

Wissenschaftliche Nachrichten

Herausgegeben vom Bundesministerium
für Unterricht und Kunst

Nr. 64 – Jänner 1984

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.

Mathematiker, Achtung!

Von nun an wird in der Mathematikspalte eine Aufgabenecke, bearbeitet von OStR Wilhelm Körperth, erscheinen. Näheres Seite 32.

Zur Beachtung!

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

INHALT:

Seite

GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME

Weltbilder und Wissenschaft 2

BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Sind die Zuchtziele beim Hausschwein nach Marktwünschen
oder nach biologischen Möglichkeiten zu erstellen? 5
Immunbiologie (II. Teil) 6
Zum Allergieproblem 8
Eine einfache Bestimmungstabelle häufiger gesteinsbildender
Silikatminerale 8
Leben im Wasser von 350 °C 10
Die Wälder sterben immer schneller 11
Wassergebirge und Wassertäler der Ozeane 11
Kurznachrichten 11

CHEMIE

Leukotriene und Allergie 13
Von der Umweltanalytik zur Okotoxikologie 14
Kurznachrichten 18

EXPERIMENTALPHYSIK

Azimutal-Äquatorialquadrant 18

MATHEMATIK

Nachruf für Heinrich Schatz, 1901–1982 21
Systemkonstruktion und Projektmanagement (2. Teil) 22
Computerökonomie 26
Computer ebnen der Statistik neue Wege 26
Erweiterung eines Satzes von van der Waerden 28
Interessantes aus der Gruppentheorie 28
Zur Geschichte des Vierfarbenproblems 30
Aufgabenecke 32

PHYSIK, ASTRONOMIE

Victor F. Weißkopf – 75 Jahre 32
Z⁰ existiert 33
Der nukleare Schlagabtausch in naturwissenschaftlicher Sicht 33
Quarkonium – Gluonium 35
Sind Quarks und Leptonen wirklich punktförmig? 37
Stochastische Kühlung 39
Mit ³He auf 100 µK vorgestoßen 40
9 Phasen von Wassereis 40
Messungen der Polwanderungen 40
Die angenehme Physik beim Paukenschlag 41
Kernkraftwerke Ende 1982 41
Der Meteorit, der vom Mond kam 42
Unsichtbare kosmische Materie 42
10 000 km zwischen Fernrohr und Beobachter 44
Neuer Anlauf zur Suche nach Leben im Kosmos 45
Die kosmische Röntgen-Hintergrundstrahlung 46
Linzer AMS beim CERN 47
Mitteilungen der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft 48
Kurznachrichten 49
Buchbesprechung 49

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE, WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Sowjetunion – Wirtschaftsstatistik 50
Die Grundlagen der Exportförderung in Österreich 51
Angebotsorientierte oder nachfrageorientierte Wirtschaftspolitik 51

Herbert Pietschmann*)

Weltbilder und Wissenschaft

Vortrag am 11. IPN-Symposium „Lehrerbildung – Sachunterricht“ in Kiel im Mai 1982

1. Einleitung

Große Physiker können in bezug auf ihre wissenschaftlichen Leistungen durchaus bescheiden sein, denn diese sprechen für sich selbst. So sagte Einstein nicht „**Meine** Relativitätstheorie“, sondern einfach „**Die** Relativitätstheorie“. Und Schrödinger hätte seine wichtigste Entdeckung nicht „Schrödinger-Gleichung“ genannt, sondern er sprach einfach von der „Wellengleichung“. Trotzdem ließ Einstein im Jahre 1934 ein Buch mit dem Titel „Mein Weltbild“ erscheinen [1], konsequenterweise hätte Einstein von „Das Weltbild“, „Das Weltbild der Naturwissenschaft“ oder etwa „Das heutige Weltbild“ sprechen müssen. Oder handelt es sich dabei etwa gar nicht um ein gewissermaßen „objektives“ Weltbild der Naturwissenschaft, sondern tatsächlich um Einsteins privates?

Der erste Abschnitt in dem genannten Buch heißt: „Wie ich die Welt sehe“, und Einstein schreibt darin über den Sinn des Daseins, von Güte, Schönheit und Wahrheit. Die Wissenschaft wird erst im 5. und letzten Abschnitt erwähnt.

Erwin Schrödinger veröffentlichte an seinem Lebensabend ein Büchlein unter dem Titel „Meine Weltansicht“ [2], in dessen Vorwort er schreibt: „**Einem** Vorwurf werde ich nicht entgegen. Es ist hier nirgends von Akausalität, Wellenmechanik, Unbestimmtheitsrelationen, Komplementarität, expandierender Kugelwelt, kontinuierlichen Schöpfungsakten und dergleichen die Rede. Warum redet er nicht lieber von dem, wovon er was versteht, als den Fachphilosophen ins Handwerk zu pfeuschen? . . . Davon gebe ich gerne Rechenschaft: Weil diese Dinge mir weniger mit dem philosophischen Weltbild zu tun zu haben scheinen als heute beliebt. In einigen wesentlichen Punkten glaube ich mich da in Übereinstimmung mit Max Planck und Ernst Cassirer.“

Also scheint es doch so, als ob Naturwissenschaftler innerhalb ihrer eigenen Disziplin an gemeinsamen, für alle gleichen und für alle gleich verbindlichen Erkenntnissen arbeiteten, in ihrer Weltansicht oder ihrem Weltbild aber gar nicht den Anspruch erhöhen, auch für andere sprechen zu können, sondern in diesem Bereich sich durchaus mit einem individuell subjektiven Ansatz begnügten. Warum aber ist dann heute auch an Universitäten und Lehranstalten so oft vom „Weltbild“ der Physik oder „Weltbild der Naturwissenschaft“ die Rede? Gibt es ein derartiges intersubjektives Weltbild überhaupt, und wenn ja, warum haben dann Einstein und Schrödinger nicht darauf Bezug genommen?

Um diese Fragen beantworten zu können, wollen wir uns zunächst der Methode der Naturwissenschaft ein wenig klärend annehmen, die ja häufig hinter den Ergebnissen der Naturwissenschaft zurückgedrängt wird und ein Aschenbrödel dasein fristen muß.

2. Naturwissenschaftliche Methodik

Naturwissenschaftler sind sich ziemlich einig darin, daß ihre wissenschaftliche Methode im wesentlichen auf Galileo Galilei zurückgeht. So sagte etwa der Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman in seiner Festrede zur Feier des 400. Geburtstages von Galileo Galilei in Pisa: „Stellen wir uns vor, Galileo wäre hier . . . und wir würden ihm über die Fragen der Evidenz erzählen, jene Methoden, Dinge zu beurteilen, die er entwickelt hat. Und wir würden betonen, daß wir noch immer in genau derselben Tradition stehen, wir folgen ihr exakt – selbst bis ins Detail des numerischen Messens . . . und daß die Naturwissenschaften sich in einer sehr guten Weise entwickelt haben,

direkt und ununterbrochen auf seinem Urbild, im gleichen Geiste, wie er ihn entwickelt hat. Und als Ergebnis gibt es keine Hexen und Geister mehr.“

Das ist tatsächlich fast eine Definition der heutigen Naturwissenschaft; die Wissenschaften, um die sich Galileo kümmerte, die Physik, Mechanik und dergleichen, haben sich natürlich entwickelt, aber die gleichen Methoden funktionieren in Biologie, in Geschichte, Geologie, Anthropologie usw.“

Natürlich gab es auch schon vor Galileo Galilei Physik, die sich im wesentlichen auf die Lehren des Aristoteles gründete. Allgemein verbindliche Aussagen über die Natur in Form von Gesetzen müssen den Axiomen der Logik genügen, wie sie von Aristoteles formuliert worden waren: alle verwendeten Begriffe müssen eindeutig sein, Aussagen müssen untereinander widerspruchsfrei und begründbar sein. Eindeutigkeit, Widerspruchsfreiheit und Begründbarkeit sind zunächst Forderungen, die an mathematische Sätze gestellt werden. Ja es läßt sich sehr schön zeigen [4], daß die Mathematik geradezu definiert werden kann als diejenige Disziplin, die aufspürt, was sich alles im Einklang mit den Axiomen der Logik denken läßt. Für Aussagen über die Natur genügt dies nicht; es muß für sie ein weiteres Kriterium gelten, das unabhängig von der formalen Richtigkeit entscheidet, ob sie in der erlebten Wirklichkeit zutreffen oder nicht (ob sie wahr sind oder nicht); oder, wie Karl Popper sagt, „eine empirische Wissenschaft muß an der Erfahrung scheitern können“ [5].

Damit gerät aber jeder Versuch einer Naturlehre sofort in das Spannungsfeld der Dialektik von Individuum und Allgemeinem. Denn die Aussagen über die Natur müssen – gemäß den Axiomen der Logik – allgemeine Sätze sein; „Erfahrung“ ist aber notwendigerweise immer auf ein bestimmtes Subjekt bezogen. Nichts wiederholt sich in der Natur, die Erfahrungen verschiedener Menschen sind immer verschieden; ja auch der gleiche Beobachter wird niemals hintereinander vollkommen gleiche Erfahrungen machen können. Vor Galileo war der Ausweg aus diesem Dilemma die Berufung auf allgemein anerkannte Autoritäten. Wenn sich **alle** darauf einigen, die Beobachtungen und Erfahrungen **eines** Individuums als Kriterium heranzuziehen, ist das Problem überwunden, weil die Aussagen eines bestimmten Subjekts (der Autorität) für alle verbindlich und damit allgemein sind.

Demgegenüber ist der Ansatz des Galileo Galilei radikal anders. Nicht, was von Autoritäten verkündet wird, sondern was **jeder** im Prinzip selbst nachvollziehen kann soll in Hinkunft Kriterium für den Wahrheitsgehalt einer Aussage über die Natur sein. Der revolutionäre Zündstoff, der in diesem Ansatz steckt, ist heute nur mehr schwer in seiner ganzen Bedeutung zu erkennen. Allerdings mußte Galileo Galilei vom umfassenden Begriff der Erfahrung, wie er für das Individuum gültig ist, Abstriche machen, weil er ihn auf das Reduzieren mußte, was eben für alle in gleicher Weise nachvollziehbar ist. So reduzierte Galileo die Erfahrung auf das **Experiment**, das durch die drei Bestimmungsstücke charakterisiert wird: Quantifikation, Intersubjektivität und Isolierbarkeit.

