaffenheit des Bodensmaterials in etlichen Gebieten starke Abweichungen vom Mittelwert, wobei das bis zu 10% starke Vorkommen von  $^{232}\text{Th}$  im Monazitsand ( $\text{CePO}_4$ ) die führende Rolle spielt.

Ein Streifen, er ist 250 km lang, an der Südwestküste Indiens belastet die dort lebenden etwa 70 000 Einwohner im Mittel mit 1100 mrem/a.

In Brasilien verursacht ebenfalls Monazitsand an der Atlantikküste der Staaten Espirito Santo und Rio de Janeiro hohe Belastungen. In zwei Orten (Guarapari, Meaibe) beträgt sie 850 mrem/a, am Strand von Guarapari sind es sogar 17 000 mrem/a. Im Staat Minas Gerais existiert ein unbewohnter Hügel, der 25 000 mrem/a abgibt.

In Frankreich emittieren granitreiche Zonen maximal 1750 mrem/a.

Im Iran ist es die Stadt Ramsar, wo einige  $\text{km}^2$  Boden so viel  $^{226}\text{Ra}$  enthalten, daß dort 1 700 bis 40 000 mrem/a gemessen wurden.

**Ad 3:** Die kosmische Strahlung erzeugt 20 instabile Nuklide, die der Tabelle 3 zu entnehmen sind. Unter ihnen ist  $^{14}\text{C}$  hervorzuheben, weil dieses Radionuklid die absolute Datierung des Zeitpunktes ermöglicht, in dem der Stoffwechsel des Organismus endete, dem das organische Gewebe als Probe entnommen wird.

Schließlich enthält Tabelle 4 die genaueren Daten der vier wichtigsten von der Höhenstrahlung produzierten instabilen Atomkerne. Ein Lebewesen empfängt mit jedem inkorporiertem Gramm Kohlenstoff infolgedessen  $^{14}\text{C}$ -Gehalt RA im Ausmaß von 6 pCi.

**Tabelle 3**

Instab. Nuklid	$^3\text{H}$	$^7\text{Be}$	$^{10}\text{Be}$	$^{14}\text{C}$	$^{22}\text{Na}$
T	12,3 a	53,3 d	$1,6 \cdot 10^6 \text{a}$	5730 a	2,6 a
Instab. Nuklid	$^{24}\text{Na}$	$^{26}\text{Mg}$	$^{26}\text{Al}$	$^{31}\text{Si}$	$^{32}\text{Si}$
T	15,0 h	20,9 h	$7,16 \cdot 10^5 \text{a}$	2,6 h	101 h
Instab. Nuklid	$^{32}\text{P}$	$^{33}\text{P}$	$^{35}\text{S}$	$^{38}\text{S}$	$^{34}\text{Cl m}$
T	14,3 d	25,3 d	87,5 d	2,83 h	32,0 min
Instab. Nuklid	$^{36}\text{Cl}$	$^{38}\text{Cl}$	$^{39}\text{Cl}$	$^{39}\text{Ar}$	$^{81}\text{Kr}$
T	$3,0 \cdot 10^5 \text{a}$	37,2 min	56 min	269 a	$2,1 \cdot 10^5 \text{a}$

**Tabelle 4**

Instab. Nuklid	<sup>3</sup> H	<sup>7</sup> Be	<sup>14</sup> C	<sup>22</sup> Na
Halbwertszeit T	12,3 a	53,3 d	5736 a	2,60 a
Nukliderzeugungsrate (cm <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )	0,25	0,081	2,3	8,6 · 10 <sup>-5</sup>
Gesamtvorkommen (MCi)	34	1	300	0,01
Verteilung in der Stratosphäre	7%	60%	0,3%	25%
der Troposphäre	1%	11%	1,6%	2%
der Biosphäre	27%	8%	4%	21%
den Meeren (Mischschichte)	35%	20%	2,1%	44%
(Tiefsee)	30%	0,2%	92%	8%

**LITERATUR:**

Broschüre des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Radioaktivität Risiko – Sicherheit, S. W. Koelzer, Natürliche und künstliche Radionuklide – Entdeckung, Vorkommen, Strahlendosis. Die Tabellen sind mit freundlicher Genehmigung dieser Broschüre entnommen.

## Das 12-km-Bohrloch

Vor etlichen Jahren begann man das **Projekt Mohole** in die Tat umzusetzen, das sich das Niederbringen einer Bohrung bis zur **Mohorovičić-Diskontinuität** (davon die erste Silbe aus Akronym Mohole, der Rest ist das englische Wort hole = Loch) zum Ziel gesetzt hatte. Die Mohorovičić-Diskontinuität (MD) ist das Grenzgebiet zwischen Erdkruste und dem äußeren Erdmantel. Die Bohrung erfolgte im Meer, weil die Erdkruste unter den Ozeanen wegen der im Vergleich zu den Kontinentalgesteinen geringeren Wasserdichte erheblich dünner ist. Die Kontinente tauchen tiefer in den Erdmantel ein. Der Zweck des Unternehmens war, Vergleiche zwischen den indirekt (vor allem seismisch, aber auch durch Vermessen des irdischen Schwerfeldes durch Satelliten) gewonnenen Ansichten über den Bau des Erdkörpers und den tatsächlich aus der Tiefe geholten Materialproben anzustellen. Allfällige Diskrepanzen könnten Schwachstellen der indirekten Methode offenlegen und so die Theorie verbessern.

Zur Enttäuschung aller daran interessierten Kreise wurde die Mohole-Bohrung, trotz sorgfältiger, aufwendiger Vorbereitung, abgebrochen. Die Wissenschaftler mußten warten, bis ein anderes Bohrungsunternehmen so weit fortgeschritten war, daß die ersten geologischen Befunde vorlagen. Es handelt sich um die Bohrung auf der **Halbinsel Kola**, die ca. 250 km nördlich des Polarkreises in der Sowjetunion stattfindet. Kein geringerer als der sowjetische Minister für Geologie, Ye. A. Kozlowsky, berichtete ausführlich über den Verlauf und die bisherigen Ergebnisse der Bohrung im Scient. American (siehe Quellenangabe unten). Seine Ausführungen bilden die Grundlage unseres Berichtes.

Die Bohrung hat **12 000 m Tiefe** erreicht, sie soll noch weiter getrieben werden. Es ist klar, daß hierbei technische Schwierigkeiten auftraten, die sich noch auf keine praktischen Erfahrungen stützen konnten. Wohl sah man sich in den USA bei dem mit 9674 m zweitiefsten Schacht der Erde, dem **Bertha-Rogers-Loch** in Oklahoma, ähnlichen Problemen gegenüber (die Bohrung brach man nach dem Antreffen von flüssigem Schwefel ab), aber für die zusätzlichen 2300 Tiefenmeter gab es keinerlei technische Informationen. Deshalb begannen sowjetische Techniker und Geologen schon im Jahre 1962, geeignete Tiefbohrgeräte zu entwickeln, die hinsichtlich Temperatur-, Druck- und Korrosionsfestigkeit den voraussehbaren Beanspruchungen standzuhalten versprochen. Die Planungs- und Erprobungsphase dauerte 8 Jahre. 1970 war es dann soweit, daß die Bohrung selbst in Angriff genommen wurde.

Die Wahl des Bohrortes fiel auf die Halbinsel Kola, weil dort der baltische Kontinentalschild vorliegt, dessen Struktur für viele granitische Kontinentalplatten der Erde (so in Indien, N-Amerika, S-Afrika, W-Australien, in der Antarktis, in Grönland) typisch ist.

Daneben findet in **Saatly** bei Baku eine ähnliche Tiefbohrung statt, die ebenso wie die Kola-Bohrung weitergeht. In Saatly ist man schon bei 8500 m Tiefe angelangt. Weitere Bohrungen (mindestens 7000 m) sind in **Maruntan** (im südwestlichen Teil

der asiatischen SU), in **Anastasiewsko-Troitskaja** (Ostseite des Asowschen Meeres) und in der **Nähe der Kaspisee** vorgesehen. In welchem Maße die Bohrungen mit wachsender Tiefe schwieriger werden, ist daraus ersichtlich, daß von den 14 Bohrungsjahren ein großer Teil auf die letzten paar 1000 m aufging.

### Bohrtechnik

Um auch unbehindert von Schnee und Kälte das ganze Jahr hindurch arbeiten zu können, errichtete man ein 30stöckiges, 86 m hohes Gebäude, das das Bohrloch überdeckt. Die ersten 40 m des Bohrschachtes umgibt ein 720 mm weites Stahlrohr. Darin befinden sich noch zwei konzentrische Stahlrohre von 325 mm bzw. 245 mm Durchmesser, die 2000 m tief reichen. Danach wurde auf diese Art des Wandschutzes gegen Einsturz verzichtet. Die gleiche Funktion übernimmt der Druck des Bohrschlammes, der im Gestänge nach unten und zwischen Wand und Gestänge wieder zur Oberfläche fließt (open hole advanced drilling).

Unterhalb 10 km mußte der rotierende Bohrkopf durch eine vom Druck des Bohrschlammes (250 bar!) getriebene Turbine ersetzt werden. Beim Drehbohrer nähme das gesamte Stahlgestänge von 800 bis 900 t Masse an der Rotation um die vertikale Achse teil, was schließlich unüberwindlichen Schwierigkeiten begegnet. Der Turbinenbetrieb läßt das Gestänge (richtiger: die Aufhängung) in Ruhe, sie konnte daher aus einer speziellen Al-Legierung von nur 400 bis 500 t hergestellt werden.

Das der Turbine beigeordnete Reduktionsgetriebe erniedrigt deren Bewegung um den Faktor 3 bis 4 gegenüber dem Drehkopfbetrieb. Die Turbine läuft mit 80 bis 150 Zyklen pro Minute. Das Gestänge führt höchstens ein paar Drehungen pro Minute aus.

Das den Bohrschlamm bewegende, mit hydraulischer Rückkopplung ausgestattete Pumpsystem „wühlt“ im Schlamm mit 1500 m<sup>3</sup>/s bei gleichzeitiger Kontrolle des Bohrkopfes. Das erleichtert den Austausch der Bohrköpfe und schon die Schachtwand gegen die Reibungskräfte. Reibungskräfte und Härteinhomogenitäten des am Schachtboden angetroffenen Gesteins bewirken seitliche Abweichungen des Schachtverlaufs von der vertikalen Soll-Linie. Die Abweichungen werden laufend von Sensoren mittels zweier Gyroskope registriert, welche die geeigneten Maßnahmen zum Gegensteuern veranlassen. Die stärkste Abweichung von der Vertikalen findet sich in 10,5 km Tiefe, dort ist der Bohrschacht 840 m in horizontaler Richtung von der Soll-Linie entfernt. Dann krümmt sich aber der Schacht wieder gegen seinen Soll-Verlauf etwas zurück. Dies erhöht den Reibungseinfluß beim vielhundertmaligen Hochholen der Aufhängung, das zur Erneuerung des Bohrkopfes und zur Förderung der Bohrkern erforderlich ist, gewaltig. Zur Illustration: Beim Hochholen und Absenken sind im Jahre 1984 mehr als 25 000 km (!) über den Schachtausgang „gespult“ worden.

Was die Schachtquerschnitte in verschiedenen Tiefen betrifft, so sind sie mehr oder weniger exzentrische Ellipsen und keine Kreise, wie zu erwarten wäre, denn die Horizontalkomponente des Gesteinsdrucks ist zumeist anisotrop. Die kleine Achse verläuft in Richtung der stärksten horizontalen Druckbeanspruchung. Ideal wäre ein Querschnittskreis von 214 mm Durchmesser. Faktisch ergaben sich als Längen der kleinen bzw. der großen Achse in mm

- 225, 290 in 2,5 km Tiefe,
- 250, 390 in 5 km Tiefe,
- 225, 570 in 8,45 km Tiefe,
- 240, 370 in 11,6 km Tiefe.

Das Fördern der Bohrkern wurde schließlich so schwierig, daß eine neue Bergungsart erfunden werden mußte. Die plötzliche Druckentlastung beim Lösen des Kerns aus der gewachsenen Umgebung würde ihn zerstören, die Bruchstücke den Eingang in die Bergehöhle verlegen und 90 bis 95% des Kerns in den Bohrschlamm befördern. Jetzt lenkt eine Vorrichtung den Schlammstrom teilweise in die Hülse und schwemmt dabei Bruchstücke des Kerns hinein, wonach sie in einer Spezialkammer landen. Der Hülseingang bleibt nun offen, die Probe gelangt in versiegelten Containern unter Erhaltung der Verhältnisse am Bergungsort nach oben.

Um auch auf 15 bis 17 km Tiefe vorzudringen, bedarf es besonderer wärme- und druckfester Materialien. Das übliche Al verliert bei 110 °C bis 150 °C teilweise die erforderlichen Festigkeitseigenschaften. Deshalb hatten die Metallurgen für die Kola-Bohrung Legierungen hergestellt, die noch bei 230 °C bis 250 °C die erforderliche Festigkeit besitzen. Mit gesinterten Al-Legierungen hofft man, die Verwendbarkeit bis 300 °C zu erhalten. Mit Titan-Legierungen vielleicht sogar bis 400 °C, das sind die in noch größeren Tiefen herrschenden Temperaturen.

Ferner ist man auf Gesteinsdrücke von 3 kbar sowie auf erhöhte Korrosion durch mineralhaltiges Wasser gefaßt. Druckkammern, die 2 bis 3 kbar bei 300 °C bis 400 °C aushalten, befinden sich in Entwicklung.

### Ergebnisse

Der Kola-Bohrschacht führt durch eine Krustenschicht, die 1,4 Mrd. Jahre Erdgeschichte widerspiegelt: Die bis 6842 m Tiefe reichende **proterozoische Ära** umfaßt 1,1 Mrd. Jahre. Darunter liegt 2,5 bis 2,7 Mrd. Jahre altes **archaisches** Gestein. Die Bohrung hat 6 Zyklen der Krustenbildung angetroffen, bei denen Material aus dem geschmolzenen Erdmantel hochdrang. Die Bohrkerne ermöglichen das Erstellen eines thermischen Modells der Krustenbildung seit dem Entstehen der kontinentalen Schilde.

Ein vordringliches Ziel der Bohrung ist das Vordringen zur **Conrad-Diskontinuität**, die sich durch das sprunghafte Ansteigen der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Erdbebenwellen in 9000 m Tiefe verrät. Man nahm an, daß der Übergang von granitischen zu basaltischen Gesteinen den Sprung verursacht. Es wurde jedoch weder dort noch bis zu 12 km Basalt angetroffen. Der Grund: Ab 4,5 km Tiefe beginnt eine anomale Zone, in welcher der bis dahin konstante Anteil von 4% Kristallwasser im Gestein auf 2,1% sinkt. Das erzeugt im Fels Mikrofrakturen, die Porosität wird 4- bis 5mal größer als in den höheren Schichten, die Dichte beträgt 2,9 statt 3,1 g/cm<sup>3</sup>, das Wasser dringt in die Felsspalten und erhöht das Gesteinsvolumen um 1,7%. Diese Zone endet in 9 km Tiefe. Darunter steigt wieder die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen.

Auf Grund der gewonnenen Einblicke müssen die Ansichten über die Wasserzirkulation in der Erdkruste und die damit zusammenhängenden Vorgänge geändert werden. Außerdem spricht alles für reiche Lager von Erdschätzen in großen Tiefen, für deren Erschließung neue Techniken zu finden sind.

In der Erdkruste bis zur MD sind drei große Zonen unterschiedlicher Dichte  $\rho$  und Geschwindigkeit  $v$  der elastischen Wellen vorhanden:

1. Sedimente 1,8 bis 2,5 g/cm<sup>3</sup>,  $v = 5$  km/s,
2. granitische Gesteine 2,5 bis 2,75 g/cm<sup>3</sup>,  $v = 5$  bis 6 km/s bis zur Conrad-Diskontinuität,
3. basaltische Gesteine 2,75 bis 3 g/cm<sup>3</sup>,  $v = 6$  bis 7 km/s bis zur MD.

Unter der MD beginnt der **Erdmantel**. Es reichen der obere Erdmantel von im Mittel 35 bis 300 km, der mittlere von 300 bis 950 km, der untere von 950 bis 2900 km Tiefe.

Die Dichte steigt im Mantel von 3,3 auf 5,9 g/cm<sup>3</sup>. Er dürfte sich aus Oxiden und Sulfiden der Elemente Fe, Cu, Zn, Rb, Hg, Sb, Bi sowie aus den Elementen Se, Te, Au, Ag... zusammensetzen.

Auch die im Bohrschacht gemessenen Temperaturen zwingen zu Revisionen der geltenden Ansichten über die Verteilung und den Fluß der Wärme in der Kruste. Der Temperaturgradient von 1 °C/100 m stimmt nur bis 3 km unter Tag mit den früher vertretenen Werten überein. Darunter steigt er auf 2,5 °C/100 m. In 10 km Tiefe herrschen 180 °C. Beredtes Zeugnis legen davon Hunderte m<sup>3</sup> Bohrschlamm ab, die (als Wasser) in die Tiefe gepumpt, mit 45 °C zur Oberfläche zurückkehren. Da die angetroffene Radioaktivität belanglos ist, kann der Wärmefluß nur aus dem Erdmantel stammen.

### LITERATUR:

Scient. Am., Dez. 1984, S. 106, Ye. A. Kozelowsky, The World's Deepest Hole.

## Plasmabrenner mit Drehstrom

Mit Plasmabrennern — als Wärmequelle dient die elektrische Bogenentladung in geeigneter Gasatmosphäre — werden ungewöhnlich hohe Temperaturen erzielt, in Laborversuchen kam man schon über 50 000 °C hinaus. Plasmabrenner kommen besonders in der Stahlindustrie zum Einsatz. Sie erweisen sich gerade in der jetzigen Stahlflaute als nützlich, weil sie der Erzeugung sehr hochwertiger, daher gut verkäuflicher Spezialstähle dienen.

Der übliche Gleichstrombetrieb des Lichtbogens hat verschiedene Nachteile, die man aber mangels besserer Systeme in Kauf nehmen mußte. Da verursachen z. B. die Graphitelektroden gelegentlich Ärger. Sie bröckeln manchmal ab und verändern in unerwünschter Weise den C-Gehalt des Stahls (Aufkohlen). Außerdem belastet Gleichstrom die Anode stärker als die Kathode, was durch Vergrößerung der Anodenfläche

kompensiert werden kann. Aber — die Anoden sind in die Böden der Schmelzwanne eingelassen und erfordern deshalb zusätzliche Kühleinrichtungen, sei es mit Wasser oder mit Luft. Das erhöht die Betriebskosten. Schließlich herrscht zwischen benachbarten Lichtbögen bei Gleichstrom Anziehung, der durch größere Abstände entgegengewirkt wird. Die Folge: Die äußeren Teile des Schmelzgutes erwärmen sich stärker als die inneren, so daß das feuerfeste Material der Seitenwände größeren Belastungen unterliegt und rascher verschleißt.

Das Forschungsinstitut der **Firma Krupp** in Essen hat mit 20 Mio. DM Aufwand einen mit Drehstrom betriebenen Plasmabrenner entwickelt, der nicht nur um 1 bis 2% mehr Stahl ausbringt als der vergleichbare Gleichstrombrenner, sondern auch die Nachteile des letzteren vermeidet.

Die Graphitelektrode ist durch eine dotierte W-Elektrode ersetzt, womit das Aufkohlen der Vergangenheit angehört. Die Lichtbögen stoßen einander ab, dürfen also zusammenrücken und schmelzen daher die Charge von innen nach außen auf. Die Seitenwände werden so geschont. Auch das wirkt kosten-senkend. Die in weiterer Folge jetzt mögliche Ausrichtung der Lichtbögen durch den Ofendeckel erlaubt die Verwendung der bereits gebräuchlichen Pfannen, die nur einen anderen Deckel erhalten müssen.

Den Krupp-Technikern ist mit dem Drehstrombrenner ein großer Wurf gelungen. Mit Drehstrom von 5 kA kann eine Pfanne mit 40 t beschickt werden. Krupp beschäftigt sich aber auch schon mit der Konstruktion von Brennern für 12 kA für 150-t-Pfannen bzw. 50-t-Schmelzöfen.

Auf der gegenwärtigen Kostenbasis (1,3 DM pro m<sup>3</sup> Ar als inertes Gas und 5 DM pro kg Graphit) sinkt der Graphitverbrauch (falls noch keine W-Elektroden eingebaut sind) von bisher 3 bis 4 kg/t Stahl auf 1,5 kg/t Stahl.

### LITERATUR:

Umschau i. W. u. T., Jänner 1985, S. 54, Drehstrom-Plasmabrenner.

## Digitales Musikspeichern

Die Speicherung und Wiedergabe von Musik oder Sprache mittels Schallplatten ist mit gewissen Beeinträchtigungen belastet, welche bei der Wiedergabe als störend empfunden werden. Schallplatten von bedeutenden Sängern, die vor langer Zeit aufgenommen wurden, können durch Lagerung, wiederholtes Kopieren, aber auch schon infolge mangelhafter Aufnahme nicht dieselbe Wirkung auf die Hörer ausüben, die der direkt vernommene Gesang des lebenden Künstlers erzielt.

Die Schallplatte mit Mikrofon (Eingabe), Verstärker und Lautsprecher (Ausgabe) bilden ein Analogsystem. Das Kontinuum der Schallwellen hinsichtlich Frequenz und Amplitude wird — so gut es geht, und da tritt schon ein Problem hervor — linear von Signalsystem zu Signalsystem weitergegeben. Wird der Proportionalitätsbereich eines Vermittlungsgliedes überschritten, etwa die Lautstärke (Amplitude), dann sind häßliche Entstellungen die Folge.

Ein anderer Störfaktor ist die Wärmebewegung der Elektronen in den Leitungskabeln. Auch bei fehlender Eingabe findet deren völlig unregelmäßige Bewegung statt und tritt infolge der vorhandenen Verstärker in Erscheinung. Eine ähnliche Wirkung übt die Körnigkeit der Übertragungsmedien aus: Die Rauigkeit der Plattenoberfläche oder die Größe der Weißschen Bezirke im magnetisierten Material.

Das menschliche Ohr nimmt Schallschwingungen von maximal 20 kHz wahr. Die Klangfarbe bleibt nur erhalten, wenn sämtliche Oberschwingungen mit gleicher Treue wie die jeweilige Grundschwingung des Tones übertragen werden.

Sehr große Gradienten der Amplitude, d. h. rasche Wechsel der Lautstärke erfordern eine, im weitesten Sinne des Begriffs, möglichst trägheitsarme Reproduktion. Das hängt von der Bandbreite des Systems ab, sie muß 20 kHz betragen.