Die Naturwissenschaft reduziert alle Qualitäten auf Quantitäten, was Galileo mit dem Slogan formulierte: „Alles, was meßbar ist, messen und was nicht meßbar ist, meßbar machen“. Die Intersubjektivität, die manchmal auch „Objektivität“ genannt wird, fordert die prinzipielle Wiederholbarkeit eines experimentellen Ergebnisses zu anderen Zeiten, an anderen Orten und von anderen Beobachtern. Galileo hat auch diese Forderung geradezu dramatisch formuliert:

„Wenn man mich glauben machen möchte, daß die Babylonier Eier kochten, indem sie sie schnell in einer Schlinge herumwirbelten, so will ich das glauben; aber ich muß betonen, daß die Ursache einer solchen Wirkung weit von dem entfernt liegt, was sie meinen; um die wirkliche Ursache herauszufinden, argumentierte ich folgendermaßen: wenn eine Wirkung,

*) Anm. der Redaktion: Die Sprechweise „Weltbild der Naturwissenschaft“ wird oft falsch verstanden, nämlich als Ausdruck der Überzeugung, das gesamte Sein könne mit den Methoden der Naturwissenschaft erfaßt werden. Hier und in ähnlichen Betrachtungen ist jedoch mit „Weltbild“ die Gesamtheit dessen gemeint, was die Naturwissenschaft jeweils über das ihr zugängliche Geschehen in der Natur erforscht hat!

die anderen zu anderen Zeiten gelungen ist, bei uns nicht eintritt, so folgt daraus mit Notwendigkeit, daß unserem Experiment etwas fehlt, was die Ursache für das Gelingen des früheren Versuches war, und wenn nur eine einzige Sache fehlt, ist sie allein die wirkliche Ursache. Nun fehlt es uns nicht an Eiern, auch nicht an Schlingen und starken Burschen, die sie im Kreise schwingen können. Dennoch wollen die Eier nicht kochen, und wenn sie zuvor heiß waren, so kühlen sie umso schneller ab. Nichts fehlt uns als das eine: daß wir Babylonier sind; daraus folgt, daß die Tatsache, Babylonier zu sein, die Ursache der hartgekochten Eier ist und nicht die Reibung der Luft. Und das ist es, was ich beweisen wollte.“

Es scheint mir beachtenswert, darauf hinzuweisen, daß Galilei Phänomene, die nicht intersubjektiv wiederholbar sind, nicht als unglaubwürdig bezeichnet, sondern sie lediglich aus dem Bereich seiner „neuen Wissenschaft“ ausklammert. Es ist eines meines Erachtens im Unterricht viel zu wenig beachtete Tatsache, daß aus der prinzipiellen zeitlichen Wiederholbarkeit von Experimenten (Homogenität der Zeit) die Erhaltung der Energie folgt. Solch fundamentale Zusammenhänge scheinen mir wesentlich wichtiger als irgendwelche Detailergebnisse der Naturwissenschaft.

Die Isolierbarkeit der Phänomene verlangt, daß nur solche Vorgänge naturwissenschaftlich untersucht werden, bei denen die Einwirkung von außerhalb des Blickfeldes liegenden Vorgängen so klein ist, daß sie innerhalb der zugelassenen Meßfehler liegt. Daß sich daraus spezielle Probleme ergeben können, möchte ich nur am Beispiel des Energiesatzes demonstrieren: der Energiesatz – vielleicht der wichtigste Satz der Naturwissenschaft überhaupt – gilt nur in abgeschlossenen Systemen; es läßt sich aber streng zeigen, daß es abgeschlossene Systeme nicht geben kann. (Für Fachleute: das Problem ist in der Mikrophysik als Problem der Strahlungskorrektur bekannt.)

Durch diesen genialen Wurf ist es Galilei gelungen, das Problem von Individuum und Allgemeinem zur Synthese zu führen; allerdings um einen Preis: den Preis der Reduktion. Theorie und Experiment stehen nun in einem ähnlich dialektischen Verhältnis wie das, von dem wir ausgegangen sind; aber diese Dialektik führt nun zum Fortschritt innerhalb der Wissenschaften, sie hemmt nicht mehr, sondern treibt an. Denn eine Theorie wird innerhalb der Naturwissenschaften nur dann als sinnvoll erachtet, wenn es ihr gelingt, ein bisher noch nicht erklärtes experimentelles Ergebnis vorherzusagen oder gar ein neues Experiment vorzuschlagen. Experimente andererseits sind nicht willkürliche Quantifizierungen, sondern erhalten ihren Sinn erst aus ihrem Bezug zu einer Theorie, die neu formuliert oder überprüft werden soll.

Ich halte den Ansatz des Galilei nicht nur für eine geniale Lösung des Problems der Naturerkenntnis, sondern auch für einen tiefsten demokratischen Ansatz. Es scheint mir kein Zufall, daß die erste Forderung des Galilei, für alle gleiche Maßzahlen einzuführen, gerade in der französischen Revolution durch die Einführung des metrischen Systems verwirklicht wurde. In ähnlichem Sinne schrieb auch Albert Einstein im Jahre 1952 in seinem Vorwort zur deutschen Ausgabe von Galileis erstem Hauptwerk (Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltssysteme) [6]:

„Das Leitmotiv von Galileos Schaffen sehe ich in dem leidenschaftlichen Kampf gegen jeglichen auf Autorität sich stützenden Glauben. Erfahrung und sorgfältige Überlegung allein läßt er als Kriterien der Wahrheit gelten. Wir können uns heute schwer vorstellen, wie unheimlich und revolutionär eine solche Einstellung zu Galileos Zeit erschien, in welcher der bloße Zweifel an der Wahrheit von auf bloße Autorität sich stützenden Meinungen als todeswürdiges Verbrechen betrachtet und bestraft wurde. Wir sind zwar auch heute keineswegs so weit von einer solchen Situation entfernt, als sich viele von uns schmeicheln mögen; aber der Grundsatz, daß das Denken vorurteilsfrei sein soll, hat sich inzwischen wenigstens in der Theorie durchgesetzt, und die meisten sind bereit, diesem Grundsatz Lippendienste zu leisten.“

3. Gibt es ein Weltbild der Naturwissenschaft?

Es kann natürlich kein Zweifel daran bestehen, daß Naturwissenschaftler (wie alle anderen Menschen auch) jeweils ihr eigenes Weltbild haben. Einstein und Schrödinger haben ja – wie wir in der Einleitung gesehen haben – ihre Weltbilder auch veröffentlicht. Die Frage soll nun aber lauten, ob es ein Weltbild der Naturwissenschaft in einem intersubjektiven Sinn geben kann? Damit wäre ein Weltbild gemeint, das einen ähnlichen Verbindlichkeitscharakter hätte wie etwa die Naturgesetze selbst. Da es nur einen einzigen bekannten Weg gibt, zu so verbindlichen

Gesetzen zu kommen – nämlich das Wechselspiel von Theorie und Experiment – müßte auch ein solches Weltbild auf eben demselben Wege entstehen. Das heißt aber, daß dieses Weltbild gewissermaßen die Zusammenfassung und Überschau aller Naturgesetze darstellen müßte.

Tatsächlich führte der Weg der Naturwissenschaft bald in diese Richtung. Die beiden Hauptwerke Galileis, das schon erwähnte Werk über die beiden Weltssysteme und seine Untersuchungen der Fallgesetze, stehen zunächst ziemlich unabhängig nebeneinander. Erst Newton zeigte, daß es dieselben Kräfte (Gravitationskräfte) sind, aus denen beide Phänomene erklärt werden können. Von da an führt ein geradliniger Weg bis zu jenen anspruchsvollen Forderungen unseres Jahrhunderts, die z. B. Adolf E. Haas in seinem Vortrag vor der 80. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Köln 1908 folgendermaßen formulierte:

„Das Einheitsbedürfnis des forschenden Geistes aber findet seine Befriedigung in der Erkenntnis der Einheitlichkeit und der Gleichartigkeit, die die verschiedenen Naturerscheinungen miteinander verketten . . .

Der physikalische Einheitsgedanke . . . tritt in vier Hauptformen auf, die seinen verschiedenen Entwicklungsstufen entsprechen. Die Physik sieht einzelne Naturerscheinungen zunächst als analog, dann als verwandt, später als identisch an und überträgt schließlich die zwischen einzelnen Phänomenen festgestellte Identität durch die Annahme einer einheitlichen Allkraft auf sämtliche Erscheinungen.“

Oder mit den Worten Albert Einsteins zur Feier des 60. Geburtstag von Max Planck:

„Höchste Aufgabe des Physikers ist also das Aufsuchen jener allgemeinsten elementaren Gesetze, aus denen durch reine Deduktion das Weltbild zu gewinnen ist. Zu diesen elementaren Gesetzen führt kein logischer Weg, sondern nur die auf Einfühlung und Erfahrung sich stützende Intuition. Bei dieser Unsicherheit der Methodik könnte man denken, daß beliebig viele, an sich gleichberechtigte Systeme der theoretischen Physik möglich wären: diese Meinung ist auch prinzipiell gewiß zutreffend. Aber die Entwicklung hat gezeigt, daß von allen denkbaren Konstruktionen eine einzige jeweils sich als unbedingt überlegen über alle anderen erwies.“

Hier spricht Einstein nun selbst vom „Weltbild“, weist aber gleichzeitig darauf hin, daß das jeweils anerkannte „Weltbild der Physik“ das allen anderen überlegene, nicht aber das einzig mögliche ist.

Wir stellen seit Newton also in der Naturwissenschaft zwei einander entgegengesetzte Tendenzen fest: Zum einen dient die Methode der Naturwissenschaft der Erforschung der Geheimnisse unserer Welt, zum anderen liefert sie uns ein immer einheitlicher werdendes Bild der Wirklichkeit. Die beiden Tendenzen sind deswegen gegenläufig, weil das Interesse an der Erforschung der Geheimnisse unserer Welt darauf gerichtet ist, was wir **noch nicht** wissen, wobei das bekannte Wissen eher hinderlich ist, muß es doch gegebenenfalls über Bord geworfen werden. Das Interesse an einem Bild der Wirklichkeit gründet aber auf dem **bestehenden** Wissen und muß sich notwendigerweise gegen eine Änderung dieses Wissens im grundsätzlichen wenden. Ich habe diese beiden gegenläufigen Tendenzen als „Forscherseele“ und „Priesterseele“ [4] bezeichnet; natürlich sind beide Seelen immer in der Brust jedes Naturwissenschaftlers vereint, aber mit unterschiedlichen Gewichten. Die Geschichte der Naturwissenschaften gibt eine wunderbare Demonstration dieser beiden Einstellungen: war es doch immer wieder so, daß selbst die größten Forscher sich gegen Neuerungen stemmten, die sie nicht mehr in ihr Weltbild integrieren konnten. Lavoisier bezeichnete jeden, der von Meteoriten behauptete, sie wären Steine, die vom Himmel fielen, als Betrüger oder irr. Albert Einstein, der 1905 unter anderem auch einen Grundstein für die Entwicklung der Quantenmechanik gelegt hatte, lehnte deren spätere Entwicklungen ebenso ab wie Erwin Schrödinger, der ja überhaupt die Grundgleichung dieses physikalischen Gebietes gefunden hatte. Dies führte Max Planck zu dem berühmten Ausspruch: „Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen, daß ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, daß die Gegner allmählich aussterben und die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist.“

Mit dem Auftreten des Wunsches nach einem Weltbild der Naturwissenschaft hat sich eigentlich die ursprüngliche Tendenz Galileis in ihr Gegenteil verkehrt: Denn dieses Weltbild tritt nun nicht mit dem Anspruch auf, autoritär gestützte Scheinwahrheiten zu entlarven, sondern es wird selbst zu einer Autorität, die für sich Wahrheit beansprucht und Kritik nur innerhalb

gewisser Grenzen zuläßt. Darüber hinaus ist natürlich dieses Bild der Wirklichkeit wegen der notwendigen Reduktion, die wir im vorigen Abschnitt beschrieben haben, bestenfalls ein schwacher Abklatsch unserer Erlebniswelt. So kommt es, daß selbst bedeutende Wissenschaftler, die dieses Weltbild mit der Wirklichkeit identifizieren oder verwechseln, in Ratlosigkeit enden. So schreibt etwa der Nobelpreisträger Jacques Monod [7]:

„Wenn er diese Botschaft in ihrer vollen Bedeutung aufnimmt, dann muß der Mensch endlich aus seinem tausendjährigen Traum erwachen und seine totale Verlassenheit, seine radikale Fremdheit erkennen. Er weiß nun, daß er seinen Platz wie ein Zigeuner am Rande des Universums hat, das für seine Musik taub ist und gleichgültig gegen seine Hoffnungen, Leiden oder Verbrechen.“

Und der Nobelpreisträger für Physik, Steven Weinberg [8], schreibt: „Man begreife kaum, daß dies alles nur ein winziger Bruchteil eines überwiegend feindlichen Universums ist. Noch weniger begreift man, daß dieses gegenwärtige Universum sich aus seinem Anfangszustand entwickelt hat, der sich jeder Beschreibung entzieht und seiner Auslöschung durch unendliche Kälte oder unerträgliche Hitze entgegengieht. Je begreiflicher uns das Universum wird, umso sinnloser erscheint es auch.“

Ich halte es für außerordentlich wichtig, auf diese beiden unterschiedlichen Tendenzen der Naturwissenschaft hinzuweisen. Denn gerade das lehrende Vermitteln von Naturwissenschaft, das Weitergeben der Ergebnisse ihrer Forschung von Generation zu Generation, fällt allzu leicht in die Falle der „Priesterseele“; nur der „Weltbildaspekt“ wird gesehen, die einzigartige Erkenntnisethode dabei oft allzusehr in den Schatten gestellt. Wenn dann dieses Weltbild nicht als sich ständig ändernder und wandelnder Teilaspekt der Wirklichkeit, sondern als Wirklichkeit schlechthin dargestellt wird (wie es in unserem Beispiel Monod und Weinberg offensichtlich tun), dann muß gerade der **kreative**, ideenreiche und aufgeschlossene junge Mensch sich von dieser menschlichen Tätigkeit abgestoßen fühlen. Karl Jaspers [9] hat diese Problematik besonders deutlich dargestellt:

„Das Umgreifende der Welt ist nicht Gegenstand der Erkenntnis. Was Gegenstand der Erkenntnis wird, das sind Erscheinungen, die von dem Weltsein umgriffen werden, aus dem sie hervorgehen.“

Durch das Erkennen fällt die Welt gleichsam zusammen zu bestimmten Weltbildern. Zumal die modernen Weltbilder der exakten Naturwissenschaften brachten jedesmal die Suggestion, in dem so Erkannten die Welt im ganzen und in ihrer eigentlichen Wirklichkeit zu sehen. Echte Naturwissenschaft schließt sich in keinem Weltbild. Es ist der Charakter falscher Philosophie in der Auffassung des Sinns der naturwissenschaftlichen Ergebnisse, daß durch sie Weltbilder sich des Menschen bemächtigen. Reine Naturwissenschaft verzichtet auf Weltbilder. Es ist dem modernen Menschen gar nicht selbstverständlich, daß ein Weltbild erkenntnistätig nicht möglich ist. Der Wissenschaftsaberglaube vielmehr macht es selbstverständlich, daß man ein Weltbild haben will, sucht und als Sinn der Wissenschaft ausspricht. „Das Weltbild der Gegenwart“ ist ein beliebtes Thema: es gilt als das richtige, wenigstens auf dem Wege zur endgültigen und totalen Einsicht also ein Schritt, mit dem Sinne des ständigen Fortschritts. – Aber kritische Wissenschaft läßt gerade alle Weltbilder zerfallen.“

Welcher Aspekt der Naturwissenschaft im Unterricht vorwiegend vermittelt wird, ist nicht nur Frage des naturwissenschaftlichen Sachunterrichtes, sondern hat auch Konsequenzen in der allgemeinen Erziehung des jungen Menschen. Er kann durch das Nahebringen der kritischen Methode zu einem selbständigen, demokratischen Bürger erzogen werden; er kann aber durch die Vermittlung von starren und oft uneinsichtigem Wissen (Weltbild) auch in seinem Autoritätsglauben gestärkt werden oder zumindest jede Hoffnung verlieren, in den komplexen Zusammenhängen unserer Welt jemals eigene Ansichten und Entscheidungen entwickeln zu können und sich daher zukünftig auf die Autorität von Experten verlassen. Natürlich wird in unserer arbeitsteiligen Welt niemand auf die Auskunft von Fachleuten verzichten können; es ist aber ein wesentlicher Unterschied, ob man sich aus dem Rat von Experten eine eigene Ansicht bildet oder ob man die eigene Meinungsbildung vollständig an Experten delegiert.

4. Konsequenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht

Gemäß den Tendenzen der Naturwissenschaft gibt es auch zwei typische Extreme des naturwissenschaftlichen Sachun-

terrichtes; natürlich spannen sie ein Kontinuum auf, und die Wirklichkeit wird immer irgendwo innerhalb dieses Kontinuums liegen. Zur Veranschaulichung aber ist es nützlich, die beiden Extreme in reiner Form darzustellen. Auf der einen Seite wird der naturwissenschaftliche Sachunterricht darauf zielen, die Ergebnisse der Naturwissenschaft, also Systematiken, Gesetze und Einzelphänomene darzustellen. Dies geschieht in möglichst übersichtlicher Weise durch klare Strukturierung und strenge Definitionen. Es ist möglich, den „Stoff“ möglichst einheitlich für alle Lehrer in einem Lehrplan festzulegen. Das Ergebnis eines derartigen Unterrichtes ist quantifizierbar durch eine Notengebung, die auf Intersubjektivität zielt und von der Person des Lehrers weitgehend unabhängig sein sollte.

Im anderen Extremfall wird in erster Linie die Neugierde der Schüler befriedigt. Der Lehrer wird – wenn möglich – von sich aus überhaupt keinen Stoff einbringen, sondern nur die schon vorhandenen Fragen und Wünsche der Schüler beantworten und befriedigen. Die Arbeit geht am besten in Gruppen vor sich, wobei der Lehrer die Schüler anleitet, selbst zu Lösungen zu kommen und sich selbst ein Bild zu machen, das nicht notwendigerweise mit dem offiziellen Weltbild der Naturwissenschaft identisch zu sein braucht, das ihm bloß nicht in wesentlichen Punkten widersprechen darf. In einer Versuchsschule in Wien kamen bei einem so gestalteten Physikunterricht die Schüler nach eigenem Studium der Fallgesetze zu dem Endergebnis: „Die meisten Körper fallen fast gleich schnell, wenn man vom Luftwiderstand absieht.“ Der Lehrer gab sich mit diesem Endergebnis zufrieden. Bei einem derartigen Unterricht kann der Stoff nicht von vornherein und nicht einheitlich festgelegt werden, auch sind Prüfungen im eigentlichen Sinne nicht sinnvoll und wären etwa durch Referate oder andere Alternativen zu ersetzen.

Es bedarf wohl keiner langen Diskussion, um festzustellen, daß heutzutage der Unterricht meistens gefährlich nahe am Extrem der „Wissensvermittlung“ liegt und weit vom anderen Endpunkt des Kontinuums, der „Neugierbefriedigung“, entfernt liegt. Immer wieder haben sich gerade kreative Menschen gegen diesen Zustand gewandt; so sagte etwa Albert Einstein:

„Es ist in der Tat fast ein Wunder, daß die modernen Methoden der Ausbildung die heilige Neugier des Forschens noch nicht völlig erstickt haben; denn diese zarte, kleine Pflanze bedarf – neben dem Ansporn – hauptsächlich der Freiheit; ohne diese geht sie ohne jeden Zweifel zugrunde.“

Und Karl Popper schreibt in seinem biographischen Werk [10]: „Wenn ich an die Zukunft dachte, träumte ich davon, eines Tages eine Schule zu gründen, in der junge Leute ohne Langleweiligkeit lernen könnten und wo sie angeregt würden, Probleme zu stellen und sie zu diskutieren; eine Schule, in der keine ungewünschten Antworten auf nie gestellte Fragen angehört werden müßten; in der man nicht zum Zwecke lernte, Prüfungen zu bestehen.“

Und der Psychologe und Erziehungswissenschaftler Carl Rogers [11] meinte: „Ich stelle in zunehmendem Maße fest, daß ich nur an solchen Lernvorgängen interessiert bin, die das Verhalten signifikant beeinflussen. . . Ich bin zu der Ansicht gekommen, daß die einzigen Lerninhalte, die das Verhalten signifikant beeinflussen, selbst entdeckt, selbst angeeignet werden müssen. Solch ein selbstentdeckter Lerninhalt – Wahrheit nämlich, die man sich durch Erfahrung persönlich zu eigen gemacht und die man assimiliert hat – kann einem anderen nicht direkt vermittelt werden. Sobald jemand versucht, solche Erfahrungen direkt zu vermitteln, was oft mit einer ganz natürlichen Begeisterung geschieht, wird Belehrung daraus und die Ergebnisse sind irrelevant.“

Ich selbst habe versucht, wenigstens für den Physikunterricht an Universitäten einen Kompromiß zwischen den beiden Extremen vorzuschlagen [12].