Außerdem besteht keine Möglichkeit, Fehler in der Aufnahme und Weitergabe der Signale auszumerzen. Deshalb wurden schon vor etwa 60 Jahren Überlegungen angestellt, die analoge durch eine digitale Übertragung zu ersetzen. Doch erst nach dem Eingang von Halbleitern, Elektronik, Computern und Lasern in den technischen Alltag war die Zeit zur digitalen Tonspeicherung bzw. -wiedergabe reif geworden. Dabei werden die oben genannten Störfaktoren ausgeschaltet. Wohl muß man andere in Kauf nehmen, aber diese sind sanfter und reduzierbar. Der ganz große Vorteil der digitalen Methode besteht in der Korrigierbarkeit von Übermittlungsfehlern. Dies gestattet, aus alten Schallplatten musikalischer Meisterwerke oder Gesangsleistungen diese in einer Weise reproduktiv festzuhalten, die den ursprünglichen Glanz der lebendigen Darstellung voll zur Geltung bringt.

Die Wellenform des Schalles ist eine stetige Funktion der Zeit, welche die Amplitude angibt. Zur Digitalisierung ist es nötig, in regelmäßigen, sehr kleinen Zeitabständen  $\Delta t$  der Amplitude eine Zahl zuzuordnen. Dem Computer erwächst die Aufgabe, auf diese Zahlen ein mathematisches Verfahren anzuwenden, das die Reproduktion der primären Wellenform erlaubt. Die den einzelnen Amplituden zugeordneten Zahlen sind in Binärform als 16-bit-Wörter dargestellt. Das gestattet die Signaldifferenzierung in  $2^{16} = 65\,536$  Stufen. Eine Stufe wird als „Quantum“ bezeichnet. Die  $2^{16}$  Stufen überdecken eine Skala von 96 Dezibel. (Der Phonograph überdeckt nur 30 db.) An Stelle dieser „Puls-Code-Modulation“ genannten Methode wendet man auch die „Delta-Methode“ an, welche nicht die Ordinatenwerte, sondern die Ordinatenunterschiede (daher der Name) registriert. Die Delta-Methode besitzt die höhere Speicherkapazität.

Jeder Schritt  $\Delta t$  setzt die Amplitude in eine Spannung um, die so lange aufrecht bleibt, bis sie gemessen und in die Binärzahl umgewandelt ist. Die Zahl wird auf einer Scheibe oder auf Magnetband gespeichert, von wo sie nach Bedarf der Digital-Analog-Wandler wieder als Schall reproduziert. Natürlich müssen die Aufnahme- und Ausgabeschrittweiten  $\Delta t$  genau übereinstimmen.

Die Speicherung der den Ordinatenwerten zugeordneten 16stelligen Binärzahlen in computerüblicher Weise nähme allerdings zu viel Speicherraum in Anspruch. Deshalb verwendet man entweder Magnetbänder oder Videorecorder oder das von der holländischen Philips Corporation gemeinsam mit der japanischen Sony Corporation entwickelte CD-Verfahren (CD=Compact Disc). Auf Magnetbändern kann man in benachbarten Spuren verschiedene Musikinstrumente aufnehmen und sie nachher kombiniert abrufen.

In Videorecordern enthalten die Bildelemente (Pixel) die Information. Schwarze Pixel bedeuten die Ziffer 0, weiße die Ziffer 1. Die gespeicherten Daten werden aber nicht als Lichtsignale, sondern als Schallsignale wiedergegeben.

Das am meisten verwendete CD-Verfahren deponiert die Binärzahlen auf einer Scheibe von 120 mm Durchmesser und 1,2 mm Dicke. Beide Seiten tragen Informationen. Jede Seite speichert ein 74-Minuten-Musikprogramm. Die Datenspeicherung erfolgt durch Anbringen von kleinen Grübchen (pits). Jedes Grübchen beginnt und endet mit einer Stufe im Plattenmaterial und jede dieser Stufen bedeutet die Ziffer 1. Dort, wo keine Änderung der Plattendicke erfolgt, ist die Ziffer 0 gespeichert. Nach der Aufnahme einer Meisteraufführung wird von der Scheibe ein Plastikabdruck hergestellt, in dem die Grübchen als Erhöhungen (bumps) festgehalten sind. Die Platte erhält einen Al-Überzug, damit der die rotierende Platte abtastende Laserstrahl gut reflektiert wird. Den Abschluß der Behandlung bildet die Versiegelung der Platte durch einen durchsichtigen Plastiküberzug.

Die Rückführung zur Tonwiedergabe geschieht folgendermaßen. Der Laserstrahl passiert zunächst den polarisierenden Strahlteiler. Dann wird die Polarisationssebene um  $90^\circ$  gedreht. Fällt der Strahl auf keine Plattenstufe, wird er in sich reflektiert und gelangt zum Detektor. Fällt der Strahl jedoch auf eine Stufe, dann erfährt er an ihr eine allseitige Streuung, der Detektor erhält viel weniger Licht. Der Detektor hält jede Intensitätsänderung des einfallenden Laserlichtes für die Ziffer 1, gleichbleibende Intensität für eine 0. Natürlich muß der Abstand Objektiv-Platte exakt konstant bleiben. Dazu werden Servosysteme eingesetzt. Die ursprünglichen Grübchen haben etwa die Länge einer Welle des Laserlichtes.

Ist das alles geschehen, tritt der Digital-Analog-Wandler in Aktion, der Zuhörer kann eine hochqualifizierte Darbietung genießen.

### Störquellen

Obwohl viele der sonst auftretenden Fehler ausgeschaltet sind, können sich doch wieder andere einschleichen. Ihre Art hängt z. T. vom gewählten Übertragungssystem ab. Gehen bits verloren, dann kann sich die dargestellte Zahl um Größenordnungen verändern, also ein Abspielen eine verzerrte Intensität erzeugen, diese wird als Knallton wahrgenommen. Es kann auch die Schrittweite  $\Delta t$  zu groß sein, so daß etwaige Amplitudenschwankungen während eines Schrittes unbemerkt bleiben und die Wiedergabe entstellen. Das heißt,  $\Delta t$  muß genügend klein gewählt und jede unerwünschte Schallkomponente durch ein vor der Umwandlung in Binärzahlen eingebautes Filter getilgt werden.

Die digitalisierte Wellenfunktion ist eine Treppenfunktion. Ihre scharfen Kanten erzeugen Hochfrequenzton, die ebenfalls, und zwar nach der Digital-Analog-Umwandlung, wegzufiltern sind.

Manchmal kommt es vor, daß die 16stelligen Binärwörter zu kurz sind, um die Amplitude genau genug zu beschreiben, z. B., wenn die Amplitude einen Wert zwischen benachbarten Quanten annimmt. Dann wird entweder die größere oder die kleinere Zahl gespeichert. Diese Ungenauigkeiten fallen ziemlich willkürlich an, sie treten bei der Wiedergabe als unangenehmes Summen auf.

Schließlich kann die Binärzahl selbst falsch sein. Zum Glück existiert eine Reihe von Korrekturstrategien, welche solche Mängel stark zurückdrängen. Darauf möge aber nicht weiter eingegangen werden.

Wohl aber ist am Ende der Darlegungen zu bemerken, daß die geschilderte Methode Abänderungen in der Darbietung (Tempo, Stimmlage) ermöglicht, die den Komponisten neue Formen des Schaffens zugänglich machen.

### LITERATUR:

Scient. Am., Dez. 1984, S. 84, J. Montforte, The Digital Reproduction of Sound.

## Nahfeld-Mikroskopie mit $\lambda/20$ -Auflösung

Wer schon einmal rasch entlang einer Bretterwand ging, deren Latten nicht ganz genau aneinanderpaßten, bemerkte sicher, daß trotzdem das dahinter befindliche Gelände einzusehen ist, obwohl der ruhende Beobachter nur winzige Ausschnitte aus der jenseitigen Landschaft beim Blick durch eine der schmalen Ritzen wahrnimmt.

Der Gebrauch des Stethoskops setzt den Arzt in den Stand, die Lage des menschlichen Herzens auf etwa 4 cm genau festzustellen, obwohl er dabei Schallwellen mit einigen Metern Wellenlänge benützt. Widerspricht das der bekannten Tatsache, daß das Auflösungsvermögen eines sonderenden Wellenstrahls auf die Abmessungen einer einzigen Wellenlänge begrenzt ist?

Außerdem verhindern Beugungseffekte, den Brennfleck auf Areale von kleineren Durchmessern als etwa einer halben Wellenlänge der beleuchtenden Strahlung einzuengen.

Trotzdem wurde im Jahre 1984 ein Verfahren, das sich schon seit 10 Jahren bei Mikrowellen bewährt hat, auch auf sichtbares Licht ausgedehnt. Nur dank der Fortschritte in der technischen Manipulation mikroskopisch kleiner Gegenstände sowie in der Fertigkeit, Mikrobewegungen kontrolliert auszuführen, gelang es, an die Konstruktion optischer Mikroskope zu schreiten, die an die Leistungen mancher Elektronenmikroskope heranzureichen versprechen. Der Vorteil der sogenannten Nahfeld-Mikroskopie liegt darin, daß sich die Probe weder im Vakuum zu befinden hat noch schädigenden Vorbehandlungen unterworfen zu werden braucht. Untersuchungen in vivo sind dann ohne Schwierigkeiten möglich.

Die einschlägigen Experimente im Mikrowellenbereich führten F. A. Nash und G. Nichols aus. Sie bestrahlten ein Liniengitter, das mit  $0,5$  mm Linienabstand auf Aluminium geritzt war, mit 3-cm-Mikrowellen durch eine  $1,5$  mm breite Metallöffnung. Das Gitter wurde periodisch hin- und herbewegt, und die vom Gitter durch die Metallöffnung reflektierte Strahlung erlaubte, das Gitter einwandfrei in seiner geometrischen Struktur zu identifizieren. Das entspricht der linearen Auflösung auf  $\lambda/60$ .

Ermutigt durch den Erfolg, wandten die beiden Physiker ihr Verfahren auch auf zweidimensionale Gitter mit 2 mm Linienabstand und derselben Wellenlänge an. In diesem Fall ergab sich wieder eine beachtliche Auflösung, sie betrug  $\lambda/20$ .

Das Haupthindernis für die Übertragung des Verfahrens auf sichtbares Licht liegt in der Notwendigkeit, genügend kleine, genau geformte Öffnungen herzustellen. Ihr Durchmesser darf nur einige nm betragen. Überdies muß das durchbohrte Metall sehr dünn, aber dennoch undurchsichtig sein. An der Cornell-Univ. verfügte man schließlich über brauchbare Fertigungsmethoden. Sie lassen sich etwa so andeuten:

Ein Si-Chip wird mit einem Polymer bedeckt. Das Polymer wird mit einem feinen Elektronenstrahl bestrahlt und dadurch entwickelt. Darauf erzeugt man Löcher im bloßgelegten Si durch reaktive Ionenätzung und metallisiert die Löcher. Die Winzigkeit der auf diese Weise hergestellten Öffnungen für den durchfallenden Lichtstrahl mag aus dem Umstand abgelesen werden, daß das Auflösungsvermögen viel stärker von der „Größe“ der Öffnung als von der Wellenlänge abhängt!

Noch ein bedeutender Unterschied gegenüber den üblichen Lichtmikroskopen ist hervorzuheben. Der Abstand zwischen Probe und Blende darf nur Bruchteile einer Wellenlänge betragen (deshalb der Name „Nahfeld-Mikroskopie“). Demgemäß klein fällt das Beobachtungsfeld aus. Etwas größer wird es bei Beleuchtung mit rotem Licht. Daneben sind noch andere Wege

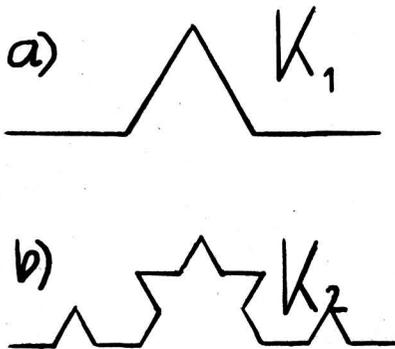
beschriftet worden, Das Cornell-Team konnte Öffnungen von 50 bis 100 nm Durchmesser herstellen, und zwar an der Spitze speziell gezogener metallüberzogener Pipetten.

**LITERATUR:**

1. Phys. News 1984, Am. Inst. of Physics Report, S. 12, A. Lewis, Near-Field Scanning Optical Microscopy.
2. Nature, Bd. 237, S. 510, 1972, Fa. A. Ash, G. Nichols.

## Fraktale in der Physik

Fraktale sind Punktmenge, also geometrische Gebilde, denen eine nicht ganzzahlige Dimension  $D$  zugeschrieben werden muß. Das einfachste Beispiel ist die von Kochsche Menge  $K$  mit der Dimension  $D = \ln 4 / \ln 3 = 1,26186 \dots$ . Sie ist das Grenzgebilde, dem die Kurvenfolge  $\langle K_i \rangle$  zustrebt, wenn  $i$  über alle Schranken wächst. Das erste Folgeglied  $K_1$  entsteht aus der Strecke  $AB$  der Länge  $a$ , indem man über dem mittleren Streckendrittel ein gleichseitiges Dreieck errichtet und danach dessen Basis tilgt (s. Abb. a). Verfährt man nun mit jeder der 4 Teilstrecken von  $K_1$  in gleicher Weise, so erhält man  $K_2$  (s. Abb. b). Dieser Prozeß, unbegrenzt fortgesetzt, gibt



$K = \lim_{i \rightarrow \infty} K_i$ . Die ähnliche Vergrößerung von  $K$  um den Faktor 3 liefert die Menge  $K'$ , die durch Zusammensetzen von 4 Exemplaren  $K$  ebenfalls zu erzeugen ist. D. h. die lineare Vergrößerung auf das 3fache erzielt denselben Effekt wie die (bis auf Randelemente) disjunkte Vereinigung von 4 Ausgangsgebilden. Daraus folgt  $4K = 3^D \cdot K$  oder  $D = \ln 4 / \ln 3$ . (Lineare Streckung eines Quadrates um den Faktor 2 ergibt 4 Quadrate, also  $4 = 2^D$ ,  $D = 2$  ist die Dimension eines Quadrates.) Allgemein gilt:

Wird die Punktmenge  $M$  um den Faktor  $n$  linear vergrößert und setzt sich das neue Gebilde aus  $m$  alten zusammen, dann hat  $M$  die Dimension

$$m = n^D, D = \ln m / \ln n.$$

Für Würfel ist bei Seitenverdopplung ( $n = 2$ )  $m = 8$ , also  $8 = 2^D$ ,  $D = 3$ . (Genauer findet sich im Artikel „Räume“ mit gebrochener Dimensionszahl, W. N. Nr. 47, April 78, S. 25.)

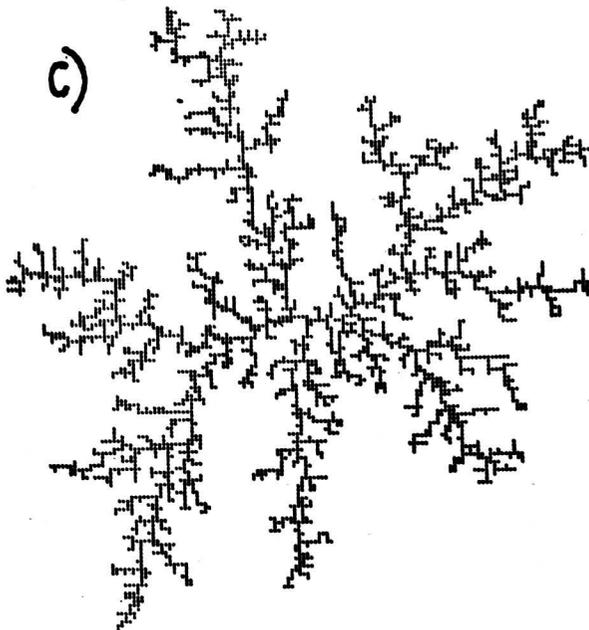
Man könnte meinen, diese Gebilde seien typische Konstrukte einer Mathematik, die sich im Aufspüren von möglichst „pathologischen“ Objekten ergeht. Nun, das ist sogar vom rein mathematischen Standpunkt aus unrichtig, denn im jahrzehntelangen Bemühen, die Wesensmerkmale einer Kurve zu ergründen, stieß man u. a. auf Gebilde wie  $K$ . Sie waren Durchgangsstationen der Begriffsfindung, und zwar als Korrektive bestimmt bis dahin für richtig gehaltener Definitionen. Sie bahnten dem endgültigen Durchbruch den Weg.

Daß aber auch die Physik auf den Begriff der **Fraktale** (diese Bezeichnung gebrochen-dimensionaler Punktmenge stammt von Benoit Mandelbrot) nicht verzichten kann, mag staunende Überraschung erregen. Insbesondere bei jenen Menschen, die der abstrakten Forschung mit der abgedroschenen Formel „Das ist doch zu nichts gut!“ entgegengetreten und die – sofern sie an ökonomischen Schalthebeln sitzen – aus eben dieser Haltung heraus mit den Mitteln für die Grundlagenforschung geizen. Wer aber die physikalische Fachliteratur (insbes. die Zeitschrift Phys. Rev. Lett.) der letzten Zeit verfolgt, wird häufig auf den Begriff „Fraktal“ zur adäquaten Beschreibung natürlicher Vorgänge stoßen.

Ehe wir zu den physikalischen Fakten übergehen, noch eine sehr anschauliche Charakterisierung der Fraktale, die an Hand der von Kochschen Menge  $K$  evident ist:

Gleich, mit welcher Auflösung man ein Fraktal (z. B.  $K$ ) fotografiert, immer bietet es denselben Anblick.

Als einschlägiger physikalischer Prozeß ist zunächst die begrenzte Anhäufung bei Diffusionen anzuführen. Ein Teilchen diffundiert in ein Medium, indem es in von Schritt zu Schritt willkürlich veränderter Richtung dahinwandert, bis es auf ein Objekt  $A$  trifft (den Akkretionskern), an dem es haften bleibt. Danach beginnt eine andere Partikel ebenso ziellos zu wandern, bis auch ihr „Spaziergang“ durch die Ankunft bei  $A$  und dem dort bereits haftenden ersten Anhängsel endet. Auf diese Weise entsteht eine Akkretionsstruktur mit genau den eingangs geschilderten Konformitätseigenschaften. (Wegen der Körnigkeit der Materie kommt natürlich das Grenzgebilde nicht zustande, wohl aber eine äußerst weitgehende Approximation desselben.) In Abbildung c ist das Ergebnis der Computersimulation des Prozesses dargestellt. Seine Dimension beträgt  $D = 1,7$ , wenn das Medium eine Ebene, hingegen  $D = 2,4$ , wenn es der Anschauungsraum ist.



Ein Fraktal, entstanden bei einem diffusionsbegrenzten Prozeß.

Es stellte sich heraus, daß der **elektrolytische Niederschlag**, der **dielektrische Durchbruch** und wahrscheinlich auch der **Blitzschlag** dieselbe Struktur der Dimension  $D = 2,4$  haben.

Die **Koagulation von Rauchpartikeln** und **Kolloiden in Aerosolen** erfolgt durch Diffusion ganzer Teilchenpakete, die dann aneinander haften bleiben. Auch in diesen Fällen bildet sich eine Struktur mit nichtganzzahligem  $D$  heraus.

Auffällig ist, daß irreversible Vorgänge fernab von Gleichgewichtszuständen Entwicklungen einschlagen, die zu fraktalen Gebilden führen. Die diesbezüglich noch in den Kinderschuhen steckende theoretische Forschung sieht sich einem neuen, fruchtbaren Betätigungsfeld gegenüber. Vor allem sollte geklärt werden, auf welche Weise die Ähnlichkeitsinvarianz trotz (oder wegen?) fehlenden Gleichgewichts eintritt. Ebenso wäre es höchst wünschenswert, voraussagen zu können, welche physikalischen, chemischen, ev. sogar biologischen Vorgänge fraktales Wachstum aufweisen und welche Umstände den Dimensionswert bestimmen.

**LITERATUR:**

1. Phys. Rev. Lett.: a) T. A. Whitten, L. M. Sanders, Bd. 47, S. 1400 (1981).
- b) P. Meakin, Bd. 51, S. 1119 (1983).
- c) M. Kolb et al., Bd. 51, S. 1123 (1983).
- d) M. Sano et al., Bd. 53, S. 286 (1984).
- e) L. Niemeyer, L. Pietronero, H. J. Wiesmann, Bd. 42, S. 1033 (1984).
- f) D. Weitz, M. Olivera, Bd. 52, S. 1433 (1984).
2. Phys. News 1984, Report Am. Inst. of Physics, L. M. Sander, S. 19, Fractal Growth Processes (Abb. c entstammt diesem Report).

## Elektronisch geschwenkter Radarstrahl

Schiffe oder Flugzeuge, auf denen sich die Radarantenne ständig dreht, um allfällige Kollisionspartner rechtzeitig zu entdecken, gleich, in welcher Richtung sie sich befinden mögen,

werden mitunter im Fernsehen gezeigt. Die Drehung der Antenne erfolgt ziemlich langsam, so daß rasch bewegte Objekte die Identifizierung erschweren oder gar verhindern könnten. Das gilt besonders für die Funkortung von Flugzeugen aus.

Wie auf so vielen anderen Gebieten hat auch hierbei die Elektronik bedeutende Verbesserungen zustande gebracht, indem die mechanische Drehung durch phasenverschobene Pulsabstrahlung vieler kongruenter Oszillatoren ersetzt ist.

Auf einem ebenen Areal sind die Oszillatoren (Strahler) in den Punkten eines quadratischen Gitters (Gitterkonstante  $a$  ist die Wellenlänge  $\lambda$  der Strahlung) angeordnet. Die Ebene kann geneigt sein, um den Himmel auch bis zum Zenit überwachen zu können.

Strahlen alle Oszillatoren gleichphasig, dann entsteht durch konstruktive Interferenz in der Sehrichtung  $A$  des Antennenelements (also senkrecht zur Ebene) die größte Feldstärke, die seitlich stark absinkt. Die Geometrie der Anordnung entscheidet über die Breite der emittierten „Radarkeule“. Je schmaler sie ist, desto intensiver fällt das Echo aus, das Gesichtsfeld ist dagegen um so kleiner.

Emittieren die einzelnen Strahler phasenverschoben, und zwar so, daß zwischen benachbarten stets dieselbe Phasenverschiebung  $\varphi$  besteht, dann schließt die Richtung, in der vollständige konstruktive Interferenz herrscht, mit der Sehrichtung  $A$  den Winkel  $\varphi$  ein, ohne irgendwelche Teile bewegen zu müssen. Es ist kein Problem, mittels elektronischer Steuerung die Phase Schritt für Schritt um denselben Betrag  $\varphi = 2\pi/n$  zu vergrößern. Nach  $n$  Schritten ist der volle Winkel  $2\pi$  erfaßt.  $n$  hängt von der mittleren Keulenbreite  $b$  ab. Für  $2\pi/n \leq b$  erfaßt das Radarsystem lückenlos den gesamten Umkreis des Beobachters und das in winzigen Bruchteilen einer Sekunde. Der Zeitaufwand des Übergangs von einem Phasenwinkel zum nächsten ist nämlich nur von der Größenordnung Mikrosekunden.

Zur Phasenverschiebung sind Wellenleiter unterschiedlicher Länge den Strahlern vorgeschaltet, so daß die zentral und simultan erzeugten Pulse zu verschiedenen Zeitpunkten bei den Oszillatoren eintreffen. Auf genauere Einzelheiten kann aus Platzgründen hier nicht näher eingegangen werden, wer mehr erfahren will, sei auf den am Schluß zitierten Artikel aus dem *Scient. Am.* verwiesen.

Das Verfahren ermöglicht, gleichzeitig Hunderte irgendwo befindlicher reflektierender Objekte zu orten, deren Bewegung und deren Größe (und damit sogar auch die Form, obwohl nur ganz roh) festzustellen und zu verfolgen. Was die Form betrifft, setzt dies natürlich eine extrem enge Keule und ein ausreichend großes Objekt voraus. (10 m<sup>2</sup> genügen selbst in einigen 1000 km Distanz!)

Die US-Anlage Cobra Dane ist mit 15 630 Strahlern bestückt, die zu 96 Untergruppen je 160 Oszillatoren zusammengefaßt sind. Die Strahler einer Untergruppe erhalten die phasenverschobenen Pulse. Jede andere Untergruppe wird in derselben Weise synchron gespeist. Dadurch erhält der abgehende Gesamtpuls fast genau rechteckiges Profil und hohe Intensität, obwohl die Leistung der einzelnen Oszillatoren mäßig ist. Ein Gesamtpuls dauert etwa 1  $\mu$ s. Die Verkabelung der Anlage ist mit ca. 2 km Länge technisch zu bewältigen.

Als Verstärker dienen Mikrowellenröhren oder Festkörpermoduln. Ihre leichte Austauschbarkeit ist ein weiterer Vorteil. Die Lebensdauer von Festkörperverstärkern beträgt 100 000, die von Röhren nur 20 000 Betriebsstunden. Die Leistung einer Verstärkerröhre von Cobra Dane ist 160 kW.

#### LITERATUR:

*Scient. Am.*, Februar 1985, S. 76, E. Brookner, Phased-Array Radar.

## Der erste Röntgenlaser

Beim Oktober-1984-Treffen der Plasmaphysik-Abteilung der Am. Phys. Ges. in Boston teilten der Teamleiter D. Matthews zusammen mit M. Rosen mit, daß ihre Forschungsgruppe am LLL (Lawrence Livermore Lab.) einen Laser für weiche Röntgenstrahlung herstellen konnte. Die Laserfrequenzen sind 20,6 und 20,9 nm, der emittierte Laserstrahl ist bis zu 700mal stärker als die Intensität bei spontaner Abstrahlung. Das ist das Ergebnis von über 100 Testversuchen.

Abgesehen von der Zugänglichkeit des neuen Spektralbereiches für Laseraktion, eröffnet das LLL-Ergebnis auch praktische Perspektiven, wie Röntgenholographie biologischer Proben, Röntgen-Fotolithographie für integrierte Schaltungen und erhöhte spektroskopische Genauigkeit.

Derselben Tagung lag auch ein Bericht von Sz. Suckewes (Plasmalabor von Princeton) vor, der die 100fache Verstärkung von 18,2-nm-Strahlung zum Inhalt hatte.

## Der LLL-Laser

Um die Besetzungsinversion in einem Plasma während dessen Lebensdauer herzustellen, pumpte man das Plasma mittels 450-ps-Pulsen aus dem Doppelstrahlaser Novette (Wellenlänge 532 nm). Die Leistungsdichte der pumpenden Pulse betrug  $5 \cdot 10^{13}$  W/cm<sup>2</sup>. Sie trafen auf ein Material mit vielen Protonen im Atomkern (hohe Z-Zahl), zumeist war es Selen ( $Z = 34$ ), das dadurch in den Plasmazustand überging. Die so erzeugten Ionen besaßen ähnliche Elektronenhüllen wie Neon-Atome. Die Zusammenstöße der Elektronen im neonähnlichen Plasma regten die Ionen energetisch an. Die Besetzungsinversion etablierte sich zwischen den Zuständen  $2p^5 3p$  und  $2p^5 3s$ . Die Übergänge  $J = 2 \rightarrow J = 1$  lieferten eine gegenüber der spontanen ca. 100fach verstärkte Laseremission bei 20,63 und 20,96 nm. Der ebenfalls erwartete Übergang  $J = 1 \rightarrow J = 0$  von 18,3 nm blieb aus noch unbekanntem Grund. Als günstigstes Target für die Novette-Pulse erwies sich die auf dem 150 nm dicken Plastiksubstrat deponierte Se-Folie (11 mm lang, 1 mm breit), die in eine 75 nm starke Plasmaschicht überging.

Zwei Spektrometer ermittelten die Intensität der Röntgen-Laserstrahlen sowohl in axialer wie auch in um 77° gegen die Achse geneigter Richtung. Die zwei Linien bei 20 nm konnten nur in axialer Richtung festgestellt werden. Das zuverlässigste Indiz für die Laseraktion ergab sich jedoch durch Verlängern des Targets bis zu 22 mm, dem natürlich auch die Größe des Brennflecks der Novettepulse angepaßt wurde. Mit der Länge stieg die Intensität der Emission exponentiell an.

Andere Versuche mit Yttrium ( $Z = 70$ ) anstelle von Se ergaben verstärkte Abstrahlung bei 15,49 und 15,72 nm. Vor Bekanntgabe der genannten Ergebnisse hatte der LLL-Direktor R. Batzel namhafte Laserexperten von anderen Universitäten zur Überprüfung der gewonnenen Daten eingeladen und deren volle Zustimmung gefunden.

Der Novette-Laser wurde danach durch den größeren Nova-Laser ersetzt. Beim Erscheinen dieses Berichtes in den *W. N.* (verfaßt im April 1985) werden wahrscheinlich bereits weitere Fortschritte erzielt worden sein.

## Der Princeton-Laser

Einfallendes konventionelles Laserlicht verdampft ein Target mit kleiner Atommassenzahl  $A$  (z. B. <sup>12</sup>C) und beraubt die C-Atome vollständig ihrer Elektronenhüllen. Das magnetisch konfinierte Plasma wird radiativ gekühlt (das geht rascher als auf adiabatischem Wege, auch wird die Plasmadichte einheitlicher). Die Besetzungsinversion der H-ähnlichen Ionen stellt sich zwischen den Zuständen  $n = 3$  und  $n = 2$  ( $n =$  Hauptquantenzahl) ein. Die Übergänge  $n = 3 \rightarrow n = 2$  erzeugen die Laserstrahlung von 18,2 nm. Gleiche Ergebnisse lieferten Li-Targets. Die Pulse zum Verdampfen des Targets kommen aus einem CO<sub>2</sub>-Laser, sie leisten 10 bis 20 GW. Der Brennfleck hat 0,2 bis 0,4 mm Durchmesser, er empfängt Leistungsdichten um  $10^{13}$  W/cm<sup>2</sup>. Verglichen wurde das Verhältnis der axialen und der transversalen Emission a) bei Laseraktion und b) bei spontaner Abstrahlung der 18,2-nm-Linie. Leider verbietet die Princeton-Anordnung Variationen der Targetlänge. Statt dessen benutzten die Princetonleute einen **Röntgenspiegel** (2 m Krümmungsradius), der die Verstärkung um den Faktor 2 anhebt. (Röntgenreflexion erfolgt mittels konstruktiver Interferenz der auf Lagen von abwechselnd dichtem und weniger dichtem Material treffenden Röntgenwellen.)

Nun ist offenbar der Durchbruch geglückt, weitere Erfolge sind zu erwarten.

#### LITERATUR:

1. *Phys. Rev. Lett.*, 14. 1. 1985, S. 110, D. L. Matthews et al., Demonstration of a Soft X-Ray Amplifier.

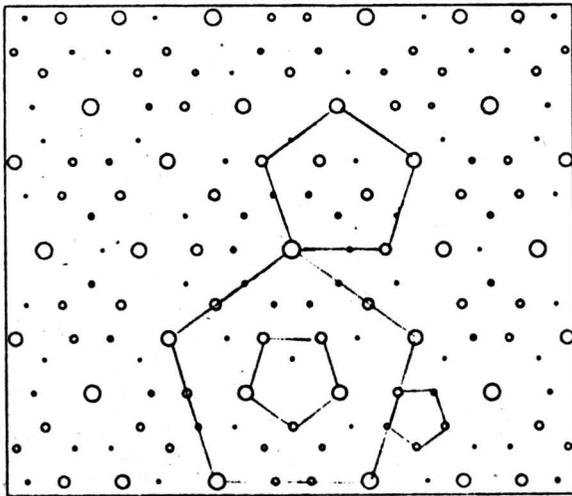
## Weder Fleisch noch Fisch

Mit Fliesen in der Form regelmäßiger Drei- oder Sechsecke oder in der Form von Rechtecken läßt sich ebener Boden lückenlos und frei von Überdeckungen pflastern. Dasselbe ist mit fünfeckigen Fliesen von regulärer Gestalt unmöglich. Deshalb existieren auch keine Kristalle mit Achsen von fünffacher Drehsymmetrie, deren Bausteine periodisch angeordnet sind.

Der britische Mathematiker **R. Penrose** hat vor kurzem eine Pflasterung der Ebene mit regulären Fünfecken angegeben, welche zwar den Grund ohne Lücken und ohne Überdeckungen belegt, die aber nicht periodisch ist. D. h., es gibt keine Schiebung, die das Belegungsmuster in sich überführt.

Interessanterweise kam man von der Praxis her zu ähnlichen Ergebnissen. **P. J. Steinhardt** und **D. Levine**, Univ. of Pennsylvania, konzipierten eine Form der festen Materie, die weder als Kristall noch als amorph anzusprechen ist. Sie prägen dafür

den Namen **Quasikristall**, weil die Anordnung der Gitterbausteine als **quasiperiodisch** bezeichnet wird. Quasikristalle und echte Kristalle haben jedoch gewisse Fernordnungen gemeinsam.



Nach den zunächst nur theoretischen Überlegungen der oben genannten Forscher hat nun eine international zusammengesetzte Metallurgengruppe in der Natur eine quasikristalline Struktur angetroffen. Der erste Entdecker dieser vorher noch nie beobachteten Struktur war **D. Shectman**. Als Gastprofessor am Nat. Bureau of Standards beschloß er u. a. kleine Muster der festen Legierung von 86% Al und 14% Mn mit einem Elektronenstrahl, um das entstehende Streumuster fotografisch festzuhalten. Es entstanden auf dem Film scharfe Punkte, wie man sie bei gleich behandelten Einkristallen vorfindet. Zur Überraschung Shectmans traten fünffache Symmetrien auf, die bei Kristallen niemals entstehen könnten. In der beigefügten Abbildung erkennt man sowohl die Aperiodizität als auch die Anordnungen von Gitterbausteinen als Eckpunkte regelmäßiger Fünfecke. In der Abbildung sind Pentagone von vier verschiedenen Größen markiert, in deren Ecken Gitterelemente sitzen. Die fehlende Invarianz gegenüber Translation ist an den unterschiedlichen Abständen gleichartiger Streuzentren zu erkennen.

D. Shectman, I. Blech, D. Gratias und J. W. Cahn erzeugten die quasikristalline Phase durch rasches Abkühlen einer Schmelze vermöge eines Kondensations- und Wachstumsmechanismus, der bei Übergängen fest-flüssig typisch ist.

Das reale und das mittels Computers hergestellte Streumuster stimmen gut überein. Die Entdecker erwarten von der quasikristallinen Modifikation der Materie eine Fülle neuer bemerkenswerter physikalischer, insbesondere elektronischer Eigenschaften.

#### LITERATUR:

1. Scient. Am., März 1985, S. 52, New Order.
2. Phys. Bl., April 1985, S. 103, Nichtperiodische Kristalle mit fünfzähliger Symmetrie.

## Ionenimplantation

Die Oberflächen von Werkstücken sind oft Beanspruchungen ausgesetzt, die das übrige Metall nicht betreffen. Deshalb haben Methoden zur Vergütung von Oberflächen schon eine lange Tradition. Das Härten von Stahl ist wohl das bekannteste und älteste Verfahren dieser Art. Seit der Verbreitung elektronischer Techniken (Miniaturisierung, integrierte Schaltungen, Chips) haben derartige Maßnahmen zunehmend an Umfang, Vielseitigkeit und Problematik gewonnen. Man möge nur an die Dotierung von Materialien mit Fremdatomen denken, um die Bedeutung voll zu erkennen.

Der weltweit angewandten Methode, Fremdatome durch **Diffusion** einzubringen, trat seit dem Jahre 1960 das Verfahren der **Ionenimplantation** zur Seite, die der ersteren gegenüber gewisse Vorteile besitzt und noch vielseitigere Anwendbarkeit verspricht.

Beim Einbringen von Fremdatomen durch Diffusion findet diese entweder aus der Gasphase in der hierfür vorgesehenen Kammer bei höheren Temperaturen statt oder, falls das Fremdmaterial weder selbst noch in brauchbaren Verbindungen (z. B.

Kohlenstoff als  $\text{CO}_2$ ) gasförmig vorliegt, nach Aufdamphen (hohe Temperatur!) oder aus einer anderweitig hergestellten Fremddammung des Werkstückes statt. Von wesentlicher Bedeutung ist das Tiefenprofil der Dichte der Fremdatome im Eindringbereich. Druck, Temperatur, Einwirkdauer sind die wichtigsten Parameter, durch deren richtige Wahl das erforderliche Profil hergestellt wird. Allein die erhöhte Temperatur erschwert die Diffusionsmethode, aber auch die gewünschte Präzision ist nicht immer oder doch nur schwer erzielbar. Darüber hinaus können Ionen auch Glas und Keramik eingepflanzt werden. In diesen Belangen ist die Ionenimplantation der Diffusion überlegen.

### Die Implantation

Aus der Glühkathode treten Elektronen aus, werden in elektrischen Feldern beschleunigt und gelangen in die Kammer, welche die zu implantierende Substanz in Gasform enthält. Die Gasatome werden bei den Zusammenstößen mit den Elektronen ionisiert. Ein elektrisches Feld befördert das Plasma aus der Kammer. Magnetfelder eliminieren die unerwünschten Ionen – gleich, ob sie zu leicht oder zu schwer sind – aus dem Strahl und lenken ihn gleichzeitig in die vorgeschriebene Richtung. Weitere elektrische Felder beschleunigen die Ionen (50 bis 100 keV sind als Richtwerte anzusehen) und fokussieren sie. Nach dem Eintritt in die Implantationskammer trifft der Strahl das Target. Damit der Strahl, der nur wenige cm Durchmesser hat, das gesamte Target gleichmäßig mit Ionen versorgt, lassen ihn entweder Kippschwingungen die Targetoberfläche gleichmäßig überstreichen, oder das Target wird durch den Strahlquerschnitt bewegt.

Anders, wenn das Implantat nur in fester Form vorliegt. Dann deponiert man in einer Kammer eine Platte des Implantats, erfüllt die Kammer mit ionisiertem Gas (etwa Argon) und bringt die Platte auf ein negatives Potential. Sie zieht dann die Argon-Ionen auf sich, wird bei deren „Einsturz“ erhitzt, so daß Teile der Plattenoberfläche abdampfen. Kollisionen mit den übrigen Teilchen in der Kammer ionisieren die ausgetretenen Implantat-Atome. Sie werden magnetisch aus der Kammer geführt und denselben Prozessen, die im Falle eines von Haus aus gasförmigen Implantats zur Anwendung kommen, unterworfen.

Die Eindringtiefe der Ionen unter die Oberfläche des Targets beträgt i. a. 10 bis 100 nm. Sie und ihr Profil lassen sich aus der Dichte von Targetatomen und Ionenfluß unter Berücksichtigung der Ionenenergie berechnen. Als Beispiel wäre anzuführen:  $5 \cdot 10^{22}$  Atome/cm<sup>3</sup> im Target,  $10^{14}$  Ionen/cm<sup>2</sup> · s, Exposition von 0,05 s/cm<sup>2</sup> würde genügen, um in einer 100 nm dicken Eindringtiefe eine Dotierung von einem implantierten Ion pro 100 000 Targetatome zu erreichen. Wollte man 20% der Targetatome durch die Fremdiionen ersetzen, müßte das Target durch 20 min/cm<sup>2</sup> bestrahlt werden.

### Veränderungen im Target infolge Ionenimplantation

Der Ionenbeschuß verursacht im Gitteraufbau des Targets Lücken, Verlagerungen von Atomen bzw. Einlagerung von Ionen in Positionen zwischen den Gitterbausteinen, schließlich eine Anhäufung der Defekte in Zusammenballungen (cluster) – diese werden, falls in einer Gitterebene liegend, als Versetzungsschleifen bezeichnet –, die sich zu ganzen Netzwerken von Versetzungslinien herausbilden können.

Die Bestrahlungsschäden wachsen um so rascher an, je massiver Ionen und Targetatome sind. Grob gesprochen kann man sagen: Jedes eindringende Ion disloziert pro durchsetzte Gitterebene einen Gitterbaustein. Bei Implantation von 1% Fremdatomen wechselt jedes Atom im Eindringbereich mehrmals seinen Platz.

Die Störungen des Targetgitters können sich mitunter positiv auswirken, indem sie dem Targetmaterial im Eindringbereich neue wertvolle elektrische und/oder mechanische Eigenschaften verleihen. Zumeist sind die Veränderungen jedoch schädlich, etwa, wenn sich bei der Dotierung von Halbleitern das Implantat zwischen den Gitterpunkten einnistet. Die Dotierungen werden nur dann ihren Zweck als Donatoren oder Akzeptoren erfüllen, wenn sie ins Gitter des Targets inkorporiert und die Leerstellen beseitigt werden. Einzelstörungen heilen schon bei Zimmertemperatur infolge ihrer großen Mobilität binnen kürzerer Zeit aus. Störstellenansammlungen und Dislozierungsschleifen sind jedoch beständig. Sie müssen durch passende Wärmebehandlung (Ausglühen) beseitigt werden.

Für mikroelektronische Stromkreise benötigt man p- und n-leitende Bereiche. Si-Chips werden durch Dotieren mit Phosphor oder Arsen n-leitend, durch Dotieren mit Bor p-leitend. Vor dem Einbau der Fremdatome erhält das Target eine den Stromwegen angepaßte Maske, die entweder licht- oder elek-

tronenempfindlich ist. Mittels Foto- oder Elektronenstrahl-Lithographie erhält die Maske das vorgeschriebene Muster. Die Schutzschicht wird chemisch entfernt und damit den Ionen Zutritt verschafft. Der Prozeß ist natürlich für jede der in Betracht kommenden Ionenarten separat auszuführen. Das Ausgliedern erfolgt im Temperaturintervall zwischen 600 und 1000 °C.

### Anwendungen

Der Ausbau des Verfahrens und die Forschungen für Anwendungen gehen zügig vor sich. Besonders intensiv beschäftigt man sich mit der Schaffung einer neuen Generation von Halbleitergeräten. Ein neues Verfahren mit der Bezeichnung VLSI (Very Large Scale Integrated Circuits) kann sogar des Anbringens von Masken entraten. Das geometrische Auflösungsvermögen grenzt bereits an die Größenordnung von Lichtwellen. D. h., man vermag Regionen von nur 500 nm für sich zu dotieren, der Ionenstrahl ist derart fein gespitzt. Dotierung wird bereits durch Einpflanzung von ca. 100 Ionen elektrisch wirksam. Die Ionenstrahltechnik ist nicht auf elementare Targets beschränkt, sie ist auch auf Legierungen wie GaAs anwendbar, obwohl dann das Verfahren komplizierter wird.

Vor allem erfordert die Herstellung von VLSI-Stromkreisen in Legierungen außerordentlich dünne Schichten von Halbleitern (etwa 500 nm), was Kurzschlüsse zwischen eng benachbarten Stromleitungen bei Mikrominiaturisierung ermöglicht. Dem kann mittels Ionenstrahltechnik entsprochen bzw. vorgebeugt werden. Man bestrahlt das Si-Target mit Sauerstoffionen geeigneter Energie. Sie kommen dann schon knapp unter der Oberfläche zur Ruhe, ohne vorher schon im Si deponiert zu werden. Damit ist das Ziel erreicht, fast ungestörtes Si sitzt auf einer dünnen SiO<sub>2</sub>-Schicht und diese wieder auf isolierendem Si, denn die O-Ionen verbinden sich mit dem Si. Das wird als SOI bezeichnet (Silicon on Insulator). Der Vorteil der so erzeugten Schaltelemente besteht im geringeren Leistungsverbrauch, der schnelleren Arbeitsweise und der geringeren Anfälligkeit gegen Strahlungsschäden.

Bei dieser Gelegenheit ist es auch angebracht zu berichten, wie man mit Ionenstrahlen in der Eindringtiefe möglichst gleichmäßig verteilt. Haben die Ionen des Strahls alle dieselbe Energie, dann erhalten die eingepflanzten Ionen eine Gaußsche Dichteverteilung. Wenn man jedoch der Reihe nach mit systematisch kleiner werdenden Energien bestrahlt, dann addieren sich die einzelnen Verteilungsdichten, und es entsteht

eine ziemlich einheitliche Dichte in der gesamten Schicht als Summenverteilung. In der beigefügten Abbildung (siehe ist der Abb. auf S. 87 des unten angegebenen Artikels im Scient. Am. nachgezeichnet) ist die Superposition an Hand einer N-Ionen-Implantation mit den sukzessiven Energien von 10, 20, 50, 100 und 200 keV ersichtlich.

Bisher haben wir fast ausschließlich von der Ioneneinwirkung auf Halbleiter gesprochen. Es ist aber auch möglich, mit Ionenstrahlen Metall- und Keramikeigenschaften in oberflächennahen Schichten in technisch wertvoller Weise zu verändern. Die Härtung von Stahl als Oberflächenmodifikator wurde eingangs schon erwähnt. Mit Ionen lassen sich nicht nur anders nicht vollziehbare Effekte kreieren, die Ionenmethode ist auch billig, bedarf nicht der Umformung des ganzen Werkstückes und vermeidet Adhäsionsprobleme, die bei Ummantelungsverfahren auftreten. Ionenstrahlen können die Härte von Oberflächen steigern, ihre Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb, Oxidation oder Korrosion erhöhen, aber auch den Reibungsbeiwert gegenüber anliegenden anderen Materialien herabsetzen. Ebenso sind gewisse optische und magnetische Verhaltensweisen von Metalloberflächen mittels Ionenimplantation modifizierbar. Allerdings muß die Ionenkonzentration im Eindringbereich des Targets einige Atomprozent des Gaststoffes betragen. Soll etwa Stahl (für Lager, Zylinder, Ventile usw.) durch N-Ionen einbaue gehärtet werden, dann geschieht das bei Temperaturen um 500 °C in einer N<sub>2</sub>- oder NH<sub>3</sub>-Atmosphäre. Es bilden sich durch Verbindung mit den Eisenatomen Nitridkristalle, welche den Stahl oberflächlich härten. Dazu müssen 20% bis 40% N-Ionen eingepflanzt werden. Bei Erprobungsversuchen fiel der Abrieb um den Faktor 10! Die Ursachen für die Härtung sind erst unvollkommen bekannt. Ähnliche Wirkungen erzielen N-Ionen bei Chrom und bei Titanverbindungen. In einem Fall sinkt die Abtragung durch Reibung auf 0,001 des Wertes von unbehandeltem Metall (90% Ti, 6% Al, 4% V). Die erhöhte Abriebfestigkeit ist z. T. auf Phasenübergänge auf Grund der Ionenbestrahlung zurückzuführen.