Wie wenig sinnvoll ein Unterricht nahe dem Extrem der „Wissensvermittlung“ ist, zeigt wohl die Tatsache, daß etwa Physik in den meisten westlichen Ländern einer der unbeliebtesten Gegenstände ist, obwohl die Relevanz der Physik sowohl für das Leben der Gemeinschaft als auch für das individuelle Leben jedes einzelnen wohl unbestritten ist. Auch Untersuchungen über die Wirksamkeit des Physikunterrichtes zeigen den überaus geringen Wirkungsgrad dessen, was sich in unseren Schulen heutzutage abspielt. Wissenschaftliche Untersuchungen [13] werden durch weniger systematische Studien in meinem eigenen Wirkungskreis vollinhaltlich bestätigt. In bezug auf den Nutzen des Unterrichtes stellt Rainer Brämer den beiden Extremen „Wissensvermittlung“ und „Neugierweckung“ die Begriffe „Tauschwert“ und „Gebrauchswert“ gegenüber. Er schreibt [13]: „Das schulische Wissen wird also nicht als Gebrauchswert, sondern lediglich mit dem Ziel, es gegen gute Noten einzutauschen, als Tauschwert also, erworben.“ Ich meine,

daß der Begriff Tauschwert noch viel weitere Gültigkeit hat. Nicht nur wird solches Wissen, das der Persönlichkeit aufgepfropft, aber nicht mit ihr verschmolzen wurde, gegen gute Noten eingetauscht, sondern später – beim Einstieg in eine Berufslaufbahn – gegen eine entsprechende Stellung in der Hierarchie. Wer aufgrund seiner Studien und seines Wissens in einer gehobenen Position eigene Tätigkeit beginnt, wird in den meisten Fällen feststellen, daß er ganz von vorne anfangen muß zu lernen, weil er sein Wissen einfach nicht, oder nur zum geringen Teil, gebrauchen kann. Das muß aber nicht so sein, sondern es hängt wesentlich von der Einstellung des Unterrichts ab. Freilich erfordert eine Hinwendung zum neugierweckenden Unterricht einen Verzicht auf intersubjektiv festzulegende Wissensinhalte und Bewertungen durch Noten. Es erfordert persönliche Verantwortlichkeit jedes Lehrers und Rücksichtnahme auf Schüler, die etwa durch Schulwechsel in eine schwierige Situation geraten. Ich glaube aber, daß Verantwortungsbewußtsein und Rücksichtnahme menschliche Werte sind, deren Ausschaltung nicht unbedingt erstrebenswert ist,

deren Aufnahme aber über den Sachunterricht hinaus Erziehungsfunktionen hat [14].

LITERATUR:

- [1] A. Einstein: Mein Weltbild (Amsterdam, 1934)
- [2] E. Schrödinger: Meine Weltansicht (Wien-Hamburg, 1961)
- [3] R. P. Feynman: „What is and What Should be the Role of Scientific Culture in Modern Society“ Nuovo Cimento Suppl. 4, 492 (1966)
- [4] H. Pietschmann: Das Ende des naturwissenschaftlichen Zeitalters (Wien-Hamburg, 1980)
- [5] K. R. Popper: Logik der Forschung (4. Aufl.) (Tübingen, 1971)
- [6] G. Galilei: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, hrsg. von R. Sexl und K. v. Meyenn (Stuttgart, 1982)
- [7] J. Monod: Zufall und Notwendigkeit (München, 1975)
- [8] S. Weinberg: Die ersten drei Minuten (München-Zürich, 1977)
- [9] K. Jaspers: Von der Wahrheit (München, 1958)
- [10] K. R. Popper: Unended Quest (Glasgow, 1976)
- [11] C. R. Rogers: Lernen in Freiheit (München, 1974)
- [12] H. Pietschmann: „Ideen zu einer Neugestaltung des Physikstudiums an Universitäten“, Zs. f. Hochschuldidaktik 3, 160 (1979)
- [13] R. Brämer: „Über die Wirksamkeit des Physikunterrichtes“ Ni U-Ph/Ch 1 (1980) p. 10
- [14] H. Pietschmann: „Personale Verantwortung und die Struktur naturwissenschaftlichen Denkens“ (im Erscheinen)

BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Prof. F. Mückenhuber

Sind die Zuchtziele beim Hausschwein nach Marktwünschen oder nach biologischen Möglichkeiten zu erstellen?

Rückschauend läßt sich für die vergangenen zwei Jahrzehnte ein radikaler Wandel vom Fett-Fleischschwein zum Fleischschwein feststellen. Ausgelöst wurde dieser Wandel vor allem durch die völlig geänderten Marktanforderungen, die auch in stark differenzierten Preisen zwischen fleisch- und fettreichen Teilstücken zum Ausdruck kommen. Die Wünsche der Konsumenten nach fettarmem Fleisch haben sich dabei mit den Interessen der Produzenten nach niedrigen Erzeugungskosten weitgehend gedeckt, da für den Fettansatz etwa doppelt soviel Energie notwendig ist als für den Ansatz der gleichen Menge Eiweiß.

Gleichzeitig wurde aber auch die artspezifische Anfälligkeit des Schweines für Funktionsmängel wichtiger Organsysteme durch die Zucht auf ein extremes Fleischschwein verstärkt, und die Beschwerden über mangelnde „Fleischqualität“ mehrten sich. Der häufigste Fleischfehler ist das sogenannte PSE-Fleisch (pale-soft-exudative). Solches Fleisch zeigt eine helle Farbe, weiche Konsistenz und vermehrten Flüssigkeitsaustritt an der Anschnittsfläche. Es ist als Frischfleisch unansehnlich, zum Braten und auch für die Herstellung von Dauerwaren schlecht geeignet. In zahlreichen Untersuchungen konnte auch nachgewiesen werden, daß zwischen PSE-Häufigkeit, der Ausfallsrate während der Mast und den sogenannten Transportverlusten (meist als Streß-Syndrom bezeichnet) ein eindeutiger Zusammenhang besteht.

Zwischen dem Magerfleischanteil und der erwünschten Fleischbeschaffenheit besteht offensichtlich eine reziproke Beziehung. Ferner ist es nicht möglich, ein maximales Fleisch-Fett-Verhältnis mit guter Mastleistung und Fruchtbarkeit in einer Rasse zu vereinigen.

Diese biologischen Zusammenhänge bzw. Wechselbeziehungen beruhen auf grundlegenden Lebensprozessen, wie Wachstum, Entwicklung, Fortpflanzung, und sind durch die Erbanlagen gesteuert. Es kann daher wohl eine gewisse Veränderung in den Merkmalsverhältnissen erreicht werden, jedoch muß vor einseitigen Extremen gewartet werden. Man muß folglich auch nicht zurück zum Wildschwein, es ist aber sicher nicht zielführend, einseitig auf höchsten Muskelfleischanteil zu züchten. Ein sicherer Hinweis auf ein „unbiologisches Zuchtziel“ ist die Abnahme der Fruchtbarkeit und Lebenskraft (Fitneß). Die Marktwünsche dürfen daher nur im Rahmen der biologischen Möglichkeiten berücksichtigt werden, wenn der Fortbestand einer Population gesichert werden soll.

Als Zuchtziel sind fruchtbare und robuste Schweine mit einer günstigen Futtermittelverwertung und einem hohen Fleischansatz bei gleichzeitig guter Fleischbeschaffenheit anzustreben. Vom Institut für Tierproduktion wurde schon vor Jahren vorgeschlagen, vom Fleisch-Fett-Verhältnis abzugehen und neben der Futtermittelverwertung den täglichen Fleischansatz und ein „Fleischqualitätskriterium“ in der Selektion zu berücksichtigen. Dies würde einen gewissen „physiologisch notwendigen“ Fettansatz ermöglichen, der für Vitalität und Fleischbeschaffenheit offensichtlich von Bedeutung ist. Zur objektiven Beurteilung der Fleischbeschaffenheit eignen sich das locker gebundene Wasser (Preßprobe), der Säuregrad (p_H -Wert) und die Farbhelligkeit (Göfowert).

Bei den Prüfanstaltsschweinen wäre der Preßprobe der Vorzug zu geben, am Fließband im Schlachthof muß man sich wohl mit einer Schnellmethode begnügen. Das Ergebnis der Prüfung auf „Fleischqualität“ müßte logischerweise auch bei der Handelsklasseneinstufung mitberücksichtigt werden.

Zur Früherkennung von streßempfindlichen Tieren hat sich in letzter Zeit in der Praxis der Halothantest durchgesetzt. Unter bestimmten Umständen kann diese Prüfmethode den Weg zum vitalen Schwein abkürzen. Langfristig kann das Problem aber nur über die Verfolgung eines biologisch-orientierten Zuchtzieles gelöst werden. Auch eine raffinierte Kreuzungszucht ändert nichts an der Tatsache, daß überempfindliche „Muskelprotze“ mit wasserlässigem Fleisch vom Standpunkt einer nachhaltigen (evolutionsgerechten) Zucht kein Fortschritt, sondern ein Rückschritt sind.

Verantwortungsvolles Züchten heißt eben in Generationen denken und Marktwünsche nur soweit berücksichtigen, als die biologischen Grundlagen der Fruchtbarkeit und Lebenskraft (Fitneß) nicht geschädigt werden.

(Nach einem Aufsatz von Univ.-Prof. Dr. A. Haiger, Univ. f. Bodenkultur, Wien)

Rasse	Fleisch-Fett-Verhältnis	Göfo-wert	Futter-verwertung	Ferkel pro Wurf
Edelschwein	3,6	66	2,55	9,9
Landrasse	3,9	58	2,70	9,5
Pietrain	6,2	54	2,88	8,7

„Das Rennen der Schweinezüchter um immer größere Rückenmuskelflächen wird uninteressant, wenn diese gezüchteten Schweine wäbriertes Fleisch liefern, nicht mehr laufen können und dem Herztod näherstehen als dem Leben“, stellte Dr. Fiedler 1972 bei einer Tagung in Berlin fest. „Das Rennen dauert an“, konstatierte Prof. Dr. Schmitten, Bonn. Es wird diskutiert und untersucht, aber keine grundsätzliche Kurskorrektur eingeleitet, kann man jetzt hinzufügen (Prof. Haiger).

Immunbiologie (II. Teil)

3. Humorales Immunsystem

Bau und Funktion der Antikörper

Antikörper wurden vor ungefähr 95 Jahren von Emil von Behring entdeckt. Heute weiß man, daß es Eiweißkörper mit relativ hoher Molekularmasse sind, die in menschlichen und tierischen Seren vorkommen. Man bezeichnet sie als Immunglobuline (Ig). Sie machen ca. 20% der Gesamtproteinmenge im Serum aus. Sie sind die Träger der humoralen Immunität. Als Träger der lokalen Immunität findet man sie in den Sekreten verschiedener Schleimhäute, aber auch in der Tränenflüssigkeit und dem Kammerwasser des Auges, im Liquor cerebrospinalis und in der Gelenkflüssigkeit.

Antikörper sind Glykoproteine, das heißt Proteine mit einem Kohlenhydratanteil, und zwar zwischen 5 und 15%. Da sie in der Serumelektrophorese zum größten Teil in den Gamma-Bereich wandern, bezeichnet man sie als Gamma-Globuline. In der Ultrazentrifuge sedimentieren sie in zwei Bereichen: Der größte Teil findet sich in der 7S-Fraktion mit einer Molekularmasse zwischen 150 000 und 200 000, ein kleinerer Teil in der 19S-Fraktion mit einer Molekularmasse von ca. 900 000.

Antikörpermoleküle sind aus vier Polypeptidketten aufgebaut –

2 lange Schwereketten = heavy chains = H-Ketten,
2 kurze Leichtketten = light chains = L-Ketten.

Die Ketten sind durch Disulfidbrücken zu einem Y-förmigen Immunglobulinmolekül verbunden; an den beiden Schenkeln liegen die L-Ketten.

Durch eiweißspaltende Enzyme, z. B. Papain, kann man das Molekül in drei Teile zerlegen. Die beiden gleichen Teile aus je einer L- und dem anliegenden Teil der S-Kette bezeichnet man als Fab (Fragment antigen binding). Sie verbinden sich spezifisch mit dem Antigen. Das dritte Fragment, aus den Resten der beiden S-Ketten bestehend, heißt Fc. Es besitzt keine Spezifität für das Antigen. Durch Abtrennung dieses Teils stellt man seit etwa 45 Jahren Antikörper aus Pferdeseren her und verringert dadurch die Artspezifität der Eiweißkörper.

Die Sequenz der 220 Aminosäuren der L-Ketten verschiedener Antikörper ist in der Hälfte, die den Schenkelenden abgekehrt ist, nahezu identisch, in der anderen Hälfte stark verschieden. An diesem Ende liegt auch der wichtigste, weil charakteristische biologische Faktor des Immunglobulinmoleküls, das spezifische Antigenbindungsvermögen, ein relativ kleiner Bereich der Peptidketten. Ebenso klein muß daher die Antigenstruktur sein, mit der ein Antikörpermolekül in Reaktion tritt. Ein hochmolekulares Antigen besteht folglich aus vielen Antigen-einheiten. Die Immunantwort auf ein solches Antigen erfolgt daher durch die Bindung entsprechend vieler Antikörper mit unterschiedlichen antigendeterminierenden Bereichen. Treten Haptene, also kleine Moleküle, als Antigene auf, so finden diese als Ganzes im Antikörpermolekül Platz.

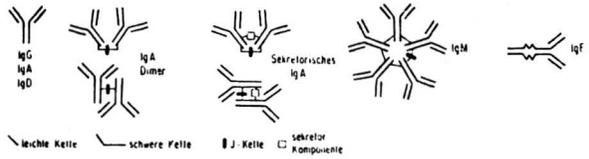
Bei den L-Ketten findet man zwei Typen, die kappa- und die lambda-Ketten, wobei immer zwei gleiche zu einem Antikörpermolekül gehören. Auch die H-Ketten besitzen einen variablen und einen konstanten Teil. Die Unterschiede im letzteren haben zu einer Einteilung der Antikörper in 5 Klassen, bei einigen davon in Subklassen, geführt. Die 5 Immunglobulinklassen kommen im Serum in verschiedener Konzentration vor.

In der folgenden Tabelle werden die charakteristischen Daten angegeben:

Klasse	Konzentration in mg%	Molekularmasse	Ultrazentrifuge	Komplementbindung
IgG	800–1800	150 000	6,6 S	+
IgA	90–450	150 000	6,6 S (9, 11, 13 S)	–
IgM	60–250	900 000	18 S (24, 32 S)	+
IgD	bis 3,0	175 000	7 S	+
IgE	bis 0,045	190 000	8 S	–

Injiziert man einem Tier menschliche Antikörper, so wirken diese wie ein Antigen und rufen die Bildung gegen sie gerichteter Antikörper an. Mit Hilfe derart hergestellter Antisera lassen sich zahlreiche Determinanten auf einem Antikörpermolekül identifizieren. Je nach Lokalisation kann man unterscheiden zwischen Determinanten auf L- oder S-Ketten, auf dem Fab- oder dem Fc-Teil.

Bau der 5 Immunglobulinklassen:



Funktion der Antikörper:

IgM

Die hohe Molekularmasse kommt durch Polymerisation von 5 Immunglobulineinheiten zustande. Es sind die ersten Antikörper, die nach einem Antigenbefall auftreten. Sie beschränken die Vermehrungsfähigkeit der eingedrungenen Krankheitserreger. Ihre Existenz ist in der Regel zeitmäßig begrenzt, später treten IgG-Antikörper auf, die eine lang anhaltende Immunität bewirken. Beim Fetus ist dies nicht der Fall. Sind im Nabelschnurblut mehr als 30 mg% IgM festzustellen, so hat höchstwahrscheinlich eine intrauterine Infektion stattgefunden.

IgG

Als einziges Immunglobulin passiert es die Plazentaschranke und stattet das Neugeborene für das erste Lebensjahr mit dem sogenannten Nestschutz aus, der sich auf alle Erkrankungen erstreckt, die die Mutter durchgemacht hat; außerdem wird der mütterliche Impfschutz durch aktiv transportiertes IgG übertragen. Durch diesen Umstand sind Lebendimpfungen bis zum Ende des ersten Lebensjahres nicht möglich. Die Bildung eigener IgG geht langsam vor sich, während des ersten Lebensjahres ist hohe Infektionsanfälligkeit vorhanden. Der Erwachsenenwert wird erst im Schulalter erreicht. Dagegen wird IgM vom Säugling selbst in raschem Anstieg erzeugt und der Erwachsenenwert mit dem Ende des ersten Lebensjahres erreicht.

IgA

Kommt hauptsächlich in den Sekreten exokriner Drüsen, z. B. des Darmtraktes, vor. Im Serum ist es ein Einzelmolekül, in den Sekreten sind diese zu zweit oder zu dritt miteinander verbunden. Kann über die Muttermilch passiv übertragen werden und schützt den Säugling vor Darminfekten.

In den Schleimhäuten bewirkt es lokale Immunität. Die Poliomyelitis-Schluckimpfung bedient sich dieser lokalen Immunsierbarkeit, und zwar der Schleimhäute des Verdauungstraktes. Auch die Typhus-Paratyphus-Schluckimpfung beruht auf dieser Wirkung.

IgD

Erst vor kurzem entdeckt, über seine biologische Wirkung ist wenig bekannt.

IgE

Ist der Mediator von allergischen Sofortreaktionen und daher mit der schon lange bekannten Reagin identisch. Man findet daher erhöhte Werte bei Allergien, bei parasitären Erkrankungen und bei dem selten vorkommenden IgE-Myelom. Ausbildung einer allergischen Sofortreaktion: Mastzellen (basophile Granulozyten mit gelapptem Kern), in Haut und Schleimhaut befindlich, besitzen besondere Affinität zu IgE und weisen Rezeptoren für den Fc-Teil dieser Antikörper auf. Die freien Fab-Teile ragen über ihre Oberfläche hinaus. Erst wenn ein passendes Antigen je einen Fab-Teil von zwei benachbarten IgE-Molekülen verbindet, wird ein Mediator, wie Histamin, Serotonin oder ähnliches, freigesetzt, der zur allergischen Reaktion führt.

Ablauf der humoralen Immunantwort bei Antigenkontakt

Antikörperbildung: Dringt ein Antigen in den Organismus ein, so wird es vom immunkompetenten System als fremd erkannt. Die Immunantwort zeigt mehrere Phasen: Eine Latenzphase von zwei Tagen, danach ein steiler Anstieg des Antikörpertiters, und zwar des IgM-Antikörpers, IgG-Antikörper treten erst vom

vierten Tag an auf. Danach schließt sich eine stationäre Phase von Wochen und Monaten an, in der die IgM-Antikörper rasch abnehmen, während die IgG-Antikörper für den Titer dieser Phase verantwortlich sind. Eine solche Immunantwort auf den ersten Antigenkontakt wird als Primärreaktion bezeichnet. Eine Sekundärreaktion tritt ein, wenn man Antigen während der stationären Phase ein zweites Mal injiziert – es steigt der Antikörpertiter, vorwiegend der der IgG-Klasse, rasch höher an. Sekundärreaktionen treten auch noch nach Jahren auf – man nennt diese Erscheinung immunologisches Gedächtnis. Bei einer aktiven Immunisierung gegen Infektionskrankheiten erhält man den hohen und lange anhaltenden Antikörperspiegel der Sekundärreaktion und bezeichnet die zweiten und weiteren Impfstoffgaben als Booster-Injektionen.

Die Menge der gebildeten Antikörper beruht auf einem Rückkopplungseffekt – je mehr Antikörper vorhanden, desto weniger werden gebildet und umgekehrt –, dadurch wird ihre Anzahl beim Übergang von der Phase des Anstiegs zur stationären Phase von den Antikörpern selbst geregelt. Durch Antikörper gegen Immunglobulindeterminanten läßt sich die Produktion von Antikörpern, die diese Determinanten besitzen, unterdrücken, z. B. bei der Verwendung von Antilymphozytenserum bei Organtransplantationen.

Klinische Symptome bei Antigenantikörperreaktionen treten nur unter bestimmten Bedingungen auf. Die gebildeten Komplexe müssen bestimmte Konzentration, Persistenz, Größe aufweisen, letztere wird bestimmt durch die Größe des Antigens, seine Determinantenzahl und das relative Mengenverhältnis von Antigen und Antikörper. Befinden sich Antikörper im Überschuß, so sind alle Determinanten des Antigens von einzelnen Antikörpern besetzt; besteht Antigenüberschuß, so sind die Haftstellen auf den wenigen Antikörpern mit Antigenen besetzt, in beiden Fällen entstehen kleine Komplexe, die wasserlöslich sind. Nur bei ausgewogenem Gleichgewicht zwischen Antigen und Antikörper, im sogenannten Äquivalenzbereich, kommt es zur Ausbildung eines Netzwerks und damit großer Komplexe, die nicht in Lösung bleiben, sondern präzipitieren. Diese werden rasch von Freßzellen, den Makrophagen, aufgenommen und abgebaut. Große, lösliche Komplexe können in die Gefäßwand eintreten und bei chronischem Vorhandensein schwere Gefäßschädigungen hervorrufen. Kleine lösliche Komplexe werden ausgeschieden oder können lange Zeit ohne Folgen in der Zirkulation erhaltenbleiben.

Nachweis von Antigenantikörperreaktionen in vitro

1. Neutralisation: Bei Antigenantikörperreaktionen treten Änderungen im Zustand des Antigens auf. Die Neutralisationsreaktion bewirkt bei Viren als Antigen das Aufheben der Infektivität, bei Toxinen eine Entgiftung.

2. Agglutination: Es handelt sich hierbei um partikuläre Strukturen, z. B. Bakterien oder Körperzellen wie Erythrozyten. Das Antigen kann natürlich auf der Oberfläche des Partikels vorhanden oder künstlich durch eine chemische Reaktion an seine Oberfläche gekoppelt werden. Der Nachweis wird unter anderem auch in der Blutgruppen-Serologie verwendet.

3. Präzipitation: Lösliche Antikörper (Präzipitine) und lösliche Antigene bilden einen unlöslichen Niederschlag, das Immunpräzipitat. Antikörper und Antigen müssen, um ein Netzwerk bilden zu können, polyvalent sein. Antikörper sind zumindest bivalent, kleine Antigene mit einer einzigen Determinante können nicht präzipitieren. Verwendet werden in der Praxis durchsichtige Agargele, in denen die Immunpräzipitate als weiße Bänder auftreten. In flüssigen Medien zeigt sich Flockenbildung.