Korrosion der Stirnflächen von Stempeln aus Metall sowie der Abrieb von Plastikstempeln sind technisch und kostenmäßig belastend. Doch genügt die Einpflanzung von 5 · 10<sup>16</sup> Pt-Ionen pro cm<sup>2</sup>, Stahl gegen den Angriff von 20%iger Schwefelsäure 80 Tage lang vor Schäden zu schützen. Zwar ist Pt teuer, aber hier handelt es sich bloß um Mikrogrammengen.

In der Nukleartechnik bereitet das Anschwellen von Metallteilen im Reaktorkern infolge intensiver Neutronenbestrahlung Schwierigkeiten. Das läßt sich billiger mit Ionenimplantation simulierend erforschen als mittels Anbringen einer Legierungsschicht, weil dazu weniger Ionen gebraucht werden. Ein Materialfilm wird aufgedampft und simultan oder danach steht die Oberfläche des zu untersuchenden Teils unter Ionenbeschuß. Die Ionen rufen dieselben Schäden wie die Neutronen hervor, liefern aber infolge ihres Artenreichtums vielseitigere Ergebnisse. Dasselbe gilt für die Wände von Geräten mit eingeschlossenem Plasma. Auf diese Weise erfährt man, welche Stoffe am widerstandsfähigsten sind.

Ionenbeschuß ist auch ein ausgezeichnetes Mittel, in viel kürzerer Zeit Diffusionsprozesse zu studieren, als dies bei „natürlichem“ Ablauf möglich ist. Schließlich sei noch erwähnt, daß Ionenimplantation in Glas, Keramik und Polymeren die Möglichkeit bietet, die Oberflächen von Isolatoren in gewünschter Weise umzuformen, aber auch die Erzeugung elektrisch leitfähiger Oberflächen bei Isolatoren sowie die Modifikation ferroelektrischer und fotoempfindlicher Keramik zu erlauben. Al- und Ar-Ionen vermögen die Lichtempfindlichkeit gewisser Stoffe um das 10 000fache zu erhöhen. Bei Polymeren kann der Ionenbeschuß die Leitfähigkeit sogar in einzelnen Fällen um den Faktor 10<sup>14</sup> steigern. Das schreibt man dem Brechen von Bindungen der Kohlenstoffatome im Material zu.

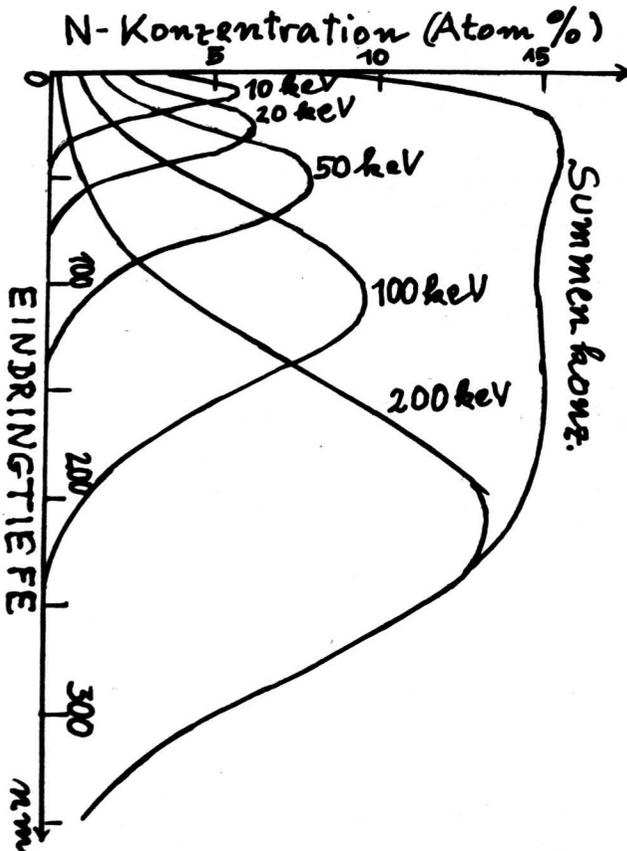
Tatsache ist jedenfalls, daß die Methode der Ionenimplantation bereits kommerziell ertragsfähige und technisch realisierbare Anwendungsformen erreicht hat.

### LITERATUR:

Scient. Am., März 1985, S. 84, S. Th. Picraux, P. S. Peery, Ion Implantation of Surfaces.

## Myonen katalysieren Kernfusion

Oft erleben Gedankengänge nach einer u. U. langen Phase der Nichtbeachtung neuerliche Aktualität. Aus dem nachstehenden Bericht ergibt sich, daß in den Fragen der kontrollierten Kernfusion noch nicht das letzte Wort gesprochen ist. Neben dem Beschreiten des thermonuklearen und des inpressiven Weges wird nun auch auf einen Effekt zurückgegriffen, der



schon im Jahre 1948 von F. C. Franck und A. D. Sacharow vorausgesagt und 1956 von L. Alvarez et al. in Berkeley bei Blasen-kammerversuchen nachgewiesen wurde.

Gehen ein Deuteron, ein Triton und ein negatives Myon in eine Kernreaktion ein, so bildet sich zunächst ein fest gebundenes Gebilde, das als D-T- $\mu$ -Molekül angesprochen werden darf. Aber schon nach  $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ , verschmelzen D und T zu Helium, während das Myon wieder frei und einer neuerlichen katalytischen Betätigung fähig werden kann. Die mittlere Lebensdauer des Myons beträgt  $2,2 \mu\text{s}$ .

Der Prozeß spielt sich bei niedrigen Temperaturen ab, gegenüber der thermonuklearen oder der implosiven Variante ein großer Vorteil!

In Los Alamos, USA, hat eine Physikergruppe bei Zimmer-temperatur 80 Fusionsakte der beschriebenen Art in der dortigen LAMPF-Maschine beobachtet, was sicher nur ein bescheidener Anfang sein könnte. Das wurde anlässlich des Sommerseminars 1984 in Jackson, Wyoming, mitgeteilt, und zwar im Workshop über myoneninduzierte Kernfusion. Daran beteiligten sich etwa 50 Physiker aus verschiedenen Ländern, auch aus Österreich und Westdeutschland.

Das Wiederaufleben des Interesses an den katalytischen Fähigkeiten der Myonen nützte im Jahre 1978 sowjetische Physiker unter der Leitung von L. I. Ponomarew. Sie haben das Modell eines Myonenmoleküls entdeckt, das durch Resonanz entstehen kann, und zwar folgendermaßen:

Ein (exotisches) elektrisch neutrales D- $\mu$ -Atom (genauer  $p\mu^+$ ) dringt in ein Deuteronmolekül ( $DDe^-e^-$ ) oder in ein Deuteron-Triton-Molekül ( $DTe^-e^-$ ) ein und schließt sich mit einem D zum  $(DT\mu^+)^-$ -Molekülion zusammen, ohne das Gastmolekül zu zerstören. Das Ion übernimmt die Rolle eines der nuklearen Zentren des elektronischen Moleküls. Der elektronische molekulare Komplex nimmt die beim Entstehen des Ions freigesetzte Energie in Form von Rotations- und Vibrationsenergie auf.

Derzeit ist man in Dubna, Gatschina, Los Alamos, Vancouver und Zürich mit einschlägigen Versuchen eifrig beschäftigt, für die natürlich ergiebige Myonenquellen verfügbar sein müssen. Man wird sehen, ob diese Methode etwas für die technische Kernfusion bringen kann.

**LITERATUR:**  
CERN-Courier, Dez. 1984, S. 439. Muon-Catalyzed Fusion Revisited.

## CERN: Centauro im Visier

In den ersten Morgenstunden des 17. März 1985 – es war ein Sonntag – ereignete sich bei CERN die bis dahin stärkste, künstlich herbeigeführte Kollision von Protonen (p) und Antiprotonen ( $\bar{p}$ ): Im Detektor des **UA5-Experiments** (Underground **Area 5**) trafen 450 GeV-Protonen mit 450 GeV-Antiprotonen frontal aufeinander. Das Experiment wird von J. Rushbrooke (Cavendish Lab., Cambridge, UK) geleitet. Die Steigerung der Kollisionsenergie vom maximalen Dauerwert 630 GeV auf 900 GeV (im Massenmittelpunktsystem!) ist eine neuerliche „Heldentat“ der CERN-Physiker. Allerdings ist der Dauerbetrieb in dieser Höhe noch nicht möglich, die Magnete, welche die Teilchen in die gekrümmte Umlaufbahn zwingen, würden sich wegen der hiezu erforderlichen erhöhten Stromzufuhr zu stark erhitzen. Deshalb werden 900 GeV nur 4 Sekunden lang aufrechterhalten, dann senkt man die Energie für einige Sekunden auf 100 GeV. In dieser Zeitspanne kühlen die Magnete genügend ab, so daß die Anlage in den nächsten Sekunden wieder mit Vollast laufen kann.

Nach Erreichen des beachtlichen Erfolges entschloß man sich sogleich, die Suche nach den sogenannten „**Centauro-Ereignissen**“ aufzunehmen. Vorläufig kann das jedoch noch nicht systematisch geschehen, weil dem französischen Netz nur an gewissen Tagen die beanspruchten hohen Leistungen entnommen werden dürfen. Trotzdem wird die Möglichkeit genutzt, die Chancen, u. U. auch so auf die Centauro-Spuren im Detektor zu stoßen, sind zu verlockend.

Im Jahre 1972 entdeckte man bei Untersuchungen der kosmischen Strahlung in den Anden 5 Ereignisse, die keinem bekannten Prozeß zugeschrieben werden konnten. Da sie sich im oberen Teil des Chatalaye-Detektors in anderer Form als in dessen unterer Hälfte kund taten, erhielten sie den Namen **Centauro-Ereignisse**. Sie sind auch von keiner Photonemission begleitet und scheinen aus Kollisionen mit der Energietönung 1500 bis 2000 GeV hervorzugehen. Da dies eine reine Schätzung ist, haben die 900-GeV-Zusammenstöße gewisse – wenn auch nur geringe – Produktionschancen. CERN hofft, bis zum Frühjahr 1986 durch Verbesserungen am Kühlsystem (leider ist das ziemlich kostspielig) 900 GeV überschreiten zu können.

Sollte CERN jedoch in den nächsten Monaten keine Centauro-Ereignisse ausmachen, so könnte sich das Tevatron des Fermi-Lab nahe Chicago ab Sommer 1985 der Suche anschließen, und zwar mit 800 bis 1600 GeV. Auch das Tevatron kann vorerst nur unsystematisch arbeiten, der Dauerbetrieb wird erst im Frühjahr 1986 starten.

Der UA5-Detektor ist im Augenblick die größte Streamerkammer, die auf der Erde in Betrieb steht. Die Teilchenspuren erkennt man darin an dem von ihnen ausgelösten Funkenstrom.

Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, daß manche Forscher die Realität der fraglichen Ereignisse sehr skeptisch beurteilen, obwohl die Entdecker der Erscheinungen fest von deren Wirklichkeit überzeugt sind. Auch sowjetische Forscher haben im Pamirgebiet klar erkennbare Centauro-Ereignisse festgestellt.

Bemerkenswerterweise sind noch zwei Ereignisarten ungeklärt, sie werden unter den Namen **binokulare** bzw. **Chiron-Ereignisse** angesprochen. Bei den erstgenannten erzeugen offenbar Kollisionen der kosmischen Strahlung in der Hochatmosphäre zwei oder mehr Jets von Sekundärteilchen. Die andere Ereignisart unterscheidet sich durch mikroskopische Bündelung von Spuren innerhalb eines Jets von den üblichen.

Weil diese unaufgeklärten Vorgänge in großen Höhen (Anden, Pamir) beobachtet wurden, könnten hochfliegende, mit geeigneten Detektoren ausgestattete Passagierflugzeuge laufend Daten sammeln. Die Japan Airlines tun das bereits, indem sie würfelförmige Detektoren (Seitenlänge 20 cm) mitführen. Die Forscher meinen, daß Jumbo-Jets von 50 bis 70 t Masse ohne Schwierigkeiten größere Detektoren (1 m Seitenlänge, 1 t Masse) mitführen könnten.

Hoffentlich werden CERN und/oder das Fermi-Lab bald fündig!

**LITERATUR:**  
Nature, 21. 3. 1985, S. 221, R. Walgate, CERN-Collider Seeks the Centauro.

## Das Chromoplasma

An dieser Stelle war vor nicht allzu langer Zeit über Versuche berichtet worden, die darauf abzielten, durch Frontalkollisionen hochenergetischer Teilchen die nukleare Materie noch höher zu verdichten, als dies an sich schon in den Atomkernen (etwa  $10^{14}$  bis  $10^{15} \text{ g/cm}^3$ ) der Fall ist. Mancher Leser mag dies als absurde Extravaganz rekordsüchtiger Physiker einstufen, bei der Geld „für nichts und wieder nichts“ vergeudet wird. Man sollte sich jedoch vor übereilten Urteilen hüten, solange man nicht den theoretischen und praktischen Hintergrund derartiger Experimente kennt, und dies in zur Urteilsbildung ausreichendem Maße!

Bekanntlich geht sehr heiße Materie in den Plasmazustand über, also in einen Zustand, in dem die Heftigkeit der Wärmebewegung so viele kräftige Zusammenstöße der Atome bewirkt, daß ein Teil der (oder alle) Hüllenelektronen ständig aus dem Atomverband gelöst ist (sind), die Atome somit ionisiert werden und es auch bleiben. Kaum hat ein Kern ein vagabundierendes Elektron eingefangen, schleudert es ein neuer Stoß wieder aus der Bindung fort. Die freien Elektronen im Plasma verleihen dem Plasma eine ebensogute (oder sogar bessere) elektrische Leitfähigkeit, wie sie Metalle besitzen (in denen die Periodizität des in ihnen herrschenden elektrischen Feldes den Leitungselektronen die Freiheit der Bewegung gewährt).

Neben dem Erhitzen führt auch starke Verdichtung zur Bildung eines Elektronengases. Wenn nämlich die Abstände zwischen den Ladungsträgern (Kerne, Elektronen) sehr, sehr klein werden, dann kann ein Elektron nicht mehr „unterscheiden“, zu welchem der sich in seiner Nachbarschaft drängenden Kerne es „gehört“. M. a. W.: Sind Ladungsträger sehr eng aneinander gedrängt, dann schirmen die individuellen Bindungskräfte einander ab, die Ladungsträger sind in freie Beweglichkeit entlassen.

Geht man von den Atomen zu den Hadronen über (Baryonen, wie p, n, . . . , Mesonen, wie  $\pi$ , K, . . . ), dann ergeben sich analoge Überlegungen, deren Gegenstand aber **Quarks** und **Gluonen** sind. (Bei den letzteren handelt es sich um Bosonen, welche die starke Wechselwirkung vermitteln analog den Photonen bzgl. der Coulombwechselwirkung.) An die Stelle der elektrischen Ladung tritt die **Farbladung**, ihre Theorie ist die QCD (= Quantenchromo-Dynamik) und nicht mehr die QED (= Quantenelektro-Dynamik).

Ein weiterer gewichtiger Unterschied zwischen Quarks und QCD ist die offensichtliche Unmöglichkeit, Quarks aus ihrer hadronischen Bindung zu lösen. Der Grund: Photonen sind elektrisch neutral, Gluonen tragen jedoch **Farbladung**, d. h., wenn

dieses Bild erlaubt ist, die Farbfeldlinien ziehen einander an, je weiter man zwei Quarks voneinander disloziert, desto stärker wird die gegenseitige Anziehung. Man könnte das mit zwei durch ein elastisches Band verbundenen Körpern vergleichen. Im mechanischen Fall reißt schließlich das Band, die Körper sind echt getrennt. „Reißt“ aber die Farbbindung zwischen zwei Quarks, dann reicht die investierte Energie aus, ein neues Quarkpaar zu formieren. Unter der in diesem Zusammenhang gängig gewordenen Sprechweise von der „**asymptotischen Freiheit**“ ist gemeint: Haben die Quarks sehr kleinen Abstand (z. B. als Konstituenten von Mesonen und Baryonen), dann wirken zwischen ihnen nur kleine Kräfte, sie sind fast unbehindert beweglich. Wächst hingegen ihr gegenseitiger Abstand über die Länge eines Mesons oder Baryons hinaus, so wird die oben erwähnte Schranke unüberwindlich. Die Kräfte zwischen Protonen, Neutronen usw., also die sogenannten Kernkräfte, sind ebenso Fernwirkungseffekte der Quarks, wie die Van-der-Waals-Kräfte zwischen Atomen und Molekülen Ferneffekte der elektrischen Ladungsträger sind.

Beim Verfolgen der (leidlichen) Analogien zwischen Coulombschen und starker Wechselwirkung, d. h. zwischen Atomen und Hadronen, liegt der Gedanke nahe, daß die Steigerung der materiellen Dichte schließlich auch die Bausteine der Atomkerne (Protonen, Neutronen) so eng zusammenrücken läßt, daß die individuellen, im Nukleon wirkenden Farbkraft zwischen den Quarks de facto so gut wie aufgehoben sind. Dann liegt die Materie als wildes Gemisch von Quarks und Gluonen vor, in dem die Einzelbindungen bedeutungslos geworden sind. Dieser – vorläufig noch hypothetische – Zustand ist eine **neue Form der Materie**, die als **Quarkmaterie** oder auch als **Chromoplasma** bezeichnet wird.

Die Theorie der starken Wechselwirkung ist bereits soweit entwickelt, daß man eine Thermodynamik des Chromoplasma aufbauen konnte, die zwar noch etliche Fragen offen läßt, aber dennoch zu einigen konkreten Aussagen über die Bedingungen gelangt, unter denen Phasenübergänge stattfinden können. Auch die kritische Temperatur  $T_c$ , unterhalb der ein farbneutrales Hadronengas vorliegen müßte, ist bekannt, nämlich  $T_c \approx 200 \text{ MeV}$ , d. s.  $2 \cdot 10^{12} \text{ K}$ .

Die mathematischen und vor allem die numerischen Schwierigkeiten sind beträchtlich, z. T. selbst mit den besten Computern, wie CRAY oder CYBER 205, noch nicht zu bewältigen. Der Automat muß beispielsweise mindestens  $10^5$  Speicherplätze haben. Für jeden Platz eines Gitters von 1000 Zeilen und 4 Spalten ist eine 4000-reihige Determinante zu berechnen, was allein die bestehenden Automaten überfordert. Man hat die Gitterplätze irgendwie zu besetzen und diese Besetzung mittels oftmaliger (vieltausendmaliger) Iteration einer Grenzbesetzung zustreben zu lassen. Aus ihr gehen die interessierenden physikalischen Größen hervor.

Das übliche Plasma ist heiß, sowohl in den Sternen als auch im Labor entsteht es durch Wärmezufuhr. Das Chromoplasma kann man hingegen kalt erzeugen, etwa durch Frontalkollisionen von Nukleonen. Bei den im Bau begriffenen Beschleunigungsanlagen von CERN, nahe Genf, und am Brookhaven National Laboratory in Upton, N.Y., wird alles unternommen, um vielleicht schon 1986 Experimente dieser Art auszuführen und an ihrem Ausgang die Richtigkeit der Theorien über die starke Wechselwirkung zu prüfen.

Vorläufig können die Bedingungen für die reale Existenz von Quarkmaterie (nach dem heutigen Wissensstand) nur in den frühesten Phasen des expandierenden Universums erfüllt gewesen und vermutlich in den Neutronensternen auch heute noch erfüllt sein. Zu prüfen, ob und inwieweit das alles richtig ist, bleibt künftigen Forschungen vorbehalten.

#### LITERATUR:

Phys. Bl., Nov. 1984, S. 346, H. Satz, Quarkmaterie. Das kritische Verhalten stark wechselwirkender Systeme in der Gittertheorie.

## Helium im Labor fast wie im Saturn

Seit langem zerbricht man sich den Kopf, in welcher Form H und He im Inneren der Planeten Jupiter und Saturn vorliegen mögen. Bei Wasserstoff bestehen Vermutungen, er könnte sich dort infolge der hohen Drücke in der metallischen Phase befinden. Bei Saturn kommt noch hinzu, daß der Planet mehr Energie abstrahlt, als er von der Sonne empfängt. Also muß eine innere Energiequelle vorhanden sein, die dafür verantwortlich ist. Eine Erklärungsmöglichkeit wäre im Freisetzen von Energie beim Entmischen und der Partialseparation einer H-He-Flüssigkeit zu suchen.

Am LNL (Livermore Nat. Lab.) in Kalifornien unterwarfen W. J. Nellis und seine Mitarbeiter mittels Stoßwellenkompression He Bedingungen, welche zwar die im Kerngebiet des Saturn herrschenden ( $1 \text{ TPa} = 10^7 \text{ bar}$ ,  $14\,000 \text{ K}$ ) noch nicht erreichen, ihnen aber doch gut genug nahekommen, um den Theoretikern weiterzuhelfen.

Dem genannten Team gelang jedenfalls die Kompression von He auf die fünffache Dichte seiner flüssigen Phase bei gleichzeitigem Erhitzen auf  $12\,000 \text{ K}$ . Der Druck betrug für wenige Augenblicke  $56 \text{ GPa} = 560 \text{ kbar}$ . Die kurze Zeit der maximalen Belastung genügte trotzdem, mit Hilfe von Röntgenstrahlen die maßgeblichen Parameter zu messen.

Die Versuche von Nellis sind nicht die ersten, Saturnbedingungen für He anzustreben, doch bediente man sich neben der von Nellis benutzten zweistufigen Gas-Kanone auch der statischen Kompression und des kontrollierten Einsatzes von Sprengstoffen.

#### Die Gas-Kanone

Im Verbrennungsraum wird Pulver entzündet. Es treibt einen Kolben in den noch relativ weiten Lauf. Der Kolben komprimiert das He-Gas und treibt es weiter in einen zweiten, wesentlich engeren Lauf, in dem sich das Geschöß befindet und mit annähernd konstanter Beschleunigung bewegt. Es verläßt die Düse mit 3 bis  $7 \text{ km/s}$ , trifft auf die Gegenseite des Probenbehälters und löst dort eine Stoßwelle aus, die sich ins He ausbreitet. An der Oberfläche der Probenkammer erfährt die Stoßwelle eine Reflexion, wobei der Druck und die Temperatur auf die maximalen Werte steigen.

#### Datenmessung

Die Geschößgeschwindigkeit ermittelt man durch Röntgenblitz, die Geschwindigkeit der Stoßwelle ergibt sich aus der Durchgangszeit zwischen sich verkürzenden Metallstiften. Genützt wird auch die Fähigkeit gewisser Isolatoren, bei sehr hohem Druck elektrische Leitfähigkeit zu erlangen.

Sobald die physikalischen Parameterwerte von Geschöß und Kammer bekannt sind, ermöglichen die sogenannten Rankine-Hugoniat-Gleichungen die Berechnung von Druck und Temperatur.

Der erste Stoß steigert die He-Temperatur von  $4,3 \text{ K}$  auf  $12\,000 \text{ K}$  und den Druck von ca.  $1 \text{ bar}$  auf  $160 \text{ kbar} = 16 \text{ GPa}$ . Nach der Reflexion der Stoßwelle trifft der zweite Stoß das He und steigert den Druck auf  $56 \text{ GPa}$ .

Die Forscher waren über die gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Versuchsergebnis befriedigt.

#### LITERATUR:

1. Phys. Rev. Lett., 24. 9. 1984, S. 1248, W. J. Nellis et al., Shock Compression of Liquid He to  $56 \text{ GPa}$  ( $560 \text{ kbar}$ ).
2. Nature, 17. 1. 1985, S. 181, P. V. E. McClintock, Doubly Shocked Helium.

## Typ I-Supernovae: Kosmische Meilensteine

Die Abstandsmessung der Himmelskörper ist ein schwieriges astronomisches Problem. Je weiter ein Objekt absteht, um so unsicherer werden die Ergebnisse der Distanzbestimmung. Zwar liefert die Anwendung mehrerer voneinander unabhängiger Methoden in vielen Fällen brauchbare Werte, trotzdem existieren genug andere Fälle, in denen größere Unsicherheit herrscht. Die Quasardistanzen oder der Wert der Hubble-Konstante (mehrere namhafte Astronomen plädieren für  $50 \text{ km/s/Mpc}$ , während andere für  $100 \text{ km/s/Mpc}$  eintreten) sind bekannte Beispiele dafür. Auch die Geschichte der Cepheidenforschung – Cepheiden sind extragalaktische Distanzindikatoren – verzeichnet eine durch neue Beobachtungsfakten erzwungene Skaleneränderung um den Faktor 2.

Deshalb hält man weiterhin intensive Ausschau nach verlässlicheren kosmischen Meilensteinen. U. a. fand im September 1984 am Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics ein Workshop statt, bei dem Alan Sandage, Mt. Wilson Obs., über Typ-I-Supernovae als Distanzindikatoren berichtete. Derartige Ausbrüche scheinen in Binärsystemen, wo ein Partner ein Weißer Zwerg ist, stattzufinden, und zwar dann, wenn dessen Masse durch Akkretion vom anderen Partner her  $1,4$  Sonnenmassen übersteigt. Auffallend ist die Übereinstimmung der Spektren von Typ-I-Ausbrüchen. Sie geht so weit, daß man mehrere solche Spektren übereinanderlegen darf, ohne merkliche Veränderungen des Summenbildes gegenüber jedem Einzelbild wahrzunehmen. Nur die Intensitäten variieren ein wenig.

Die spektrale Konformität entspringt dem Umstand, daß Weiße Zwerge auf dieselbe Entwicklung zurückblicken, wenn sie beim Überschreiten von 1,4 Sonnemassen kollabieren und explodieren. In dieser Phase haben sie genau übereinstimmende Massen. Dann unterscheiden sich für den Beobachter diese Objekte lediglich in der scheinbaren, nicht aber in der absoluten Helligkeit, welche erstere allein von der Distanz des Ereignisses abhängt.

Auf Grund der von Sandage und dem Team unter Gustav Tammann, Univ. Basel, vorgenommenen Kalibrierungen mittels Zuhilfenahme von Cepheiden und den hellsten erkennbaren roten sowie blauen Sternen in verschiedenen Galaxien, ergab sich für die absolute Leuchtkraft der Typ-I-Supernovae der Wert

$$L_{\text{beob}} = (-19,74 \pm 0,19)^M$$

Das Resultat findet in der theoretischen Berechnung von Wheeler kräftige Unterstützung. Er findet den Wert

$$L_{\text{theor}} = -19,7^M$$

wenn er die Hubble-Konstante mit 50 km/s/Mpc einsetzt. Die Übereinstimmung der beiden Werte darf nebenbei auch als Indiz zugunsten des kleineren Hubble-Wertes angesehen werden.

Die Forschung ist allerdings kein Ruhebett. Das zeigte sich, als Nino Panagia, Univ. Bologna, die Workshopteilnehmer mit widersprechenden Daten bzgl. der Supernova SN 1983 in der Galaxie M 83 überraschte. Obwohl vom Typ I, trägt das Spektrum andere Züge als erwartet. Dazu kam noch die Bekanntgabe einiger ähnlicher Beobachtungen. Die Theoretiker waren verblüfft und um eine Erklärung verlegen.

Sozusagen als Trost gab es auch eine gute Nachricht. Im Dezember 1982 konnte der Winkeldurchmesser des SN-Restes 1979c in der Galaxie M 100 mittels globaler Zusammenarbeit von Radiointerferometern (Wellenlänge = 6 cm) bestimmt werden, er beträgt 0,001". Ein Jahr später erbrachte die neuerliche Messung 35% Durchmesserzuwachs. Dies und die aus den auftretenden Dopplerverschiebungen abgeleiteten Geschwindigkeiten ließen den Durchmesser in km und damit auch die Distanz in km bestimmen. Überdies beschränkt die Messung den Hubble-Wert  $H_0$  auf den Bereich  $50 \text{ km/s/Mpc} < H_0 < 100 \text{ km/s/Mpc}$ .

#### LITERATUR:

Sky and Tel., Jänner 1985, S. 18, D. H. Smith, Supernovae: Mileposts of the Universe.

## Hubblekonstante via Gravitationslinse

Die Distanzen weit entfernter Himmelskörper bilden noch immer ein Element der Unsicherheit in den astronomischen Rechnungen. Lediglich die trigonometrisch bestimmbaren Abstände sind über jeden Zweifel erhaben. Der einzige Distanzindikator, der Daten bis zum entferntesten Quasar liefert, ist die Hubble-Beziehung  $v = H_0 \cdot R$ , in der  $v$  die Fluchtgeschwindigkeit,  $H_0$  die Hubblekonstante und  $R$  die Distanz des Objekts bedeuten.  $v$  folgt aus der Rotverschiebung der Spektrallinien nach der Gleichung

$$v = c \cdot \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}$$

Sie gilt für beliebige, auch mit der Lichtgeschwindigkeit vergleichbare  $v$ -Werte, geht aber für  $v \ll c$ , d. h. für  $z \ll 1$ , in die einfachere Beziehung

$$v = c \cdot z$$

über. Der Parameter  $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$  gründet sich auf den Meßwert  $\lambda$  und den Laborwert  $\lambda_0$  der beobachteten Spektrallinie. Leider kennt man  $H_0$  nur sehr ungenau, man weiß lediglich, daß  $H_0$  zwischen 50 km/s/Mpc und 100 km/s/Mpc liegen muß. Fazit: Ein Teil der Astronomen hält sich an den kleineren, ein anderer an den größeren Schrankenwert. Verständlich, daß man schon seit langem intensiv um die Klärung der Lage bemüht ist. Aber bis jetzt konnte der „Stachel“ noch nicht aus dem Körper der Astronomie entfernt werden. Doch jetzt hat es den Anschein, als ob eine Gravitationslinse die Rolle eines Rosettensteines übernehmen könnte.

Lichtstrahlen durchlaufen in der Nähe großer Massen den wirkungsvollsten Teil von deren Schwerfeldern und erfahren darin eine Ablenkung, also eine Bahnkrümmung. Das wurde bei totalen Sonnenfinsternissen und anderen Gelegenheiten einwandfrei nachgewiesen. Läuft der von einer sehr distanten Quelle ausgehende, zur Erde gerichtete Lichtstrom zufällig

durch das Gravitationsfeld einer massiven Galaxie, dann erfährt er eine dem Durchgang von Licht durch eine Linse analoge Veränderung. Unter günstigen Verhältnissen erscheint uns dann die Quelle entweder heller oder lichtschwächer, als wenn kein Schwerfeld vorhanden wäre. In speziellen Fällen ist es sogar möglich, daß der irdische Beobachter zwei verschiedene Lichtquellen wahrnimmt, die aber – infolge der Schwereinflüsse – in Wahrheit nur zwei verschiedene Bilder desselben Objekts sind. Als Beweis ist die völlige Identität der Spektren der zwei Bilder anzusehen. Eine solche Übereinstimmung besitzt dieselbe Aussagekraft wie die Gleichheit zweier Fingerabdrücke.

Das hat sich auch schon einige Male ereignet und ist in den Wiss. Nachr. mitgeteilt worden. (Siehe W. N. Nr. 52, I. 80, S. 36, Eine kosmische Gravitationslinse? Nr. 53, IV. 80, S. 43, Neue Rätsel bzgl. der Doppelquelle 0957+561. Nr. 54, IX. 80, S. 43, Doppelquasar 0957+561 wird offenbar doch durch eine Gravitationslinse gesehen. Nr. 56, IV. 81, S. 47, Noch eine Gravitationslinse? Nr. 62, IV. 83, S. 44, Was Gravitationslinsen verraten können. Nr. 63, IX. 83, S. 47, Die 3. Gravitationslinse. Nr. 67, I. 85, S. 41, Wieder zwei Gravitationslinsen erkannt.)

Ganz abgesehen vom exotischen Charakter realer Gravitationslinien, befindet sich unter ihnen eine, die allem Anschein nach den Schlüssel zur zuverlässigen Bestimmung der Hubblekonstante birgt. Es handelt sich um die Galaxis in der Sehlinie zum Quasar 0957+561, die den Strahlengang des vom Quasar kommenden Lichtes modifiziert.

D. Walsh, R. F. Carswell und R. J. Weymann entdeckten die zwei Bilder des Quasars, die sich dem Auge im Winkelabstand von 6" darbieten. Die beiden Lichtpfade, längs denen die Strahlung fortschreitet, haben also verschiedene Gestalt und damit auch verschiedene Länge. Simultan von der Quelle ausgehende Photonen treffen somit in unterschiedlichen Zeitpunkten beim Beobachter ein. Aus der Verzögerungszeit des später ankommenden Strahls ergibt sich sofort der Längenunterschied der zwei Pfade in km. Würde die Quelle ohne irgendwelche Helligkeitsschwankungen leuchten, könnte die Verzögerung allerdings nicht festgestellt werden. Zum Glück variieren aber die meisten Quasare hinsichtlich ihrer Lichtstärke. Erhöht sich etwa diese in einem bestimmten Zeitpunkt, so bemerkt der Beobachter den Wandel in dem auf kürzerem Wege zustande gekommenen Bild früher als beim anderen Bild. Die Massenverteilung in der als Linse wirkenden Galaxie bestimmt den Verlauf der Lichtpfade und damit den Schluß von der Verzögerungszeit auf die gesamte Länge des kürzeren Weges, der im günstigsten Fall – nämlich, wenn ein Strahl durch das Zentrum der Galaxie geht – geradlinig ist. Die Massenverteilung in der „Linse“ läßt sich, falls die Galaxie sichtbar ist, mit größerer Sicherheit abschätzen und so die Pfadgeometrie berechnen. Alle diese Voraussetzungen sind für den Quasar 0957+561 und für die zwischen ihm und uns gelegene Galaxie erfüllt, also der Weg für die Bestimmung der Hubblekonstante frei. Die Lichtschwankungen erstrecken sich über Perioden von Wochen bis Monaten, sie können bis zu 30% der Lichtstärke betragen.

Von dieser Möglichkeit machten die Astronomen R. Florentin-Nielsen und K. Augusteren vom Observatorium der Univ. Kopenhagen Gebrauch. Sie überwachten die Quasarbilder fotometrisch, indem sie die beiden Bilder öfters mit der 20-Zoll-Schmidt-Kamera fotografierten. Die geographisch nördliche Lage der Sternwarte erlaubt die Beobachtung während des ganzen Jahres, für Kopenhagen ist 0957+561 ein Zirkumpolarobjekt, allerdings – wetterbedingt – unter schlechten Sichtverhältnissen.

In der Zeit von 1980 bis 1982 behielten beide Bilder ihre Helligkeit bei, doch 1982 begann das Nordbild heller zu werden und kehrte erst 1983 in den ursprünglichen Zustand zurück. Die Astronomen warteten nun gespannt, ob und wann das Süd-bild heller würde. Das trat prompt im Juli 1984 ein, die Linsen-hypothese war damit bestätigt und die **Verzögerungszeit von 1,55 ± 0,1 Jahren** ermittelt! Daraus folgt

$$H_0 = (77 \pm 5) \text{ km/s/Mpc}$$

und das Weltalter

$$T = 1/H_0 \approx 13 \text{ Mrd. Jahre.}$$

Mit Hilfe der früher benutzten Methoden konnte nur der Rahmen 43 bis 95 km/s/Mpc angegeben werden. Ausständig ist noch die Berücksichtigung des gravitativen Einflusses des die Linse umgebenden Galaxienhaufens. Ist das geschehen, wird ein noch besserer Wert für  $H_0$  vorliegen.

Überflüssig zu sagen, daß die beiden Bilder weiterhin Gegenstände eingehender Überwachung bleiben werden.

#### LITERATUR:

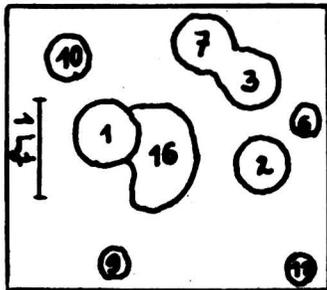
Nature, 4. 4. 1982, S. 402, C. M. Gaskell, Direct Estimate of Hubble's Constant from the Double Quasar.

# Neues vom Milchstraßenkern

## IR-Erkundung

Infrarot-Detektoren und IR-Teleskope bringen Einzelheiten im Kerngebiet (KG) der Milchstraße zutage, sie lüften allmählich den Schleier des Geheimnisvollen, mit dem die zwischen uns und dem galaktischen Zentrum befindlichen Staub- und Gaswolken diese Region verhüllen. Was optisch völlig aussichtslos erscheint – nur ein einziger unter  $10^{12}$  dort emittierten sichtbaren Photonen erreicht die Erde (!) –, das schaffen IR- und Radiowellen in zunehmendem Maße. Die Menge der laufend von dort eintreffenden Daten ist so groß, daß sie bisher noch gar nicht vollständig verarbeitet werden konnten.

Die vom KG ausgesandte 2- $\mu$ m-Strahlung verriet schon vor einiger Zeit die Anwesenheit eines sehr dicht gepackten, großen Sternhaufens. Derzeit ist man bereits in der Lage, einzelne der alten roten Sterne des Haufens auszumachen, Dopplerverschiebungen zu messen und daraus gewisse Schlüsse zu ziehen. In der beigefügten Abbildung ist ein zentrales Feld von 2,5 Lj. Seitenlänge (Sehwinkel 16") wiedergegeben. In ihr ist die Lage der individuell erkennbaren Objekte durch Ovale gekennzeichnet. Die Umrißlinien sind nicht als scharfe Objektgrenzen aufzufassen, denn die Formen und Ausdehnungen der IR-Bilder sind bei verschiedenen Wellenlängen verschieden. Die Objekte sind mit Nummern versehen, um die Hinweise zu erleichtern.



Das Feld wurde mit dem 3-m-IR-Teleskop der NASA auf dem über 4000 m hohen Gipfel des Hawaii-Vulkans Mauna Kea in sieben unterschiedlichen Wellenlängen aufgenommen, und zwar bei 1,85; 2,2; 3,5; 3,8; 4,8; 10,2 und 20,0  $\mu$ m. Je heißer ein Feldelement ist, desto größer tritt es im kurzwelligen Bereich hervor, die kühleren Teile machen sich hingegen im längerwelligen Abschnitt des IR-Spektrums besser bemerkbar.

Das Objekt IRS 7 ist ein roter Überriese, der bei 2,2  $\mu$ m mehr IR abstrahlt als bei kleineren Frequenzen. Er ist daher viel heißer als die interstellare Materie. Dasselbe gilt für IRS 3, doch scheint dieser Stern von Staub umhüllt zu sein, denn er emittiert maximal bei 4,8  $\mu$ m (IRS = Infrarot Source).

IRS 1 und 10 sind Ansammlungen von ionisiertem Wasserstoff, in die heiße Sterne eingebettet sind. Die Strahlung der Sterne selbst wird in der H-II-Wolke absorbiert und von ihr als IR-Strahlung reemittiert. Der Stern erwärmt auch den der Wasserstoffwolke beigemengten Staub auf einige 100 K. Der Temperaturgradient des Staubes ist daraus erkennbar, daß das IR-Abbild der Wolke bei größeren Wellenlängen größer und diffuser als bei 2  $\mu$ m erscheint.

Besonderes Interesse erweckt IRS 16. Seine Lage rückt bei größeren Wellenlängen nach Süden. Man weiß noch nicht, ob dafür eine Temperaturabnahme nach Süden oder die Absorption der Strahlung in einer Vordergrundwolke, die nichts mit dem KG zu tun hat, verantwortlich sind.

Das Gas in der Umgebung von IRS 19 bewegt sich sehr rasch, müßte also längst in den Weltraum entwichen sein, würde es nicht von der Schwerkraft eines Objekts von einigen Mio. Sonnenmassen daran gehindert. IRS 16 scheint auch einen namhaften Anteil an der ionisierenden Strahlung im KG zu bestreiten.

Das Licht der 12,8- $\mu$ m-Linie von ionisiertem Neon verrät die Anwesenheit rasch bewegter Strukturen im KG. Die Linien von neutralem H und He zeigen Geschwindigkeiten von  $\pm 700$  km/s an, doch kann in beiden Fällen nicht gesagt werden, inwieweit sie auf Rotation oder radiale Aus- bzw. Einströmungsvorgänge zurückgehen. Das Letztere wird für wahrscheinlicher gehalten. Die ionisierenden Wolken scheinen einen von Materie entblößten Raum von 5 Lj. Durchmesser zu umschließen.

## Radioerkundung

Nach den IR-Wellen sind die Sichthindernisse zum KG auch für Radiowellen durchlässig. Mit Hilfe der großen Radiointerferometer sind Auflösungen von 1", was im KG 0,2 Lj. entspricht, möglich. Das erreicht die VLA-Anlage des Caltech bei den 6-cm-Wellen. In der 5-Lj.-Umgebung des KG erkennt man auch im Radiobereich einzelne Gasansammlungen, die in der Projektion auf die Himmelskugel wie vier Arme einer Spiralgalaxis erscheinen. Daß da nur eine täuschende Ähnlichkeit vorliegen kann, geht schon aus den Dimensionen der Gebilde hervor. Zudem zeigen die Dopplerverschiebungen im Südarm des Gebildes Geschwindigkeiten von +100 km/s (von uns weg) und –100 km/s (auf uns zu) an, und zwar gerade dort, wo Nord- und Südarm zusammenzutreffen scheinen. Ferner kommen N-, W- und O-Arm im Zentrum einander zwar sehr nahe, aber ohne sich zu vereinigen. Offenbar rotiert ein Ring (5 Lj. Durchmesser) von Materie um das galaktische Zentrum. Der N-Arm mit Geschwindigkeiten von null bis 100 km/s könnte die Fortsetzung des S-Arms hinter dem Zentrum sein. Unklar, weshalb nicht der ganze Ring erscheint.

Die Geschwindigkeit der Bewegungen von O- und W-Arm nehmen gegen das Zentrum zu, aber der O-Arm ist nach der roten, der W-Arm nach der blauen Seite des Spektrums dopplerverschoben. Vielleicht sind diese Arme in einer Fallbewegung zum Zentrum hin begriffen, einer von vorne, der andere von hinten einströmend. Ein Hinweis auf die Existenz eines Schwarzen Loches im KG? Dagegen spricht, daß der IR-Output 100mal größer sein müßte, als er es tatsächlich ist. Vielleicht sieht man aber dennoch zum erstenmal die Akkretion von Materie um ein Schwarzes Loch?

Die neueste Forschung hat unser Wissen über das bis dahin verborgene und rätselhafte galaktische KG in einem Maße vermehrt, das noch vor 40 Jahren als utopischer Traum gegolten hätte. Wir dürfen sicher sein, im erreichten Stand nicht an der Endstufe der Forschung angelangt zu sein!

### LITERATUR:

Sky and Tel., Dezember 1984, S. 494, D. H. Smith, L. J. Robinson, Dissecting the Hub of the Galaxy.

# Das Observatorium auf dem Colar Alto

Auf dem 2160 m hohen **Colar Alto** in Andalusien betreibt das MPI für Astronomie, Heidelberg, das **Deutsch-Spanische Zentrum (DSAZ)**. Die 10 Jahre währende Planung der Anlage oblag ebenfalls dem MPI in Heidelberg. Die Wahl des Standortes wurde durch den auf mehrjährige statistische Erhebungen gestützten Umstand getroffen, daß auf diesem Gipfel während 200 Nächten pro Jahr Himmelsbeobachtungen möglich sind. (In Deutschland eignen sich dazu nur 50 Nächte.) Die Errichtung der Anlage kostete 250 Mio. DM.

Das Observatorium verfügt über 45 Mitarbeiter, darunter zwölf deutsche. Ihnen obliegt die Vorbereitung und die Nutzung der Angestellten Beobachtungen.

Die Anlage verfügt über je ein

- 1,2-m-Teleskop,
- 1,5-m-Teleskop, errichtet vom Span. Nat. Astron. Obs.,
- 2,2-m-Teleskop,
- 3,5-m-Teleskop.

Pro Fernrohr und Jahr ist mit ungefähr 30 Beobachtergruppen zu rechnen.

Der Stolz des Observatoriums ist natürlich der 3,5-m-Spiegel aus Glaskeramik (Cerodur). Seine Masse beträgt 14 t, hergestellt haben ihn die Schott-Glaswerke in Mainz. Das dauerte 20 Monate und erfolgte in 8 Behandlungsstufen:

1. Der Bau des riesigen Schmelzofens, der 40 t Schmelzgut faßte.
2. Erhitzen auf 1600 °C. Die flüssige Masse wurde durch 20 Tage auf dieser Temperatur gehalten, damit sie homogen wird.
3. Abguß von 27 t Glasmasse in die Form.
4. Abkühlung, Entfernen der Seitenwand der Form und Transport zum Kühlofen. Dieser mußte binnen 30 min zugemauert werden, sonst hätte die Masse zerspringen können.
5. Die Masse blieb durch 5 Monate im Kühlofen. Erst dann hatte sie die Außentemperatur angenommen.
6. Der Rohling wurde auf Fehler geprüft und in die vorgesehene Gestalt gebracht.
7. Thermische Nachbehandlung durch 8 Monate bei eutektischen Temperaturen von 670 bis 800 °C. In dieser Zeit ging der

Glaskörper partiell in die kristalline Phase über. Die Wärmeabfuhr unter Konstanthalten der Temperatur war eine Meisterleistung.