In der Klinik werden folgende Methoden am häufigsten angewandt:

a) Agar-Doppeldiffusionsmethode: In die auf eine Glasplatte ausgegossene Agarschicht stanzt man Löcher, in diese Näpfe werden Lösungen von Antigen bzw. Antikörper gefüllt, und diese Lösungen diffundieren, wobei sie konstante Diffusionsgradienten bilden. An bestimmten Stellen treten, je nach der Konzentration der Lösungen, Äquivalenzbereiche auf, was zur Ausbildung von Präzipitationslinien führt. Läßt man gegen ein bestimmtes Antiserum Lösungen von zwei Antigenen diffundieren, so kann man nach der Lage der Präzipitationslinien die Identität bzw. die Verwandtschaft der beiden Antigene bestimmen.

b) Gegenstromelektrophorese: Die Diffusionsgeschwindigkeit wird durch Anlegen einer elektrischen Spannung vergrößert, die Antikörper als Gamma-Globuline wandern zur Kathode, als Antigene können nur solche verwendet werden, die zur Anode wandern, wie das Hepatitis-B-Antigen. Mit dieser Methode können auch geringe Antigenmengen angezeigt werden.

c) Immunelektrophorese: für die qualitative Untersuchung von Serumproteinen geeignet. Die Proteine des zu untersuchenden und eines Vergleichsserums werden zuerst durch Elektrophorese in paralleler Richtung aufgetrennt, dann wird dazwischen eine Rinne ausgestanzt und Antiserum eingefüllt. Durch Diffusion entstehen Präzipitationsbögen an bestimmten Stellen.

d) Eine quantitative Bestimmung von Serumproteinen geschieht durch die radiale Immundiffusion. Dabei wird ein bestimmtes spezifisches Antiserum mit Agar vermischt und auf eine Platte ausgegossen. Die zu untersuchende Serumprobe wird in einem exakt gemessenen Volumen in ausgestanzte Näpfe gegossen. Durch Diffusion entstehen kontinuierliche Konzentrationsgradienten, und dort, wo sich zum Antiserum äquivalente Antigenmengen befinden, tritt kreisförmig ausgebildete Ausfällung ein. Die Größe des Radius hängt von der Konzentration des Antigens ab.

4. Immunfluoreszenz: Antikörper bekannter Spezifität werden mit Farbstoffen, z. B. Rhodamin, markiert, wobei entweder die Antikörper selbst (direkter) oder an die Antikörper angeheftete komplementäre Antikörper (indirekter Test) mit dem Farbstoff verbunden sein können.

Statt der Fluoreszenzfarbstoffe kann man auch Enzyme verwenden, z. B. Peroxydase, die durch enzymhistochemische Methoden lokalisiert werden können.

5. Komplementbindung: Als Komplement wird ein aktivierbares System von neun Serumproteinen bezeichnet, die zum Teil Enzymcharakter besitzen. Dieses Komplement kann sowohl von Antigenantikörperkomplexen als auch unabhängig davon von Stoffen, wie z. B. Endotoxin, Inulin u. a., aktiviert werden.

Es bewirkt Entzündungsvermittlung und Erregerabwehr durch Zytolyse oder Vorbereitung zur Phagozytose.

Die Wirkung des Systems reicht von fast unmerklichen bis zu schwer pathologischen Reaktionen. Sie läuft dauernd im ganzen Organismus ab.

Die Aktivierung der ersten der neun Komponenten geschieht, falls es sich um Antigenantikörperkomplexe handelt, durch solche, die IgG oder IgM enthalten. Die Veränderungen der weiteren Komponenten findet nacheinander durch die Bildung von zum Teil Enzymen, zum Teil Komplexen statt. Durch Anlagerung der letzten Komponenten tritt eine Membranschädigung der Zelle ein, wodurch wahrscheinlich das osmotische Gleichgewicht nicht mehr aufrechterhalten werden kann und die Lyse stattfindet.

Die Synthese des Komplements dürfte in einkernigen Zellen des phagozytierenden Apparates geschehen, etwa die Hälfte der Menge der einzelnen Komponenten wird täglich erneuert.

Das Komplementsystem steht im Zusammenhang mit anderen Plasmaproteinsystemen, wie dem Blutgerinnungs- und dem Fibrinolytischen System. Alle diese Systeme erfahren eine kaskadenartige Aktivierung von Vorstufen zu aktiven Substanzen, ein Proenzym wird z. B. durch Abspaltung von Polypeptidketten zum Enzym. Diese Enzyme sind zum Teil Proteasen, die die Aktivierung eines anderen Systems einleiten können.

Leistungen des Komplementsystems: Durch Aktivierungsvorgänge wird Histamin freigesetzt, und die Kontraktion der glatten Muskelfasern bewirkt das Ansteigen der Gefäßdurchlässigkeit und damit Odembildung. Andere Komplementkomponentenabkömmlinge besitzen chemotaktische Eigenschaften und locken Leukozyten, ein wesentliches Entzündungselement der zellulären Infiltration, an.

Weitere Bruchstücke von Komplementkomponenten bewirken Änderungen der Membraneigenschaften und führen zur Zytolyse, wieder andere machen Zellen für Makrophagen leicht phagozytierbar bzw. führen zur Verklumpung von Thrombo- und Erythrozyten. Sie spielen, vielleicht auch im Zusammenhang mit den jeweiligen Antigenen, eine Rolle bei der Auslösung der Antikörperproduktion.

Zelluläres Immunsystem

Zelluläre Immunreaktionen kommen gewöhnlich neben humoralen vor, wenn ein Antigen in einen Organismus eindringt. Welche dieser beiden Formen bevorzugt auftritt, ist von der physikalisch-chemischen Zusammensetzung der Antigene (löslich, aggregiert oder in Komplexform), von der Art des Eindringens des Antigens (siehe oben) und anderen Faktoren abhängig.

Die zelluläre Immunantwort wird, wie ihr Name ausdrückt, ausschließlich von zellulären Komponenten des Immunsystems getragen, dabei spielt die Interaktion von Makrophagen und verschiedenen Lymphozytenpopulationen eine wesentliche Rolle, wobei wir heute wissen, daß die T-Zellen, die allgemein als die zentralen Träger der zellulären Immunreaktion

angesehen werden, unter dem regulativen Einfluß von anderen T-Zell- und B-Zellpopulationen stehen. Der Ablauf einer solchen Immunantwort läßt sich am Beispiel einer Transplantat-Abstoßungsreaktion besonders gut illustrieren. In diesem Fall werden die sensibilisierten Zellen des Organempfängers versuchen, das als fremd erkannte Transplantat zu eliminieren. Im Zuge dieser Abstoßungsreaktion wird es zu einer massiven Lymphozyten-Infiltration kommen und zu einer weitgehenden Destruktion der Zielzellen, die zum Teil durch direkten Zell-Zellkontakt erfolgt.

Zeitlicher Verlauf zellulärer Immunreaktionen: Durch das Eindringen des Antigens in den Organismus kommt es zu einer Sensibilisierung von immunkompetenten Zellen. Nach ein bis drei Tagen erfolgt eine humorale Immunantwort gegen das betreffende Antigen. Die zelluläre Immunaktivität erreicht nach etwa acht bis zehn Tagen ihren Höhepunkt. Im Kreislauf zirkulieren nun antigen- und antikörperreaktive Lymphozyten, deren Spezifität gegen das Antigen gerichtet ist. Die Geschwindigkeit, mit der nach einem wiederholten Antigenreiz klinisch erfassbare Erscheinungsformen auftreten, ist bei der humoralen Immunität und bei der zellulären Immunität sehr verschieden. Am deutlichsten wird dies beim Vergleich der Allergie vom Soforttyp (antikörpervermittelt) und der Allergie vom verzögerten Typ (zellvermittelt). Im ersten Fall treten Minuten nach erneutem Kontakt mit dem Antigen Reaktionen auf, die von Juckreiz, Quaddelbildung und Erythem bei lokaler Applikation bis zum anaphylaktischen Schock reichen können. Bei der Allergie vom verzögerten Typ tritt eine Reaktion sehr viel später ein. Nach sechs bis 24 Stunden beginnen Zellen in den Antigenbereich einzuwandern, erst 24 bis 48 Stunden nach Gabe des Antigens ist die Immunreaktion voll ausgebildet. Sie besteht in einem zellulären Infiltrat, das von einem entzündlichen Reaktionshof umgeben ist. In der Haut sind an der Stelle, wo das Antigen injiziert wurde, deutliche Knötchen zu tasten.

(Zusammenstellung des Artikels durch Prof. Dr. H. Binder in Zusammenarbeit mit Dr. Christa Steiner und Dr. G. Pircher.)

Zum Allergieproblem

Jeder zehnte Bewohner Österreichs ist gegen Blütenstaub mehr oder weniger empfindlich. In der Bundesrepublik sind davon 2 Millionen Menschen betroffen. Von den etwa 4000 bei uns vorkommenden Blütenpflanzen sind nur einige hundert aggressiv; vor allem sind 20 bis 30 Pollenarten von windblütigen Bäumen, Sträuchern und insbesondere Gräsern hier zu erwähnen. Eine Roggenähre kann über 4 Millionen Pollenkörner freisetzen. Da die meisten Pollenkörner klein und leicht sind, können sie weit fortgetragen werden. Ein wesentlicher Teil fliegt einige hundert Meter oder wenige Kilometer; es sind aber auch schon Ferntransporte über 1000 Kilometer nachgewiesen worden. In Einzelfällen können Konzentrationen von 30 000 Pollen pro Kubikmeter Luft erreicht werden. Die allergische Reizschwelle für den Menschen aber liegt schon bei 10 bis 20 Körnern pro Kubikmeter Luft. Allergisch wirksame Pollen können fast zu allen Jahreszeiten auftreten. Hasel und Erle blühen im Februar/März, oft schon im Jänner; Birken, Hainbuche und Esche etwa im April; der Wegerich von Mai bis August; die Gräser von April bis September; die Brennnessel von Mai bis Ende September das Binkelkraut und Gänsefußgewächse bis gegen Mitte Oktober. Also kann sich ein Allergiker nur etwa von November bis zum Jahresbeginn einigermaßen sicher fühlen. Natürlich gibt es Unterschiede in der jährlichen Pollenproduktion und auch einen Tagesgang der Pollenkonzentration in der Luft – abhängig von der Wetterlage. In einigen Kulturstaaten arbeitet man bereits intensiv am Ausbau einer Pollenflugvorhersage.