8. 3 Monate währendes Nachtemperieren.

Die Bearbeitung des Rohlings nahm die Fa. Carl Zeiß in Oberkochen vor. Die dortige Schleif- und Polieranlage hat 4 m Durchmesser. Die Oberflächengestalt wurde ständig mittels Laser-Interferometers überwacht. Die Prüfvorrichtung befindet sich in einem Prüfturm mit 8 Stockwerken. Die Endform der Spiegeloberfläche ist ein Drehhyperboloid höherer Ordnung, also nicht sphärisch. Die Abweichungen von der Sollfläche durften nur 30 nm betragen, und zwar über die ganze Oberfläche!

Zur Veranschaulichung dieser Toleranz denke man sich den Spiegel (3,5 m) auf den Durchmesser des Bodensees (26 km) vergrößert. Dieselbe relative Toleranz ließe nur maximal 1 mm hohe Wellen auf dem gesamten See zu!

Infolge der großen Spiegelmasse treten elastische Verformungen ein, die durch genau geregelte Lageänderungen und genügend starre Abstützung im Fernrohr zu kompensieren sind.

Die Bearbeitung der Lauffläche des Rotors mußte in **einem Zuge** vorgenommen werden, sie dauerte 27 Stunden. Die Lagerflächen sind Teile von Kugelflächen mit exakt konstanten Krümmungen, es sind hydrostatische Öldrucklager. Der Ölfilm zwischen den Laufflächen ist 0,08 mm dick.

Das Teleskop läßt sich auf nur wenige Bodensekunden genau einstellen. Ferner sind Einrichtungen vorhanden, die jegliche Form der Fehlbedienung verhindern.

Der Dom des Gebäudes für den 3,5-m-Spiegel ist 43 m hoch, die drehbare Stahlkuppel hat 31,5 m Durchmesser. Das Kuppelzentrum wandert bei Drehung höchstens um wenige mm aus. Die Kuppel umschließt 12 000 m<sup>3</sup> Luftraum.

#### LITERATUR:

Umschau i. W. u. T., 15. 10. 1984, S. 666, D. G., Das Fenster zum Weltall.

## IRAS-Ernte am Infrarothimmel

Die Raumfahrt hat den Astronomen die Tür zu allen Wellenlängen der im erdnahen Raum einfallenden elektromagnetischen Strahlung weit geöffnet. Vor den Raummissionen war die Himmelskunde bodengebunden und so auf die Nachrichten angewiesen, die das sichtbare Licht, die Radiowellen und einige andere sehr schmale Frequenzbänder verrieten. Die Transmissionsfenster der Lufthülle sind, gemessen am Umfang des gesamten Spektrums, schmal. Hochfliegende Flugzeuge, Ballons und Raketen brachten wichtige neue Informationen, zuerst über den UV-Himmel, dann über Gamma-, Röntgen-, und Infrarotquellen. Das besondere Nachhaken der IR-Erkundung hing u. a. mit der Schwierigkeit zusammen, sensitive IR-Detektoren zu bauen.

Natürlich haben später schon zahlreiche Raumsonden und Satelliten gute IR-Detektoren besessen und spektakuläre Bereiche eingebracht. Was aber besonders notat, das systematische Absuchen der ganzen Himmelskugel nach IR-Quellen, egal, ob punktförmig oder flächenhaft, das konnten sie nicht ausführen.

Die Lage hat sich mit dem am 25. Jänner 1983 in Vandenberg, USA, gestarteten Satelliten IRAS (= Infrarot astron. Satellit) grundlegend geändert. Auf fast polarer Bahn stets dem irdischen Terminator in 900 km Höhe zugewandt (um 90° Sonnenabstand zu gewährleisten), nahm IRAS 98% des Himmels unter die Lupe, übermittelte zweimal täglich an die  $7 \cdot 10^8$  bits an Informationen und beendete seine ausgedehnte Mission am 22. November 1983, als das flüssige Helium (475 l gab man dem Satelliten mit), mit dem Teile des Teleskops auf tiefster Temperatur gehalten wurden, verdunstet war. Die Kühlung war unerlässlich, weil die Teleskopteile bei Normaltemperatur selbst kräftige IR-Quellen abgeben und die kosmischen Signale stark beeinträchtigt würden. Die inneren Teleskopteile wurden auf 10 K, der große Primär- und der kleine Sekundärspiegel gar auf 2 K gehalten. Letzteres gelang nur, weil man das Helium langsam verdunsten ließ, damit dessen Temperatur unter den Siedepunkt sinkt.

Um allfällige unechte Signale auszuschließen, nahm IRAS jedes Objekt und jede Stelle des Himmelsfeldes nochmals auf. Deckten sich beide Aufnahmen, so sprach man das Objekt (Feldeteil) als sekunden-, stunden-, wochen- und monatsbestätigt an. 99,8% der erfaßten Quellen erwiesen sich so als echt, 2% aller Quellen könnten der Durchmusterung entgan-

gen sein. Insgesamt registrierte IRAS **250 000 IR-Quellen!** 95% davon waren zweistundenbestätigt, d. h. 2 Stunden nach der ersten Begegnung neuerlich identifiziert. 60% der Beobachtungszeit dienten der allgemeinen Durchmusterung, 40% waren Punktbeobachtungen gewidmet.

An Entwicklung und Bau von IRAS beteiligten sich die NASA, Holland und Großbritannien.

Die einfallende IR-Strahlung fiel in der Brennebene auf drei Halbleiter-Detektorensysteme:

1. Das Hauptinstrument war eine Anordnung von 62 Detektoren für den Bereich  $8 \mu\text{m} < \lambda < 120 \mu\text{m}$ , der in 4 Bändern aufgenommen wurde. Ihre Mitten lagen bei 12, 25, 60 und 100  $\mu\text{m}$ . (Ab 1 mm spricht man von Radiowellen.) Die Detektoren waren so empfindlich, daß sie die IR-Emission eines Staubflecks in 2 bis 3 km Abstand wahrnehmen hätten können. Jedes Element des Systems bestrich ein 5' weites Feld nach dem anderen. Die Signalstärke wuchs linear mit dem Gesamt-IR-Fluß im betrachteten Bereich.

2. Das IR-Spektrometer kümmerte sich vorwiegend um heiße Quellen.

3. Das Photometer richtete man auf wegen ihrer Eigenart besonders ausgewählte Quellen aus.

### Die Ergebnisse

Die übermittelte Datenlawine kann natürlich erst in jahrelanger Analyse – und da kaum vollständig – ausgewertet werden. Es ist dasselbe wie bei den optischen Himmelsdurchmusterungen: Beide Datensammlungen sind gespeicherte Informationen, aus denen der Forscher nach Bedarf Einzelheiten erheben kann, wenn konkrete Beobachtungen, Vermutungen oder Theorien der Ergänzung oder Überprüfung bedürfen. Deshalb steht fest, daß der nachstehend gegebene Auszug aus den ersten Analysen der Daten – ebenso wie jeder spätere – eben nur ein Auszug ist, der trotzdem schon jetzt ungemein wichtige Fakten ans Tageslicht bringt. Beginnen wir mit den größten kosmischen Objekten, den

### Galaxien und Quasaren.

Infolge der starken Absorption des Lichtes in der Sehlinie zum Zentrum unserer Milchstraße erhalten wir auf diese Weise keine brauchbaren Informationen über das galaktische Kerngebiet. Erst mit Hilfe der Radioteleskope gelangten Nachrichten direkt und durch IR-Beobachtungen außerhalb der Lufthülle auf dem Funkwege zu uns.

Wie noch kein IR-Unternehmen vorher hat IRAS das Wissen über den Milchstraßenkern bereichert. Es wurden Feinstrukturen offenbar, die bisher verborgen waren, z. B. diffuse Gebilde, die zu groß sind, als daß sie infolge der Begrenztheit der Sichtfelder früheren Beobachtern auffallen hätten können. Diese Gebilde sind i. a. weiträumige Ansammlungen kalter Materie, die vom Kerngebiet ausgehen. Sie verlassen die galaktische Ebene nach oben und unten.

IRAS hat auch gut 10 000 Galaxien entdeckt. Sie emittieren um so mehr IR-Strahlung, bei je größeren Wellenlängen man beobachtet, am stärksten bei 100  $\mu\text{m}$ . (Der Beobachter nimmt allerdings wegen Interferenzeinflüssen seitens anderer IR-Quellen das Maximum bei 60  $\mu\text{m}$  wahr.) Das Verhältnis der IR-Abstrahlung zur Gesamtemission bewegt sich in weiten Grenzen. Es kann nur einige Prozent, aber auch ein namhaftes Vielfaches des übrigen Spektralanteils sein. Während elliptische Galaxien sehr wenig Staub (der eine der intensivsten IR-Quellen darstellt) enthalten, erkennt man fast alle schon längst im sichtbaren Bereich entdeckten staubreichen Spiralgalaxien im IR-Licht wieder. Bedeutet V das Verhältnis der IR- zur Blauheligkeit eines Objekts, dann hat V beim Andromedanebel M 31 nur den Wert 0,03 (obwohl er eine typische Spiralgalaxie ist), bei der Milchstraße beträgt V ungefähr 1. Die erste IRAS-Grobdurchmusterung erbrachte 86 Galaxien mit  $0,5 \leq V \leq 50$  (Mittelwert  $\bar{V} = 5$ ). 9 von diesen Galaxien sind optisch nicht wahrnehmbar. Sie konnten jedoch bei der Feindurchmusterung identifiziert werden. Eine von ihnen ist eine Materieansammlung, die übrigen 8 sind sehr distante Galaxien, deren V-Wert von 30 bis 500 reicht. Überdies besitzen sie die extreme IR-Leuchtkraft des 10- bis 100fachen der Gesamtleuchtkraft einer „normalen“ Spiralgalaxie.

Der für die IR-Strahlung maßgebliche Staub wird offenbar vom Licht neugebildeter, also heißer Sterne erwärmt und reemittiert im IR. Freilich dürfte daneben auch nichtthermische Anregung stattfinden, deren Ursachen aber durch den Staub verdeckt sind. Das scheint bei „aktiven“ Galaxien und bei Quasaren zuzutreffen (Schwarze Löcher?).

Die Staubwolken können durch Massenausstoß im Zuge der Sternentwicklung entstehen. Die hellsten IR-Stahler sind daher

relativ junge Galaxien, in denen Sterne am laufenden Band entstehen. Diese Phase dauert höchstens  $10^9$  Jahre, da die Rate der Sternentstehung auf 40 bis 400 Sonnenmassen pro Jahr geschätzt wird.

Zirka ein Viertel der oben genannten 86 Galaxien hat entweder nahe Nachbarn oder merkwürdige Form. Deshalb hat man auch 7 von den obgenannten 8 unidentifizierten Galaxien hier eingeordnet. Vielleicht lösen Gezeiteneffekte oder Durchdringungen enger Nachbarn die stürmische Sternentwicklung aus. Die für uns nahe gelegene Galaxie Arp 220 stützt die vorgebrachte These. Sie hat  $V = 80$ , ihre Gesamtemission entfällt zu 99% auf IR. Trotzdem besitzt Arp 220 etwa dieselbe optische Leuchtkraft wie gewöhnliche Galaxien. Dasselbe gilt für ihren Radioausstoß.

Die Quasare sind mit hoher Wahrscheinlichkeit (ebenso wie die Seyfert-Galaxien) Galaxien mit aktivem Kern. Enthält er ein Schwarzes Loch (SL), dann sammelt es aus den umgebenden Teilen des Gebildes Staub in einer Akkretionsscheibe, der beim Einsturz ins SL teilweise in Energie übergeht, die der Quasar dann so freigiebig als Radio-, Röntgen- und andere Strahlung nach außen abgibt. Wegen des riesigen Abstandes der Quasare erhalten wir relativ wenig IR-Licht von ihnen. Dennoch hat IRAS etliche Quasare IR-identifiziert. Da ist die starke Radioquelle 3C 390 - 3 zu nennen, die mit einer riesigen elliptischen Galaxie assoziiert ist. Abstand nahezu  $10^9$  Lj. Das Objekt emittiert im IR stärker als in den drei anderen Spektralabschnitten (Radio, sichtbar, Röntgen), und zwar maximal im 25- $\mu$ m-Band. Die Ursache ist unbekannt.

Die Quasare werden in radiostille und radiolaute Objekte unterteilt, die Radioleuchtkräfte unterscheiden sich bis um den Faktor  $10^5$ , obwohl die UV- und optischen Spektren beider Klassen ähnlich strukturiert sind. IRAS nahm drei radiolaute und zwei radiostille Quasare aufs Korn. In den vier IR-Bändern waren keine großen Unterschiede zu bemerken, also fallen diese in den Bereich  $\lambda > 100 \mu\text{m}$ . Das Gleiche dürfte bei den radiolauten Quellen nicht zutreffen, der spektrale Übergang vom UV zum Radiokontinuum ist glatt. Vielleicht ist das Auftreten des IR-Überschusses bei rund 0,1 mm in der Art der Energiefreisetzung begründet. Synchrotronstrahlung infolge der schraubenförmigen Bewegung von Elektronen, die als Jets den Kern verlassen, mag für radiolaute Quellen gelten. Oder thermische Emission der radiostillen, offenbar staubreicherer Quasare.

## Sterne

Schon vor dem IRAS-Start war eine erkleckliche Anzahl stellerer IR-Quellen bei Raummissionen aufgefunden worden, darunter einige mit hoher IR-Emission. IRAS betrieb die Suche systematisch und nach allen Richtungen. Besonderes Augenmerk galt den Fakten, die mit der Geburt und dem Tod von Sternen zusammenhängen. Sterne entstehen, so glaubt man heute, durch die Kontraktion dichter Staub- und Gasteile interstellarer Wolken. Der umgebende kalte Staub entzieht einen entstehenden Stern unserer Sicht. Andererseits geben sterbende Sterne reichlich Gas und Staub an den Weltraum ab, was ebenfalls die Sicht behindert. Die IR-Strahlung der Staubumgebung liefert die einzigen Auskünfte über derartige Objekte.

Im Sternbild Perseus befindet sich die kleine Dunkelwolke **Barnard 5**. In ihr fand IRAS vier diskrete IR-Quellen. Die IR-hellste wird wahrscheinlich von einem Stern in dessen erster, hellster Phase nach Beginn des H-Brennens angeregt. (In den ersten  $10^5$  Jugendjahren dürften neue Sterne am kräftigsten strahlen.) Der Stern besitzt vermutlich 10fache Sonnenleuchtkraft, aber wohl nur eine Sonnenmasse. Die Staubtemperatur schätzt man auf 30 bis 800 K.

Eine andere Wolke am Südhimmel, **Chamäleon 1**, enthält 70 Punktquellen (darunter sind sicherlich auch etliche Hintergrundsterne). Einige von ihnen liegen so dicht, daß Einzelheiten ununterscheidbar werden. 17 Punktquellen sind (wie die neuen Sterne in Barnard 5) in dichten Staub gebettet, einige haben die Wolke schon verlassen, sind aber noch immer von Staub umgeben. In 25 Fällen erkennt man nur kühle Ansammlungen von Materie, die sich vielleicht anschicken, zu Sternen zu werden.

Am Ende ihres Lebens werden Sterne oft zu Roten Riesen, die sich zumeist in planetarische Nebel auflösen, seltener in einer Supernova-Explosion aufblitzen. Das Ausschleudern von Materie nimmt mit dem Alter der Riesensterne zu. Verströmt er anfänglich in  $10^5$  Jahren eine Sonnenmasse, so schrumpft dieser Zeitraum später auf  $10^4$  Jahre zusammen. Solche Objekte sind nicht optisch, wohl aber IR-sichtbar. IRAS hat etliche von ihnen entdeckt.

In der Endphase werden Sterne variabel, offenbar flackern sie, weil der nukleare Brennstoff zu Ende geht. Bei den meisten

starken IR-Quellen dieser Art fand IRAS überraschenderweise keine Variabilität. Reicht vielleicht der Brennstoff nicht einmal mehr für Sternpulsationen aus, durch die die Leuchtkraft schwankt? Das bedarf der Klärung.

Die spektakulärste IRAS-Entdeckung ist der **Staubring der Wega** im Sternbild Leier. Wenn nicht alle Anzeichen trügen, darf der Ring als **Vorstufe eines Planeten** angesehen werden.

Neben Wega zeigt auch die Staubhülle von **Fomalhaut** im südlichen Sternbild Südlicher Fisch Eigenschaften, die ziemlich deutlich auf die Existenz einer Planetenvorstufe hinweisen. Auch beim Fomalhaut-Ring haben die Körnchen etwa 1 mm Durchmesser.

Der Wega-Staubring stimulierte sofort IRAS-Suchen nach anderen, in gleicher Weise verdächtigen Objekten. Nicht vergeblich, denn es fanden sich an die 50 Sterne mit deutlichen Anzeichen eines Ringes, aus dem ein Planet hervorgehen könnte. Aber das ist vorläufig noch fraglich.

## Sonnensystem

Selbstredend nahm die IR-Erkundung des Planetensystems breiten Raum im Forschungsprogramm ein. Da gab es zuerst den IR-Hintergrund, der z. T. Staubteilchen entstammt, von denen das Zodiaklicht ausgeht. Sie bevölkern hauptsächlich die ekliptische Ebene, jedoch fielen zwei Staubbänder auf, die mit ca.  $9^\circ$  Neigung in die Halbräume oberhalb und unterhalb der Ekliptik ebene „ragen“. Der IR-Hintergrund fällt in das 12- $\mu$ m- und in das 20- $\mu$ m-Band. Die Größe der Staubteilchen beträgt etwa 30  $\mu\text{m}$ , ihr Albedo liegt bei 0,1 bis 0,2 (vermutlich dunkle Silikate), sie haben mit 275 K fast Zimmertemperatur. Großflächige Quellen von  $1/2^\circ$  bis  $10^\circ$  Winkeldurchmesser – sie tragen besonders zum 100- $\mu$ m-Anteil bei – hat man wegen des Aussehens **IR-Cirren** genannt. Ihre Natur ist ungewiß. Soweit feststellbar, haben sie etwa 1000 AE Sonnenabstand (d. i. der 25fache Bahnradius des Planeten Pluto), vielleicht teilweise auch noch viel größere Distanz. Sie könnten eine Beziehung zur **Oort-Wolke** haben, in der die Kometen entstehen. Z. T. befinden sich die Cirren außerhalb des Planetensystems, aber doch noch in seiner Nachbarschaft. Manche Cirren koizidieren mit interstellaren Staub- und Gasansammlungen, die von sterbenden Sternen ausgesandt und durch Stoßwellen von Supernovae vertragen wurden.

Die im 60- bis 100- $\mu$ m-Band strahlenden Cirren sind mit 25 bis 50 K relativ warm, es kommen wegen deren langsamerer Wärmeabgabe Graphitteilchen als Partikelkomponenten in Betracht.

IRAS meldete ferner rasch bewegliche Objekte, die sich als **Kometen** herausstellten. Am 26. 4. 1983 entdeckten IRAS und unabhängig von ihm zwei Amateurastronomen den **Kometen IRAS-ARAKI-ALCOCK**.

Darauf folgte am 11. 5. 1983 die nächste Kometenentdeckung. Mit damals 11 Mio. km Abstand kam er der Erde näher als je ein anderer Komet seit 200 Jahren. Sein Kopf erscheint im IR wie im sichtbaren Licht ziemlich gleichartig, im Gegensatz zum Schweif. Optisch erscheint der Schweif schwach, eng und kurz, im IR jedoch hell, weit und 200 000 bis 400 000 km lang. Die Schweifpartikeln könnten Eis sein, doch glaubt man eher an Silikatstaub, der dem Kopf im Ausmaß von 200 kg/s entströmt. Vier andere Kometen erwiesen sich als visuell schon länger bekannte Objekte.

Schließlich ist im optischen Bereich beim gleichfalls bereits bekannt gewordenen **Kometen Temple 2** kein Schweif auszumachen, wohl aber sah IRAS einen 30 Mio. km langen (!) schmalen Schweif.

Das am 11. 10. 1983 aufgefallene Objekt **1983 TB** ist ein **tochter Komet**, welcher der Sonne bis auf 20 Mio. km (weit innerhalb der Merkurbahn) nahekommt. Er ist kein Asteroid, die Bahn fällt mit der Bahn des Gemini-Meteoritenschwarms zusammen, die im Monat Dezember jährlich von der Erde durchschritten wird.

Natürlich hat IRAS auch nach einem allfälligen Transpluto als 10. Planeten Ausschau gehalten, gewisse unaufgeklärte Störungen der Pluto- und Neptunbahn könnten auf ihn zurückgehen. Das Ergebnis war negativ.

Die reiche, von IRAS eingebrachte Ernte ermuntert zu ähnlichen Projekten. Hoffentlich werden sie ausgeführt. Der springende Punkt ist die Finanzierung.

## LITERATUR:

Scient. Am., Nov. 1984, S. 43, H. J. Habing, G. Neugauer, The Infrared Sky.

# Kurznachrichten

**Kooperation VW—GMD.** Die Ges. f. Mathematik und Datenverarbeitung (GMD) hat mit der Volkswagen AG einen Kooperationsvertrag abgeschlossen. Die Konstruktion der Motoren erfordert nämlich den Einsatz schwieriger mathematischer Hilfsmittel, welche das von der GMD entwickelte **Mehrgitterverfahren** bereitstellt. Zur weiteren Verbesserung des Otto-Motors ist es notwendig, die Vorgänge bei Kompression und Verbrennung genau zu kennen.

Man ist zwar schon an unglaubliche Computerleistungen gewöhnt, doch die Lösung von Gleichungssystemen mit einigen Millionen Variablen war bisher unmöglich. Der von **Prof. Ulrich Trottenberg**, GMD, entwickelte **Mehrgitter-Algorithmus** scheint nun auch diesem Problem beizukommen. Leistet das Verfahren das Gewünschte, dann könnten verschiedene neuartige Konstruktionen simuliert und beurteilt werden.

Die nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen beschreiben u. a. dreidimensionale Turbulenz- und Explosionsvorgänge im Otto-Motor. Je mehr Variable man einführt (feinere Gitterunterteilung), desto genauere Aussagen liefert der Algorithmus. Erst bei  $10^5$  bis  $10^7$  Variablen wird die Simulation genügend genau. Das den anderen bei der GMD gebräuchlichen Arten der Datenaufbereitung überlegene Mehrgitter-Verfahren vermochte im Jahre 1983 Gleichungssysteme mit rund  $10^5$  Unbekannten in kürzester Zeit zu lösen. Konventionelle Methoden brauchen dazu 1000mal länger. (**Lit.:** Umschau i. W. u. T. nach GMD-Spiegel 2/84 als Quelle, 12. 10. 1984, S. 625, GMD und VW vereinbaren Kooperation.)

**Verflüssigter Diamant.** Ohne Absicht, eine Kohlenstoffphase zu verflüssigen, entdeckten die vier Geologen J. S. Gold, W. A. Bassett, M. S. Weathers und J. M. Bird von der Cornell-Universität, daß Diamant schmelzen kann. Sie untersuchten Möglichkeiten für den Übergang Graphit→Diamant. Die Modifikationen von Kohlenstoff im Erdinneren sollten erforscht werden.