Warum man gegen Blütenstaub allergisch ist oder wie man allergisch wird, liegt auch für die Medizin noch zu einem wesentlichen Teil im Dunkeln. Eines aber ist sicher, daß sowohl Vererbung als auch Umwelteinflüsse dabei eine Rolle spielen. Niesen und Augenrötung sind nur die äußerlichen Anfangssymptome der „Pollinose“. Sie finden ihre Fortsetzung in Atembeschwerden (Pollenasthma) zuerst saisonbedingt, später vielleicht in einen Dauerzustand übergehend. Die wesentlichen Zusammenhänge sind heute ziemlich gut bekannt. Die Pollen enthalten Plasma, das bestimmte allergieauslösende Eiweißmoleküle, die Antigene (= Allergene) enthält. Durch diese wird der Körper sensibilisiert, er beginnt mit Abwehrreaktionen. Mit Hilfe der Lymphozyten bildet er Antikörper (z. B. Histamin), die in Mastzellen unter der Schleimhaut gespeichert werden. Bei vielen Menschen werden nun auch besonders viele derartige Mastzellen angelegt. Damit ist die Phase der

Sensibilisierung abgeschlossen. Ein Überschießen des Immunsystems bringt dann die allergische Reaktion. Die Allergene neu eindringender Pollen gehen mit den Antikörpern eine Verbindung ein und vernichten so das Allergen. Gleichzeitig platzen die Mastzellen und schütten die Vermittlersubstanzen aus, wodurch die allergischen Schleimhautreaktionen in Gang gesetzt werden. Die kapillaren Blutgefäße werden durchlässig (Ödem), die Schleimdrüsen werden zu gesteigerter Sekretproduktion angeregt und die glatte Muskulatur des Bronchialtraktes verkrampft.

Für die Vorbeugung und Behandlung eines Allergikers ist die genaue Kenntnis der allergieauslösenden Substanzen erforderlich. Um sie zu ermitteln, werden in einem Test auf die Haut je 8 bis 10 verschiedene Substanzen aufgetropft, also etwa verschiedene Pollenarten. Nach 15 bis 20 Minuten treten bei allergisch wirksamen Substanzen Rötungen oder Quaddeln verschiedener Intensität auf. Es besteht die Möglichkeit, den Körper rechtzeitig an den Kontakt mit dem Allergen zu gewöhnen. Vier Monate vor dem erwarteten Einsetzen des entsprechenden Pollenfluges wird dem Patienten eine verdünnte Pollenlösung injiziert. Die Konzentration des injizierten Mittels wird allmählich gesteigert.

(Umschau IV/82)

Michael A. Göttinger¹⁾

Eine einfache Bestimmungstabelle häufiger gesteinsbildender Silikatminerale

(nach äußeren Kennzeichen)

Silikatminerale besitzen Kristallstrukturen, die durch $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeder als Bauelemente gekennzeichnet sind (Silizium ist im Tetraeder durch Aluminium ersetzbar). Je nach Gruppierung bzw. Verknüpfung der Baueinheiten (einzelne Tetraeder oder verbunden zu Gruppen, Ringen, Ketten, Bändern, Schichten oder Gerüsten) erfolgt auch eine Einteilung der Silikate. Die Tabelle 1 gibt eine kurze Übersicht.

Tabelle 1:
Systematik der Tetraederverbände in Silikaten

	Verhältnis (Si, Al) : O
Inselsilikate (= Nesosilikate) Baueinheit: $[\text{SiO}_4]^{4-}$	1 : 4 (0,25)
Gruppensilikate (= Sorosilikate) Baueinheit: z. B. $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$	2 : 7 (0,2857)
Ringsilikate (= Cyclosilikate) Baueinheit: z. B. $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$	1 : 3 (0,33')
Kettensilikate (= Inosilikate) Baueinheit: $\infty [\text{SiO}_3]^{2-}$, $\infty [\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$	1 : 3 (0,33')
Bandsilikate (= Inosilikate) Baueinheit: z. B. $\infty [\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$	4 : 11 (0,3636'')
Schichtsilikate (= Phyllosilikate) Baueinheit: z. B. $\infty [\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$, $\infty [\text{Si}_3\text{AlO}_{10}]^{5-}$	2 : 5 (0,4)
Gerüstsilikate (= Tektosilikate) Baueinheit: z. B. $\infty [\text{Si}_3\text{AlO}_8]^{1-}$, $\infty [\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]^{2-}$, $\infty [\text{Si}_2\text{AlO}_6]^{1-}$	1 : 2 (0,5)

¹⁾ Dr. Michael A. Göttinger, Institut für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien, 1010 Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1.

Nur knapp 100 Silikatminerale bzw. -mineralgruppen von derzeit ca. 3000 bekannten Mineralspezies bilden den weitaus überwiegenden Anteil der Gesteine der oberen Erdkruste. Aus der chemischen Zusammensetzung der oberen Erdkruste folgt, daß dieser Anteil mehr als 90% beträgt (Feldspäte 58%, Pyroxene, Amphibole und Olivine 16,5%, Quarz 12,5%, Glimmer 3,5%, Tonminerale 1%; ergibt 91,5% – nach Ramdohr und Strunz, 1978).

Diese Minerale werden hauptsächlich von folgenden chemischen Elementen aufgebaut (in Klammer steht die mittlere Häufigkeit der Elemente in den magmatischen Gesteinen der oberen Erdkruste – nach Wedepohl, 1967 –: Sauerstoff (47,3%), Silizium (30,5%), Aluminium (7,8%), Eisen (3,5%), Kalzium (2,9%), Kalium (2,8%), Natrium (2,5%), Magnesium (1,4%).

Wichtig sind auch einige weitere Elemente, die in weitverbreiteten silikatischen Nebengemengteilen und/oder Accessorien (Beispiele nachstehend) vorkommen bzw. aus geochemisch-kristallchemischen Gründen angereichert sind und eigene Minerale bilden können (in Klammer steht die Häufigkeit – nach Wedepohl, 1967 – in Gramm/Tonne = ppm): Titan (4700) im Titanit; Fluor (720) in Amphibolen, Glimmern; Wasserstoff (700) im Wasser und in (OH-)Gruppen in Mineralen; Mangan (690) in Granaten, Pyroxenen, im Rhodonit; Barium (590), Strontium (290) und Rubidium (120) in Feldspäten, Glimmern; Zirkonium (160) im Zirkon – zusammen mit Hafnium (3); Zink (60) z. B. im Staurolith; Nickel (44) im Olivin, Garnierit; Lithium (30) im Spodumen, Lepidolith; Bor (9) im Turmalin; Beryllium (2) im Beryll; diese Elemente werden, mit Ausnahme des Zink (chalkophil) zu den lithophilen Elementen gezählt. Daraus ergibt sich, daß qualitative Elementnachweise sowie halbquantitative Analysen (wie bei der Bestimmung nichtsilikatischer Minerale, z. B. Erze üblich) zur Bestimmung von Silikatmineralen nur in Einzelfällen zielführend sind.²⁾

Da aufwendige Röntgenmethoden zur Mineralbestimmung (besonders an Schulen) nicht immer herangezogen werden können, ergibt sich notwendigerweise eine Bestimmungsmöglichkeit nach einer Kombination charakteristischer äußerer Kennzeichen. Auf Grund von Erfahrungen im Praktikumsbetrieb erscheint eine Bestimmung der häufigen gesteinsbildenden Silikatminerale nach Farbe des Minerals, Härte des Mineralkorns (nach Mohs) und Ausbildung (feinkörnig, körnig-dicht, stengelig, tafelig und blättrig) sehr zweckmäßig. Mineraldichte und Strich (Farbe des Mineralpulvers) sind nur für einzelne Silikate charakteristisch.

Die vorliegende Bestimmungstabelle (Tabelle 2) soll zumindest eine Eingrenzung des zu bestimmenden Minerals auf wenige Spezies ermöglichen.

Tabelle 2:

Bestimmung der Silikatminerale nach Farbe, Härte (in Klammern) und Ausbildung
(Reihenfolge der Minerale nach der Systematik, Tab. 1)

Legende: •• feinkörnig
● (grob)körnig
// stengelig
◇ tafelig
□ blättrig

1. Farblose, schwach gefärbte, meist durchsichtig-durchscheinende Minerale

H ≤ 4

- Muskovit (2) □
- Lepidolith (2,5) □ ••
- Paragonit (3) □
- Margarit (3,5) □
- Stilbit (Desmin) (4) ◇³⁾

H 4,5–6,5

- Willemitt (5,5) ●
- Titanit (Sphen) (5,5) ◇ ●
- Datolith (5,5) ●
- Disthen (4 bzw. 7) // ◇
- Hemimorphit (Kieselzinkerz) (5) ◇
- Bertrandit (6,5) ◇
- Milarit (6) //

- Diopsid (6) // ●
- Tremolit (5,5) //
- Apophyllit (5) ●
- Prehnit (6) ◇
- Analcim (5) ●³⁾
- Plagioklase (6,5) ◇ ●
- Chabasit (4,5) ●³⁾

H ≥ 7

- Phenakit (8) ●
- Euklas (7,5) ●
- Topas (8) // ●
- Beryll (8) //
- Turmalin (7) //
- Danburit (7) ◇ ●
- Quarz (Bergkristall) (7) // ●

2. Weiße, schwach gefärbte, meist undurchsichtige Minerale

H ≤ 4

- Pyrophyllit (1,5) □
- Talk (1) □
- Serpentin-Asbest (3) //
- Kaolinit (2) ••
- Illit (1,5) ••
- Halloysit (1,5) ••
- Palygorskit // ••
- Meerscham ••

H ≥ 6,5

- Granat (Grossular) (7) ●
- Sillimanit (6,5) //
- Zoisit (6,5) //
- Jadeit (6,5) // ••
- Spodumen (6,5) ◇ //
- Plagioklase (6,5) ◇ ●
- Quarz (Milchquarz) (7) ● //
- Beryll (8) //

H 4,5–6

- Datolith (5,5) ●
- Wollastonit (5) //
- Tremolit (5,5) //
- Tremolit-Asbest (4–5) //
- Nephelin (6) ●
- Leucit (5,5) ●
- Kalifeldspat (6) ◇
- Skapolithe (6) //
- Zeolithe (4–5,5) ● // □³⁾
- Natrolith (5) //³⁾
- Opal (6) ●

3. Rötliche und rötlichbraune Minerale

H ≤ 4

- Lepidolith (2,5) □ ••
- Zinnwaldit (3,5) □
- Heulandit (3,5) ◇ □³⁾

H 4,5–6,5

- Rhodonit (6) ● ◇

H ≥ 7

- Granate (Pyrop, Almandin, Spessartin, Hessonit – Andradit) (7) ●
- Andalusit (7,5) // ●
- Zirkon (7,5) // ●
- Turmalin (Rubellit) (7) //
- Axinit (7) ◇
- Quarz (Rosenquarz) (7) ●
- Chalcedon (Carneol) (7) ●

³⁾ Zeolithe: Gerüstsilikate mit variablen Wassergehalten; sind nach ihrer Ausbildung (allerdings nicht entsprechend nach der heute üblichen Nomenklatur!) einteilbar in:
Körnerzeolithe: Analcim, Chabasit, Harmotom, Phillipsit u. a.
Blätterzeolithe: Heulandit, Stilbit (Desmin) u. a.
Faserzeolithe: Natrolith, Skolezit, Laumontit u. a.