Sie legten Graphit in eine Diamant-Amboß-Druckzelle und belasteten die Probe mit 120 kbar. (Die Zelle kann Drücke bis zu 450 kbar ausüben.) Um auch die im unteren Erdmantel herrschende Temperatur herbeizuführen, richtete Gold einen intensiven Laserstrahl durch den durchsichtigen Diamantbelag des Druckstempels auf die Probe. Er hoffte, den Graphit auf diese Weise zu schmelzen. Versehentlich war aber der Laserstrahl intensiver als vorgesehen gewesen. Die Folge: Der Diamantbelag wurde beschädigt. Als man die Art des Schadens zu eruiieren versuchte, kam man dahinter, daß der Diamant geschmolzen war!

Es wäre durchaus möglich, meinen die Cornell-Leute, daß der untere Erdmantel flüssigen Kohlenstoff enthält. (**Lit.:** Scient. Am., Nov. 1984, S. 64, Hot Ice.)

**Polymere als organische Elektrizitätsleiter.** Im Jahre 1977 entdeckten A. G. McDiarmid und A. J. Heeger das erste elektrisch leitfähige organische Polymer. Es war mit Jod gedopptes Polyacetylen. In der Folgezeit stieß man auf etwa 10 Polymere, die gleichfalls metallische Leitfähigkeit besitzen. Leider sind sie schwierig zu behandeln und teuer.

In jüngster Zeit fanden McDiarmid und seine Mitarbeiter, Univ. of Pennsylvania, in Polyanilin eine billige, im Labor recht handliche Verbindung, die der elektrische Strom gut leitet. Das Ausgangsmaterial, monomeres Anilin, ist billig und ohne Schwierigkeiten zu polymerisieren. Statt den Stoff mit einem Oxidationsmittel, etwa Jod, zu dopen (um den Anilinkernen Elektronen zu entziehen und dadurch den Löchern bei Anlegen von Spannung Gelegenheit zu geben, sich wie positive Ladungsträger frei zu bewegen, p-Leitung), pflanzte man dem Polymer Protonen vermöge einer Behandlung mit HCl ein. Dies setzt bewegliche Protonen frei, die als Stromleiter fungieren. Das entstehende Salz hat einen  $10^{11}$  mal kleineren spezifischen Widerstand als das ungedoppte Polymer. Die Ursache der Erscheinung ist noch unbekannt.

Kommt das gedoppte Polymer mit Wasser in Berührung, so büßt es die gute Leitfähigkeit ein. Das ist technisch bedeutungsvoll, denn die Entdecker stellten fest, daß sowohl das gedoppte als auch das isolierende Polyanilin rasch (durch Reduktion) das entzogene Elektron wieder in die Fehlstellen einbaut.

Die Forscher haben auf Grund dieser Eigenschaften bereits eine Blitzlichtbatterie geschaffen, die man nach Gebrauch nicht wegwerfen muß, sondern nochmals verwenden kann. (**Lit.:** Scient. Am., Nov. 1984, S. 64, Polymer Power.)

**Kügelchen aus dem Weltraumlabor.** Mikroskopisch kleine Gummikügelchen, von denen ein jedes so ebenmäßig und kugelförmig wie das andere ist, wurden 1982 bis 1983 bei Weltraumexperimenten erzeugt. Die fast unsichtbaren Latex-(gleich Gummi-)perlen mit einem Durchmesser von nur einem

Hundertstelmmillimeter wuchsen durch die fehlende verformende Erdanziehungskraft so gleichartig heran, wie es bei entsprechenden Versuchen auf der Erde nicht gelingen würde. Diese Partikeln sind für medizinische Untersuchungen wichtig, wenn die Porengröße von menschlichen Zellen genau bestimmt werden soll wie bei Krebserkrankungen oder beim Grünen Star des Auges. Die Gummikügelchen sollen in Wasser aufgeschlämmt und demnächst in Ampullen verkauft werden. (**Lit.:** Research & Development, Oktober 1984, S. 47.)  
Petra Schulz

**Lichtverschmutzung am Himmel.** 17 000 grelle Leuchtröhren sollten die Straße in San Diego/Kalifornien erhellen. Es handelte sich dabei um sogenannte Natriumhochdrucklampen, die nach dem Prinzip der Gasentladung arbeiten. Da die Astronomen von der 100 Kilometer entfernten Sternwarte auf dem Mount Palomar durch das helle künstliche Licht bei ihren Messungen erheblich beeinträchtigt worden wären, die Wissenschaftler sprachen sogar von „Licht-Verschmutzung“, mußten statt der Hochdrucklampen die weniger leuchtstarken Natrium-Niederdrucklampen beschafft werden. (**Lit.:** Physik in unserer Zeit 15 [3], S. A20, 1984.)  
Petra Schulz

**Nackter Urkern.** In den Schwerionenbeschleunigern verlieren die aus der Ionenquelle kommenden Teilchen weitere Hüllenelektronen. Den Rekord erbrachte man am LBL (Lawrence Berkeley Lab.) der Univ. of Calif. mit der totalen Entfernung sämtlicher Elektronen von  $^{92}\text{U}$ -Atomen. Die bereits teilweise ionisierten, auf 261 000 km/s ( $= 0,87 \cdot c$ ) beschleunigten U-Atome mußten eine 0,1 mm starke Cu-Folie durchdringen. Nach dem Durchgang waren 85% der Partikeln nackte U-Kerne, die restlichen 15% verfügten nur mehr über ein einziges Hüllenelektron. Maßgeblich für das Ergebnis war die hohe Partikelgeschwindigkeit. Sie war größer als die Umlaufgeschwindigkeit der Hüllenelektronen, die bei den Zusammenstößen mit den Folienbausteinen zurückblieben. Durch Variation der Strahlgeschwindigkeit ist es möglich, jede gewünschte Anzahl von Elektronen den Uranatomen zu entziehen. Die Beschleunigung erfolgte am **Bevalac** (Bevatron + Super HILAC Accelerator) des LBL. Was wurde damit für die Physik gewonnen?

a) Die Röntgenemission von angeregten 1-Elektronen-Ionen des Uran dient der Überprüfung der Quantenelektrodynamik (QED).

b) Anregung zum Bau eines Speicherringes mit gegeneinander laufenden nackten U-Kernen mit relativistischen Geschwindigkeiten. Die in einem solchen Ring stattfindenden Frontalkollisionen könnten in den U-Kernen Dichten, Temperaturen (d. h. Quarkenergien) und Drücke erzeugen, die nur in den ersten Augenblicken der ersten Sekunde nach dem Urknall realisiert waren. (**Lit.:** Phys. Rev. Lett., H. Gould et al., Bd. 52, S. 180 und S. 1654, 1984.)

**Die Leistungen der Blasenkammer BEBC.** Die riesige (3,7 m Durchmesser) Blasenkammer BEBC (Big European Bubble Chamber) hat nach 11jähriger Dienstleistung am CERN die Tätigkeit eingestellt. Zuerst am 28-GeV-PS (Proton Synchr.) eingesetzt, bewährte sie sich später ebenso beim 450-GeV-SPS (Super Proton Synchr.). Nicht weniger als 13 Mio. Kolbenhübe expandierten das Kammervolumen, so daß 6,5 Mio. Fotos der Bläschen Spuren, erzeugt von den durchdringenden geladenen Teilchen, aufgenommen werden konnten, und das aus verschiedenen Richtungen. Die Kammer war je nach Bedarf mit flüssigem  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$  oder  $\text{H}_2$ -Ne-Gemisch gefüllt. Die Füllung hatte, wie der völlig klaglose Betrieb erwies, nicht die geringste Chance, mit der Luft in Berührung zu geraten.

Würde man den 70-mm-Film mit den 6,5 Mio. Fotos als Band aufrollen, ergäbe das einen 3000 km langen Streifen. Der supraleitende Magnet befand sich durch 86 500 Std. auf der Temperatur des flüssigen  $\text{H}_2$ , ihn durchfloß während 25 000 Std. der volle elektrische Strom. Die Analyse der Spurenfotos erfolgte in 50 Labors. Trotzdem ist die Analyse noch keineswegs abgeschlossen. Bis jetzt waren die Ergebnisse von BEBC Gegenstand von mehr als 100 wissenschaftlichen Publikationen. Mindestens 550 Forscher benutzten die Kammer im Zuge ihrer Tätigkeiten. BEBC wurde bei Neutrinoexperimenten mit einem Nachweisgerät für Myonen in zwei Ebenen ausgestattet, das 150 m<sup>2</sup> an Drahtkammern (Funkenkammern) enthielt. Eine erstaunliche Bilanz! (**Lit.:** CERN Courier, 1/II 1985, S. 14, Track Record.)

**SSC-Parameter.** Der Bau des geplanten **Superconductivity Super Collider (SSC)** in den USA hat zwar noch nicht begonnen (ist auch noch nicht bewilligt), aber die Planungsvorbereitungen sind bereits voll im Gang, denn die Genehmigungschancen liegen sehr hoch. Auch ist noch nicht endgültig über die Gestaltung der Anlage entschieden, weil man bei Vorbereitung und Bau flexibel genug bleiben will, um sich allenfalls ergebende Verbesserungsmöglichkeiten offenzuhalten. Für das Ausführungsmodell A sind folgende Parameterwerte vorgesehen:

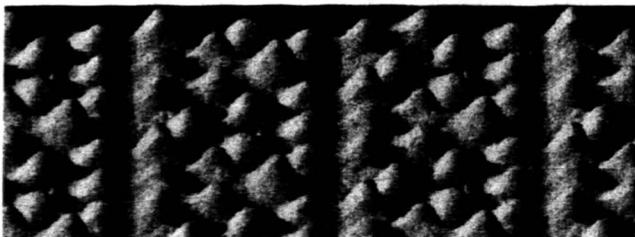
Maximale Teilchenenergie pro Ring (TeV) . . . . .	20
Luminosität in jeder WW-Zone ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) . . . . .	$10^{33}$
Anzahl der WW-Zonen . . . . .	6
Injektionsenergie (TeV) . . . . .	1
Maximale magnetische Flußdichte (T) . . . . .	6,5
Maximale Stromstärke (A) . . . . .	5400
Abstand sukzessiver Teilchenbündel (m) . . . . .	10
Ringumfang (km) . . . . .	90
Zahl der Teilchen pro Bündel . . . . .	$1,45 \cdot 10^{10}$
Anzahl der Bündel pro Ring . . . . .	9000
Freier Raum am Wechselwirkungspunkt (WW-Punkt) (m) . . . . .	+/-20
Auftreffwinkel zwischen den kollidierenden Strahlen am WW-Punkt . . . . .	6,5" bis 22"
Beschleunigungsperiode von 1 TeV auf 20 T2V (min) . . . . .	16
Anzahl der Dipole pro Ring . . . . .	3870
Geschätzte Kosten ohne Detektoren und Grundkosten (Mrd. Dollar) . . . . .	2,725
(Lit.: Physics News 1984, Report of Am. Inst. of Physics, S. 32, St. G. Wojcicki, The Superconducting Collider.)	

**Ein Brauner Zwerg.** In 21 Lichtjahren Abstand befindet sich der Stern **van Biesbroeck 8**, der von einem Objekt umkreist wird, das zu groß ist, um als Planet, und zu klein, um als Stern gelten zu können. Dieser Begleiter namens **van Biesbroeck 8B** hat mehrere Dutzend Jupitermassen, was nicht für den Beginn des H-Brennens in der Kernzone ausreicht – dazu wären mindestens 0,08 Sonnenmassen, d. s. 80 Jupitermassen, nötig. Die riesige Kugel aus H und He hat nicht sehr viel weniger Masse als der Primärpartner van Biesbroeck 8. Obwohl schon früher vermutet, ist van Biesbroeck 8B der erste identifizierte Vertreter einer neuen Klasse kosmischer Objekte, die den Namen **Braune Zwerge** tragen.

Die Arizona-Astronomen D. W. McCarthy und F. J. Low verfolgten ursprünglich das Ziel, kühle, sehr lichtschwache Begleiter von Sternen im IR auszumachen, weil sie in diesem Bereich einen beträchtlichen Helligkeitsvorteil gegenüber der Primärkomponente haben. Dabei kam der Gedanke auf, nach Braunen Zwergen in der nahen Sonnenumgebung zu suchen. Mit Hilfe des Speckle-Verfahrens (Überlagerung von mehreren, im Vergleich zur Zeiträte der einzelnen Luftturbulenzen kürzer exponierten Himmelsaufnahmen) gelang das Vorhaben.

Man will nun mit dem Hubble-Raumteleskop in den 1990er Jahren den Himmel nach Braunen Zwergen absuchen. Vielleicht läßt sich die „fehlende Masse“ im Universum auf derartige Objekte zurückführen, die sich uns – falls in größeren Mengen vorhanden – wegen ihrer geringen Helligkeit bisher entzogen haben. (Lit.: Science, 4. 1. 1985, S. 44, M. M. Waldrop, More Than a Planet, Almost a Star.)

**Abbildung von Atomen mittels Tunnelleffektes.** Neben das Feldelektronen- und das Feldionen-Mikroskop ist nun ein drittes Gerät getreten, das die Abbildung von Atomen in ihrer Anordnung auf Kristalloberflächen erlaubt. Die atomare Struktur erscheint im Bild als dichte Anordnung kleiner Hügel, die durch Furchen getrennt sind. Die Hügel repräsentieren die Elektronenhüllen der Atome, die Furchen sind der leere Raum zwischen den Atomen. Die „Hügel“ erklären sich durch die Unschärfebeziehung, die keine scharfe Position eines Objektes zu beobachten gestattet.



Tunnel-Mikrograph von Si-Atomen auf der Kristalloberfläche. Die äußeren Elektronenhüllen erscheinen als Hügel.

Befindet sich eine Nadel mit scharfer Spitze ganz nahe der Kristalloberfläche, dann besteht eine endliche Wahrscheinlichkeit für das Hinüberwechseln eines Elektrons von der Nadelspitze zur Oberfläche, obwohl die elektrische Feldverteilung dies in klassischer Sicht verbieten würde. Der quantenmechanische **Tunnelleffekt** erlaubt jedoch den Übergang. Allerdings ist der Tunnelstrom sehr stark vom Abstand Nadel–Oberfläche abhängig. Wächst er nur von einem auf zwei Atomdurchmesser an, so mindert sich der Tunnelstrom um den Faktor 1000.

Das so agierende „Mikroskop“ führt eine Nadel viele Male über die Oberfläche der Probe. Der Abstand wird durch einen

Rückkopplungsmechanismus dadurch konstant gehalten, daß ihn die Stärke des Tunnelstromes steuert. Die Nadelbewegung wird elektronisch überwacht. Das erste Gerät dieser Art entstand im Jahre 1981 bei IBM in Zürich.

Dem neuen Gerät erwachsen mannigfaltige Aufgaben. Das Verständnis der Katalyse und des Kristallwachstums kann beispielsweise verbessert werden, wenn die dafür maßgeblichen topographischen Details der atomaren Verteilung auf der Oberfläche offengelegt sind. Ebenso ist Näheres über den Aufbau der Zellen von Lebewesen zu erhoffen. In einigen Labors bemüht man sich bereits um die Konstruktion von Kombinationen der Tunnel- und konventionellen Elektronenmikroskope. (Lit.: Scient. Am., Februar 1985, S. 52, Atomic Topography.)

**Wie viele Atome konstituieren ein Metall?** Zu den typischen Metalleigenschaften gehören das elektrische und magnetische Verhalten, theoretisch abgeleitet aus dem Bändermodell der erlaubten und verbotenen Energiezustände der Hüllenelektronen. Wie steht die Sache aber, wenn ein winziges Splitterchen eines Metalls nur ganz wenige Atome enthält? Wo liegt die Grenze, von der an die charakteristischen Metalleigenschaften auftreten?

Das ist eine interessante Frage, der man aber nur nahetreten kann, wenn genügend kleine „Körnchen“ zur Verfügung stehen. Die Produktion solcher Atomklumpen, die sich natürlich zudem aus gleichen Anzahlen von Atomen zusammensetzen und oxidfrei sein müssen, begegnete zunächst erheblichen Schwierigkeiten, ehe es D. C. Johnson und Mitarbeitern gelang, die gewünschten Objekte in ausreichender Anzahl herzustellen. Das geschah in Cambridge und in Mailand. Der Durchmesser der Metallklumpen beträgt lediglich 0,5 bis 10 nm.

Die Untersuchungen erfolgten an Klümpchen von nur 3 bis 10 Os-Atomen. Die Atome werden dadurch zusammengehalten, daß ihre gegenseitigen Abstände ungefähr dieselben sind wie in großen Os-Stücken. Die Messungen erkundeten das Verhalten von 1,5 bis 300 K. Dabei erwies sich die Temperaturabhängigkeit der paramagnetischen Suszeptibilität. Sie steigt aber bei wachsender Atomzahl. Die ersten Anzeichen von Paramagnetismus sind schon bei Ansammlungen von 10 Atomen nachweisbar. Zum Auftreten der elektrischen Leitfähigkeit ist die vollständige Ionisation der Atome im Klümpchen nötig, wozu 0,1 bis 10 eV ausreichen. (Lit.: Nature, 21. 3. 1985, a) S. 224, D. M. P. Mingos, How Many Atoms Make a Metal? b) S. 231, D. C. Johnson et al., Study of Magnetism in Os-Clusters as Molecular Models for Small Metallic Particles.)

**Ist  $z \approx 3,5$  wirklich eine obere Schranke für die Rotverschiebung von Quasaren?** Derzeit kennen wir nur 7 Quasare mit Rotverschiebungen  $z \geq 3,4$ , obwohl die einschlägigen Beobachtungen schon über 2 Jahrzehnte erfolgen. Das induziert die Ansicht, daß die Liste der Rotverschiebungen bei etwa  $z = 4$  nach oben abgeschlossen sein könnte (Cut-off bei  $z = 4$ ). Nun fand man aber zwei weitere Quasare mit  $z = 3,4$  und  $z = 3,7$ , die sich in derselben Himmelsregion befinden, wie das bereits länger bekannte Objekt mit  $z = 3,61$ . Die Koordination der neuen Quasare, ihre scheinbaren (m) und absoluten (M) Helligkeiten lauten:

$z = 3,4$ :  $\alpha = 00 \text{ h } 42 \text{ min } 06,2 \text{ s}$ ;  $\delta = -26^\circ 27' 43''$ ;  $m \approx 17$ ;  
 $M = -31,7$ ,  
 $z = 3,7$ :  $\alpha = 00 \text{ h } 55 \text{ min } 32,5''$ ;  $\delta = -26^\circ 59' 25''$ ;  $m \approx 17$ ;  
 $M = -31,8$ .

Die enge regionale Nachbarschaft der drei genannten Objekte hat nun Zweifel am vermuteten Cut-off hervorgerufen und den Wunsch angeregt, die Suche nach Quasaren mit großem  $z$  systematisch auf den gesamten Himmel auszudehnen.

Die zwei neugefundenen Quasare wurden mit dem UK-Schmidt-Teleskop entdeckt und auch durch andere, unabhängig vorgenommene Beobachtungen identifiziert. (Lit.: Nature, 21. 3. 1985, S. 238, C. Hazard, R. McMahon, New Quasars with  $z = 3,4$  and  $z = 3,7$  and the Surface Density of Very High Redshift Quasars.)

## Buchbesprechungen

**Wilfried Schröder, Das Phänomen des Polarlichts.** Wiss. Buchges. Darmstadt 1984, X+156 S., 8 Tab., 29 Abb., kart., DM 37,50.

Das Hauptanliegen des Autors ist die minutiöse Darstellung der Entwicklung unseres Wissens über das Nordlicht. An Hand einer erstaunlichen Fülle von in vielen Fällen wörtlich zitierten, stets ausführlich belegten, in 110, zum Teil umfangreichen, näher erläuternden Fußnoten kommentierten Dokumentationen von der Antike bis zur Gegenwart gewinnt der Leser detaillierten Einblick in die Wissenschaftsgeschichte dieses Zweiges der Geophysik. In den vier Kapiteln:

1. Das Polarlicht in Geschichte und Gegenwart,
2. Das Polarlicht im Wandel der Jahrhunderte,
3. Neuzeitliche Verständnisweisen des Polarlichts,
4. Wissenschaftstheoretische Aspekte der Polarlichtforschung

ist der Wandel von den vorwissenschaftlichen, mystifizierenden Auffassungen über die zunächst rein tellurischen bis zu den modernen Erklärungsversuchen aufgezeigt. Dabei wird auch die allgemeine Verbreiterung der Forschungsbasis vom individuellen Bemühen zur internationalen Zusammenarbeit belegt und hervorgehoben.

Der gegenwärtige Stand des Wissens über das Polarlicht ist auf nur 17 Seiten mitgeteilt, weil die wissenschaftstheoretische Analyse ganz im Vordergrund steht.

Die Fußnoten werden durch das 18 Seiten umfassende Literaturverzeichnis ergänzt. Das Namensverzeichnis bildet den Abschluß des Büchleins.

Walter Kranzer

# WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

## Big Science belebt die Wirtschaft (II)

### Die 2. CERN-Studie

Die erste Studie über den wirtschaftlichen Nutzen, den die mit CERN in Kontrakt stehenden Firmen aus dieser Verbindung zogen, betraf die Zeit vor dem Jahre 1975. Seither haben sich manche Umstände gewandelt:

- a) Die Errichtung der Anlage ist beendet, während in der ersten Untersuchung auch die Bauphase zu berücksichtigen war.
- b) Das Technologieloch zwischen der europäischen und der amerikanischen Wirtschaft ist teilweise geschlossen.
- c) Die Methoden zur Erstellung derartiger Studien sind, dank den Erfahrungen bei der ersten Analyse, verbessert und verfeinert worden.
- d) Die CERN-Anlage ist weiter ausgebaut worden (SPS u. a.).
- e) CERN steht mit ca. 6000 Firmen in Verbindung, das sind mehr als vor 1975.

Außerdem bestand die Möglichkeit, die in der ersten Studie vorgenommene Extrapolation für den Zeitraum 1973 bis 1975 mit den tatsächlichen Ergebnissen zu vergleichen, wobei zu bemerken ist, daß der Vergleich sehr zugunsten der damaligen Prognose ausfiel. Daher steht diesmal die Extrapolation für die Zeit von 1982 bis 1987 auf noch soliden Beinen. Die Übereinstimmung von Vorhersage und Wirklichkeit ist neben der Anwendung ausgefeilter statistischer Methoden vor allem dem Umstand zuzuschreiben, daß die Prognosen nicht von den CERN-Leuten, sondern von den Führungskräften der Kontraktfirmen selbst erstellt wurden.

Die zweite CERN-Studie über den Zeitraum 1973 bis 1987 (mit Extrapolation für die letzten 5 Jahre 82-87) entstand in den Jahren 1982 bis 1984. Sie wurde erst publiziert, als die letzte Ausgabe der Wiss. Nachr. bereits im Druck war, weshalb wir erst jetzt über sie berichten können.

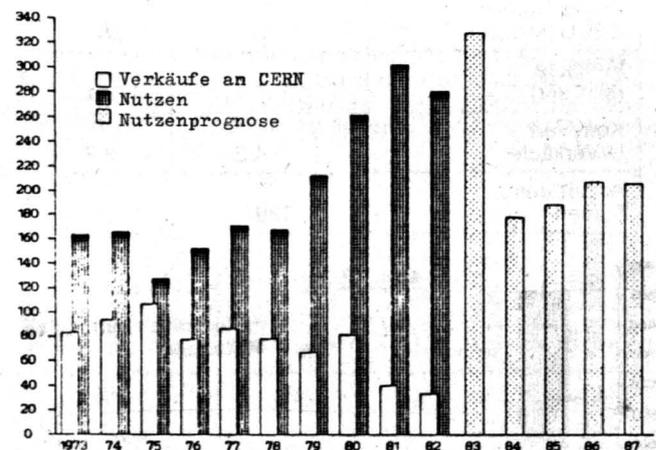
Die positiven ökonomischen Rückwirkungen der Geschäftsverbindung mit CERN sind beachtlich. Jeder von CERN ausgegebene sFr brachte den Firmen im Mittel 3 sFr an Nutzen durch Verbesserung der Produktqualität und der Produktionsverfahren, durch höheren Warenausstoß und die daraus entspringenden Kostensenkungen, durch Vergrößerung der Marktanteile auch bei anderen als den für die Hochenergiephysik bestimmten Gütern usw.

Was die Auswahl der befragten Firmen betrifft, ging man so vor. Von den ca. 6000 Betrieben stellen nur etwa 10% Geräte für die Hochenergiephysik her. Den übrigen 90% gehören u. a. jene 1200 Firmen an, die in keinem der Jahre 1975 bis 1982 um mehr als um 100 000 sFr Waren an CERN lieferten. Nach den Abstrichen verblieben 519 Firmen zur Befragung übrig. Diese Anzahl war aber noch immer zu groß, um mit den verfügbaren personellen und budgetären Mitteln eingehend befragt werden zu können. Deshalb wählte man aus den 519 Betrieben eine repräsentative Teilmenge von 160 CERN-Kontrahenten aus und extrapolierte die bei den 160 gewonnenen Daten nach bewährten statistischen Verfahren auf alle 519.

Schließt man aus dem ökonomischen Nutzen, der für die 160 CERN-Kontrahenten abfiel, auf den Nutzen für alle 519 Firmen, dann ergibt sich für die Zeitspanne 1973 bis 1987 der beachtliche Wert von  $(4800 \pm 623)$  Mio. sFr. Ohne CERN-Belieferung wäre der Umsatz der betroffenen Unternehmungen um den genannten Riesensbetrag kleiner ausgefallen! Von 1973 bis 1982 hat CERN bei den 519 Firmen um 1300 Mio. sFr eingekauft. Zieht man die 15% ab, die auf den Nutzen aus der Geschäftsverbindung vor 1973 zurückgehen, so bleiben dennoch 4080 Mio. sFr übrig. Das Verhältnis Nutzen/CERN-Lieferungen =  $4080 : 1379 \sim 3$  begründet die schon oben ausgesprochene Tatsache, daß jeder von CERN ausgegebene sFr etwa 3 sFr an Nutzen einbringt. Die Gesamtkosten der CERN-Anlage beliefen sich im Zeitraum 1973 bis 1982 auf 6945 Mio. sFr. D. h. von den Gesamtkosten der Anlage kamen 59% der Wirtschaft als Nutzen zugute! (Alle Wertangaben beziehen sich auf das Preisniveau 1982.) Das beigefügte Schema I gibt die sekundären wirtschaftlichen Wirkungen der Geschäftsverbindungen mit CERN an.

Beim Erstellen der Studie unterschied man zwischen „alten“ und „neuen“ Firmen. Als „alt“ galt jede Firma, die schon für die erste Studie herangezogen worden war. 7 alte Firmen wurden zum Training der Interviewer für die zweite Studie herangezogen. Die Befragter sammelten die Daten in der Zeit vom Mai 1982 bis zum Juni 1984 und führten die Gespräche fast immer in der Muttersprache der befragten Top-Manager.

Bei den alten Firmen stellte man deren seinerzeitige Prognosen für 1973 bis 1975 den nunmehr vorliegenden Fakten aus diesen drei Jahren gegenüber. Die i. a. gute Übereinstimmung ermutigte zu ähnlichen Extrapolationen in der 2. Studie. Zu betonen ist, daß die quantitativen Aussagen über die Nutzeffekte ausschließlich von Seiten der Firmen stammen, wobei in Zweifelsfällen stets die niedrigeren (ungünstigeren) Werte genommen wurden.



Jährliche Verkäufe und Nutzen der 160 befragten Firmen

Abb. 1

### Schema I



Von den befragten 166 europäischen Firmen waren 160 in der Lage, brauchbare Informationen über die Nützlichkeit (U) der CERN-Partnerschaft zu geben. In 55 Fällen war U entweder nicht quantifizierbar oder überhaupt nicht ersichtlich, 6 Firmen hatten sogar Verluste erlitten. In der Dekade 1973 bis 1984 kaufte CERN bei den 160 befragten Firmen um 748 Mio. sFr ein. Diese Unternehmungen beziffern (einschließlich der Prognose für 1982 bis 1987) U mit 3107 Mio. sFr. Von diesem Betrag entfallen 2983 Mio. sFr auf erhöhten Absatz und 124 Mio. sFr auf Kosteneinsparungen. Abb. 1 gibt die Verkäufe an CERN, den faktischen Nutzen U (1973 bis 1982) und den zu erwartenden Nutzen für 1983 bis 1987 an.

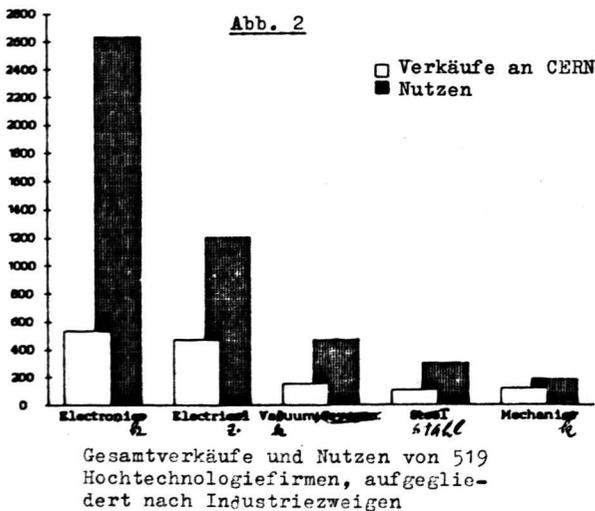
In den Tabellen 1, 2 sind die Daten nach industriellen Sachgebieten aufgliedert. Die korrigierten U-Werte ergeben sich nach Abzug des Nutzens, der aus den vor 1973 getätigten Bestellungen erwuchs. Die Abb. 2, 3 interpretieren die Tabelle 2 graphisch.

**Tabelle 1**

	Elektronik, Optik, Computer	Elektr. Gerät	Vakuum, Kryotechnik, Supraleitung	Stahl, Schmieden	Präzis.-mechanik	Insgesamt
Nettonutzen (Mio. sFr)	1576	877	355	225	74	3107
Korrig. Nutzen 0,85 U (Mio. sFr)	1340	745	300	190	65	2640
Verluste (Mio. sFr)	3,7	5,4	5,3	0,4	0,2	15,0
Ermittelte Verkäufe (Mio. sFr)	220,1	359,2	101,3	35,8	31,2	747,6
Korr. Verh. U/Verkäufe	6,1	2,1	3,0	5,3	2,1	3,5
Anzahl der befragten Firmen	57	46	22	16	19	160
Zahl der Firmen, die keinen Nutzen erzielten	12	19	8	8	8	55

**Tabelle 2**, Extrapolation auf alle 519 Firmen:

	Elektronik usw.	Elektr. Gerät	Vakuum usw.	Stahl, Schmieden	Präzis.-mechanik	Insgesamt
Nettonutzen (Mio. sFr)	2638	1205	471	300	182	4796
Korrig. Nutzen 0,85 U (Mio. sFr)	2245	1025	400	255	155	4080
Verkäufe (Mio. sFr)	537,4	472,1	152,9	104,6	111,9	1378,9
Korr. Verh. U/Verkäufe	4,2	2,2	2,6	2,4	1,4	3,0
Anzahl der Firmen	189	130	34	65	101	519



Die Berechnung des Nutzens erfolgt nach der Gleichung  $U = k \cdot P \cdot \Delta V - (P_T \cdot \Delta T + \Delta D) = U_S + U_C$ ,  
 $k$  = Wertsteigerungsfaktor des Artikels,  
 $P$  = Verkaufspreis,  
 $V$  = Stückzahl der verkauften Artikel,  $\Delta V$  = Zunahme von  $V$ ,  
 $P_T$  = Preis der eingebrachten Arbeitsleistungen,  
 $\Delta D$  = Änderung der Werteinschätzung,  
 $U_S$  = Erhöhter Verkaufswert,  
 $U_C$  = Kostensenkung.

**Die ESA-Studien**

Außer CERN hat auch die ESA (European Space Agency) Nutzenrechnungen für die Jahre 1973 bis 1980 angestellt und in dieser Periode zusammen mit CERN an die 300 Firmen befragt. ESA erstellte ebenfalls zwei Studien, der Prognosezeitraum betrug 5 Jahre. Alle Preise sind auf das Niveau von 1977 bezogen. Währungseinheit ist die **EUA = European Unit of Account**. 1977 galt 1 EUA = 1,14 US-Dollar.

Die **erste ESA-Studie** (ESA = European Space Association) erfaßte den Zeitraum 1964 bis 1975, die Befragung der involvierten 77 Kontraktfirmen erfolgte ähnlich wie die Erarbeitung der CERN-Studien in drei Jahren, nämlich von 1976 bis 1978. In 171 Fällen stellte man fest, daß den Firmen aus der Verbindung mit ESA Nutzen (U) erwuchs. Mit 2260 Mio. EUA ( $\pm 22\%$  Fehler) an Gesamtnutzen in der Spanne von 1964 bis 1980 unterscheidet sich das Verhältnis U/ESA-Einkäufe mit 2,7 nur wenig vom entsprechenden CERN-Wert 3,0. Die Aufgliederung der erhobenen Daten nach Industriesparten ist der Tabelle 3 zu entnehmen. In ihr ist zu beachten, daß die Sparten von CERN und ESA nur teilweise ident sind. Der Gesamtnutzen von 519 Firmen ist in Abb. 3 nach Industriezweigen aufgliedert.

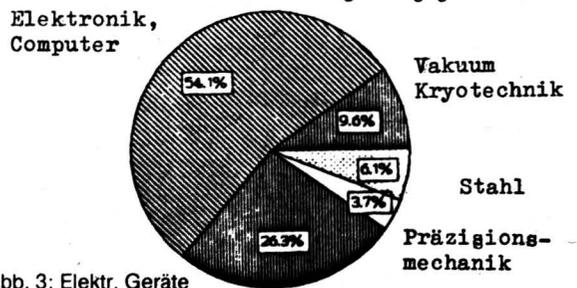


Abb. 3: Elektr. Geräte

**Tabelle 3**

CERN	Daten- verarb.	Elektronik am Boden	Elektronik an Bord	Aero- nautik	Kryo- technik	Elektr. Geräte	Industr. Geräte	Präzis.- mechanik	Vakuum	Stahl	Insgesamt
Innov.	19,4	52,9			11,9	36,2		45,2	14,4	45,2	225,2
Kommerz.	61,0	32,4			23,7	39,9		33,1	13,3	17,2	220,6
Kostensenkung	1,1	13,7			1,3	5,6		0,2	5,7	3,5	31,1
Produktkapaz.	0	0			5,6	0		3,0	0	0	8,6
Ges. Netto- nutzen	81,5	99,0			42,5	81,7		81,5	33,4	65,9	485,5
Kontraktwerte	4,5	21,0			17,8	59,8		2,8	10,0	14,1	130,0
U aus CERN-Verb.	18,1	4,7			2,4	1,4		29,1	3,3	4,7	3,7
<b>ESA</b>											
Innov.	37,0	62,9	302,8	100,0			3,2				505,9
Kommerz.	57,7	50,9	168,3	313,2			0				590,1
Kostensenkung	11,3	13,7	62,5	299,7			26,8				381,0
Produktkapaz.	70,5	19,2	89,8	585,3			18,2				783,0
Ges. Netto- nutzen	176,5	146,7	623,5	1265,2			48,2				2260,0
Kontraktwerte	65,5	34,0	208,4	503,1			29,2				840,2
U aus ESA-Verb.	2,7	4,3	3,0	2,5			1,7				14,2

Der Vergleich zwischen CERN und ESA stößt aus mehreren Gründen auf Schwierigkeiten. Vor allem machen es die unterschiedlichen Zeiträume, auf die sich die Untersuchungen der beiden großen Forschungsinstitutionen beziehen, unmöglich, direkte Vergleiche anzustellen. Dennoch sind beiden Erhebungsergebnissen wesentliche Züge gemeinsam. So haben beide Organisationen etwa die Hälfte ihres Budgets für den Erwerb von Gütern, Geräten usw. der Hochtechnologie ausgegeben.

Während CERN volle Freiheit in der Wahl der Kontraktfirmen – viele befinden sich in Übersee – hatte, mußte sich die ESA auf den europäischen Markt beschränken. Die Art der erforderlichen Güter veranlaßte die großen Firmen, eigene Raumfahrt-Abteilungen zu schaffen, die von öffentlichen Kontrakten abhängen. Zudem müssen die Käufe so verteilt werden, daß in jedem zur ESA gehörenden Staat der Wert der bestellten Waren zu dessen Beitragsleistungen an ESA proportional ist. Da überdies ESA komplette Systeme erwirbt, ergeben sich durch Verbesserung der Produktionsverfahren (meist kooperieren mehrere Firmen) erhebliche Kosteneinsparungen (318 Mio. EUA) als Sekundärnutzen. CERN kauft einzelne Geräte- bzw. Anlagenkomponenten ein und besorgt den Ein- und Zusammenbau

selbst. Demgemäß verzeichnet CERN lediglich 31,3 Mio. EUA an gleichartigen Kostenreduktionen.

Unterschiedlich ist auch die Lebensdauer der für CERN bzw. ESA erzeugten Güter. In der Teilchenphysik sind hohe Lebensdauer, Reparatur- und Ausbaumöglichkeit erwünscht. Die Raumsonden der ESA sind hingegen weder Reparaturen zugänglich, noch erfordern sie Wartungsmaßnahmen. Aber dort, wo beide Institutionen in gleicher Weise einen Industriezweig in Anspruch nehmen, ergeben sich ziemlich gleichartige Nutzeffekte.

Als Beleg für beide Behauptungen ist anzuführen, daß das Verhältnis  $R = U/\text{Ausgaben}$  bei der von CERN und ESA **stark beanspruchten Elektronik**

$$R_{\text{CERN}} = 4,7; R_{\text{ESA}} = 4,3$$

beträgt, während die in Genf bedeutend stärker als für die Raumfahrt verwendeten **Computer** sehr unterschiedlichen R-Werte haben:

$$R_{\text{CERN}} = 18,1; R_{\text{ESA}} = 2,7.$$

Die **zweite ESA-Studie** wurde von 1978 bis 1980 ausgearbeitet. Sie befaßt sich u. a. auch mit dem Rückfluß des ausgegebenen Geldes in den Steuersäckel. Das Verhältnis R verbesserte sich von 2,7 für die in der ersten ESA-Studie untersuch-

**Tabelle 4**

	Fernkomm.	Datenverarbeitung	Sonnengeneratoren	Energiespeicherung	Stabilitätskontrolle	Antrieb	Optik	Thermokontrolle	Mechanik	Geräte	Anderes	Alle Kontrahenten
Gesamtnutzen	769	341	72	232	169	451	205	191	535	5	1043	4013
Exporte	45	22,5	78,5	52	11,1	5,2	38,3	26,4	25,6	17,5	21,2	28,2
Ersatz für Importe	35,3	31,2	4,9	4,3	20,1	94,5	33,4	26,7	34,2	36,7	33,4	38,2
Innovation	48	22	8	25	22	7	59	29	21	76	12	25
Kommerzieller Nutzen	40	50	80	52	33	7	25	7	10	24	17,5	27
Kosten-senkung	4	8	12	13	—	3	6	16	33	—	45,9	19
Produktkapaz. erhalten	8	21	0,1	10	45	83	10	48	36	—	24,6	29
Nutzen außerhalb der Raumfahrtindustrie	45	81	21	80	38	9	51	29	14	83	58,2	50

Angaben in der 1. Zeile sind in Mio. EUA, in allen anderen Feldern in Prozenten zu verstehen.

**PHYSIKALISCHE BLÄTTER**, 12 Hefte, DM 118,- 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 Versandspesen, geeignet für Lehrkräfte, Dozenten und Studenten an Hauptschulen, höheren Schulen und Pädagog. Hochschulen.

**NATURWISSENSCHAFTEN IM UNTERRICHT**, 2 Teile: Physik/Chemie und Biologie, je 12 Hefte jährlich, Preis pro Teil DM 45,- jährlich, für Studenten DM 40,20, jeweils zuzüglich Versandspesen, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt-, Real- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Hochschulen.

**GEOGRAPHIE IM UNTERRICHT**, 12 Hefte jährlich, DM 54,-, Studenten DM 49,20, jeweils zuzüglich Versandspesen, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Akademien.

**CHEMIE IN UNSERER ZEIT**, 6 Hefte, DM 34,- plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 **Weinheim** / Bergstraße, Postfach 1260.

**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 636,-. Für AHS- u. BHS-Lehrer S 450,-, für Studenten S 380,-.

**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.

ten Firmen auf 2,9 für die in der zweiten Studie untersuchten Firmen. Tab. 4 enthält in der ersten Zeile die absoluten U-Werte in Mio. EUA. In den übrigen Tabellenfeldern sind die prozentualen Anteile des jeweiligen Postens verzeichnet. Bemerkenswert, daß der Nutzen auf Grund der gestiegenen Exporte nach außereuropäischen Ländern 28,2% und der Nutzen auf Grund von nicht mehr nötigen Importen (viele Bedürfnisse können nunmehr in Europa befriedigt werden!) 38,2% des Gesamtnutzens ausmacht. 50% des Gesamtnutzens stammen von Geräten, Komponenten usw., die außerhalb der eigentlichen Raumfahrtindustrie erzeugt werden.

Der Gesamtnutzen von 4014 Mio. EUA gründet sich zu 81%, d. s. 3251 Mio. EUA, auf Mehrverkäufe und zu 19%, d. s. 763 Mio. EUA, auf Kosteneinsparungen. Weitere Reduktionen der Kosten aus anderen Gründen betragen 196 Mio. EUA, so daß den Erzeugerfirmen insgesamt um 974 Mio. EUA geringere Kosten erwachsen!

Zum erstenmal wurde die Industrie mit der Frage befaßt, welche Effekte die Ausgaben herabsetzen. 65% der Gesamtersparnisse, d. s. 637 Mio. EUA, sind mit 428 Mio. EUA niedrigeren Verkaufspreisen, mit 70 Mio. EUA Verkaufssteigerungen und mit 139 Mio. EUA erhöhten Investitionen zuzuschreiben.

Tabelle 5 enthält die globale Aufstellung von Nutzen und Ausgaben der Organisationen CERN und ESA.

**Tabelle 5**

	Gesamtnutzen in den Mitgliedstaaten	Gesamtausgaben der Organisation	Verhältnis Nutzen Ausgaben
CERN	1952-1978 1280 Mio. EUA	1952-1973 1060 Mio. EUA	1,2
ESA 1. Studie	1964-1980 2770 Mio. EUA	1964-1975 1885 Mio. EUA	1,5
ESA 2. Studie	1964-1982 4460 Mio. EUA	1964-1977 2866 Mio. EUA	1,6

Extrapolierter Gesamtnutzen

Was den Rückfluß der von der öffentlichen Hand zur Verfügung gestellten Forschungsmittel in Form von Steuern an die Staatskassen betrifft, mußte sehr vorsichtig ermittelt werden. Alle denkbaren Vorsichtsmaßnahmen wurden getroffen und die sich verändernden technisch-ökonomischen Verhältnisse, so gut es ging, berücksichtigt. Die Verfasser der Studie benutzten die von der OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) veröffentlichten statistischen Daten, wobei sie jeden Staat einzeln behandelten. Natürlich berücksichtigten sie auch die Befreiung des ESA-Stabes von der Einkommensteuer bei der Rückflußrechnung. **Ergebnis: Von den gesamten staatlich finanzierten ESA-Ausgaben flossen während 5 Jahren 57% an Steuern zurück.**

Zusammenfassend darf man sagen: **Jeder Käufer von Gütern, deren Produktion nahe der Grenze des technisch Möglichen liegt, bewirkt in beachtlichem Ausmaß positive ökonomische Effekte.** Dabei spielt die Art der involvierten Hochtechnologie keine Rolle.

In einer Zeit, da von vielen Seiten naturwissenschaftliche Betätigung und Forschung unter bedenklicher Verzerrung der Wirklichkeit herabgesetzt werden, da die berechnete Frage nach dem Wert solcher Aktivität im Hinblick auf den großen Aufwand an öffentlichen Mitteln gestellt wird, liefert dieser Bericht dem Lehrer die sachlichen Grundlagen für die dringend nötige Aufklärung der Jugend über die ökonomischen Aspekte der Grundlagenforschung.

Vor geraumer Zeit hat ein Minister eines großen Staates provokativ die Frage nach dem Wesen der Grundlagenforschung erhoben und sofort selbst mit den Worten „Grundlagenforschung sei es beispielsweise, wenn man beweise, daß Gras grün ist“, die Antwort gegeben. Die Banalität und Oberflächlichkeit der damit kundwerdenden Einstellung und naturwissenschaftlichen Bildung dieses Mannes ersieht man eindrucksvoll aus den CERN-ESA-Erhebungen. Das sollte der Jugend auch im Unterricht bei passenden Gelegenheiten klargemacht werden!

**LITERATUR:**

<sup>1)</sup> CERN 84-14, 11. Dez. 1984, H. Schmied et al., Economic Utility Resulting from CERN-Contracts (Second Study).

<sup>2)</sup> CERN Courier, Jänner/Februar 1985, S. 8, Economic Spin-off from CERN.

<sup>3)</sup> IEEE Transactions on Engin. Management, EM-29, No. 4, Nov. 1982, S. 154, H. Schmied, Result of Attempts to Quantify the Secondary Economic Effects Generated by Big Research Centers.

Die Abbildungen sind mit freundl. Genehmigung von CERN dem unter <sup>1)</sup> genannten Papier entnommen. Die Zahlen in den Tabellen entstammen den in <sup>1)</sup> und <sup>2)</sup> angeführten Quellen. Walter Kranzer