4. Bläuliche Minerale

H 4–6,5

Disthen (4 bzw. 7) // ◇
Benitoit (6,5) ●
Glaukophan (5,5) //
Sodalithgruppe (5,5) ●
Lasurit (5,5) ●

H ≥ 7

Dumortierit (7) //
Cordierit (7) ● ◇
Quarz (Amethyst, Blauquarz – „Falkenauge“) (7) // ●
Chalcedon (7) ●

5. Grüne (flaschengrüne) bis dunkelgrüne Minerale

H ≤ 4

Chrysokoll (3) ● ••
Fuchsit (2) •• □
Biotit (2) □
Chlorit (2) □ ••
Serpentin (asb.) (3–4) □ •• //
Garnierit (2) ••

H 4,5–6,5

Chloritoid (6,5) ◇
Epidot (6,5) // ◇ ●
Vesuvian (6,5) ● //
Diopas (5) ●
Diopsid – Hedenbergit (6) //
Aktinolith (5,5) //
gem. Hornblende (5,5) //

Olivin (7) ●
Granat (Uwarowit, Demantoid) (7) ●
Beryll (Smaragd) (8) // ●
Turmalin (Verdelith) (7) //
Quarz (Chrysopras, Prasem) (7) ●
Heliotrop-Jaspis (7) ●

6. Graubraune bis graugrüne Minerale

H ≤ 4

Phlogopit (2) □
Vermiculit (2) □

H 4,5–6,5

Titanit (5,5) ◇ ●
Chondroitin (6,5) ●
Meliolithgruppe (5,5) ●
Zoisit (6,5) //
Vesuvian (6,5) ● //
Enstatit – Bronzit (6) ◇ //
Anthophyllit (5,5) //

H ≥ 7

Zirkon (7,5) ● //
Turmalin (Dravit) (7) //
Axinit (7) ◇
Quarz (Rauchquarz) (7) // ●

7. Schwarzgrüne, -braune bis schwarze Minerale

H ≤ 4

Stilpnomelan (3) // ◇
Biotit (2) □
Fe-Chlorite (2) □ ••

H 4,5–6,5

Titanit (5,5) ● ◇
Ilvait (6) // ●
Allanit (Ce-Epidot) (5,5) // ●
Hedenbergit (6) //
Augit (6) // ●
Aegirin (6) //
Hypersthen (5,5) // ◇
basalt. Hornblende (5,5) // ●
Glaukophan (5,5) //
Riebeckit (5,5) //
Neptunit (5,5) //

H ≥ 7

Granat (Melanit) (7) ●
Staurolith (7) //
Turmalin (Schörl) (7) //
Quarz (Morion) (7) ● //
Jaspis – Feuerstein (7) ●

LITERATUR:

Correns, C. W., 1968: Einführung in die Mineralogie (Kristallographie und Petrologie) – Mineraltabellen von S. Koritnig, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 1968, 458 Seiten.
Ramdohr, P. und Strunz, H., 1978: Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, 16. Auflage, Ferdinand-Enke-Verlag, Stuttgart, 1978, 876 Seiten.
Wedepohl, K. H., 1967: Geochemie, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1967, 220 Seiten (Sammlung Göschen, Band 1224/a/b).

Leben im Wasser von 350 °C

Ärzte und Biologen waren bisher felsenfest von der Tödlichkeit des Temperaturbereichs über 120 °C für alle Lebewesen überzeugt. Nicht nur die Effizienz des Sterilisierens von medizinischen Geräten schien das zu bestätigen, auch theoretisch gab es massive Argumente für diese Lehrmeinung, wenn auch gewisse Proteine eine Ausnahme zu machen schienen. Die höchste bis vor kurzem beobachtete Temperatur, die gewisse Bakterien vertrugen, war 105 °C. Die hierfür widerstandsfähigen Organismen halten sich in den Wasserschichten nahe erhitzter Flächen des Meeresbodens auf. Höhere Temperatur sollte ja die meisten Proteine denaturieren, Fette zerstören und den DNA-Doppelhelix in getrennte Bänder trennen. Zwar ist bekannt, daß nicht alle Proteine in einem Ei bei 5minütigem Kochen im Gegensatz zum Albumin zerstört werden. Ein paar H-Brücken sind nämlich in Proteinen bei 100 °C bestehen zu lassen. Ganz wenige Proteine bleiben auf diese Weise sogar bei 250 °C intakt!

Das hat sich grundlegend seit dem Bericht von J. A. Baross (School of Oceanography, Oregon State Univ.) und J. W. Deming (Chesapeake Bay Inst., John Hopkins Univ.) geändert. Sie wiesen sich vermehrendes Leben bei 350 °C im Wasser nach.

Im Pazifik, entlang des sogenannten East Pacific Rise (21° N), gibt es im Seeboden in 2650 m Tiefe kegelförmige, mit Schwefelkrusten bedeckte „Kamine“, aus denen 350 °C heißes Wasser nach oben strömt. Das ist nur möglich, weil der Siedepunkt des Wassers bei dem in dieser Tiefe herrschenden Wasserdruckes von 265 bar 460 °C beträgt. Die Kamine werden auch „Black Smokers“ genannt.

Die beiden genannten Forscher entnahmen 306 °C heißes Wasser, schlossen es ohne Abkühlung und Druckminderung in Titan-Autoclaven ein und gaben den Autoclaven in einen Druckbehälter, dessen Wasserinhalt auf 250 °C gehalten wurde. Nach 40 Minuten hatte sich die Anzahl der Bakterien verdoppelt, also hält ihr Doppelhelix der hohen Temperatur stand. Innerhalb einiger Stunden stieg die Anzahl der Bakterien gar um den Faktor 100. Es müssen also auch die Enzyme in den Organismen der entdeckten Arten die Hitze vertragen.

Offenbar setzt nicht die Temperatur, sondern Wassermangel dem Leben Grenzen! Das läßt es als möglich erscheinen, daß eines Tages thermostabile Proteine und Enzyme industriell verwertbar werden könnten.

Daß der Bericht kein Irrtum oder eine vom Wunsch gezeugte Interpretation ist, erkennt man an der Realität der Wachstumskurven (Bakterienanzahl gegen Temperatur), der Fotos und

den tabulierten Ergebnissen der Proteinanalyse, die der Publikation in der Zeitschrift „Nature“ beigelegt sind. Die Fotos wurden mit Hilfe eines Durchleuchtungs-Elektronenmikroskops aufgenommen, nachdem die Organismen 7 Stunden im Auto-claven verweilt hatten. Man stellte zwei Bakterienformen fest.

Das Wachstum der mit dem proteinspezifischen Farbstoff DAPI gefärbten Lebewesen verdoppelten ihre Anzahl

bei 150 °C nach 8 h,
bei 200 °C nach 90 min und
bei 250 °C nach 40 min.

Bei 300 °C trat kurzes Wachstum auf, dem die Abnahme der Zahl einzeln erscheinender Individuen zugunsten Bakterienklumpen folgte. Die Klumpen enthielten wenige bis zu Hunderte Individuen. Dies 3 Stunden nach dem Einschluß in die Kammer.

Im Wasser waren 9,6% CH₄, 2,2% H₂ und 0,1% CO gelöst. Die Gase sind mikrobieller Herkunft, denn im Parallelversuch mit normalem Wasser fanden sich diese Gase nicht. Als Energiequelle („Nahrung“) der Organismen könnten die im Wasser enthaltenen reduzierten Gase und Metalle in Betracht kommen.

Das überraschende Forschungsergebnis könnte auch neues Licht auf die Entwicklung des Lebens werfen, sei es auf der Erde (in bisher für steril gehaltenen Teilen der Erdkruste), sei es auf anderen Planeten, wie Venus oder Merkur, sofern dort irgendwo heißes, flüssiges Wasser unter hohem Druck die biologischen Voraussetzungen erfüllt.

W. Kranzer

LITERATUR:

Nature, 2. 6. 1983, S. 423, J. A. Baross, J. W. Deming, Growth of „Black Smoker-Bacteria“ at Temperatures of at least 250 °C.

Die Wälder sterben immer schneller

Das galoppierende Waldsterben kommt nicht völlig aus heiterem Himmel. Seit über 20 Jahren stehen die Bäume unserer Wälder unter einem gewissen Streß, der wohl vor allem durch Chemikalien bedingt ist. Ein Holzwirt erkennt das heute an den dicht gedrängten Jahresringen, die auf ein vorangegangenes karges Wachstum hindeuten.

Offensichtlich floß seit über 20 Jahren immer weniger Wasser mit Nährsalzen aus den Wurzeln in die Kronen, so daß die Wurzeln und Blätter immer mehr verkümmerten, wodurch die Flüssigkeitszufuhr zusehends behindert wurde. Schließlich verhungerten die Blätter und fielen ab. Letztlich lichteteten sich die Kronen. In den äußeren Teilen des Stammes bildeten sich übelriechende Stoffe.

In bedrohlichem Maße sterben zum Beispiel Tannen im Bayerischen Wald, Schwarzwald und Allgäu. Seit drei Jahren beginnen Fichten in ganz Europa und Nordamerika ihre Nadeln abzuwerfen und sind damit dem Tode geweiht. Das Waldsterben macht mittlerweile auch nicht vor den Laubbäumen halt. Am meisten kränkeln von den Laubbäumen zur Zeit die Buchen, ihre Blätter verfärben sich gelb. Sogar die Bodenflora (Farnkräuter, Heidelbeeren, Himbeersträucher) ist mit beeinträchtigt.

Die chemiegestreßten Gewächse sind inzwischen sehr anfällig für Bakterien, Schädlinge und Witterungseinflüsse geworden. Das Waldsterben ist durch seine zunehmende Verbreitungsgeschwindigkeit so beängstigend geworden. Krankheiten, die sich früher innerhalb von zwei Jahren ausgebreitet haben, vernichten inzwischen schon innerhalb von drei Wochen einen ganzen Waldbestand.

Das Schlimme ist, der genaue Grund für das Waldsterben ist noch unbekannt. Nur soviel weiß man heute, wie der Forstbotaniker Prof. Dr. Peter Schütt von der Technischen Universität München auf der Physikertagung im Frühjahr 1983 an der Universität-Gesamthochschule Wuppertal bekannt gab: „Schuld daran ist die Gesamtheit der Luftverunreinigung“, darunter die säurebildenden Stickstoffoxide und Schwefeldioxid aus Kohlekraftwerken und Autoabgasen sowie Kohlenwasserstoffe wie auch Benzin.

Ein bis zwei Dutzend Stoffe dürften für Bäume und Pflanzen giftig sein. Heimtückischerweise schaukeln sich die nebeneinander vorliegenden Giftstoffe auch noch in geringen Spuren zu fürchterlichen Wirkungen auf, wobei ein bestimmter, noch unbekannter Stoff die Schädigung sogar synergetisch verstärken kann. Zum Beispiel richten Ozon und Schwefeldioxid

zusammen mehr Unheil an, als der Summe ihrer Einzelwirkungen entspricht.

Auch wenn die Forschung bisher noch nicht den größten Übeltäter unter den Pflanzentöttern entdecken konnte, der das Faß zum Überlaufen gebracht hat, so ist doch trotzdem schnelles Handeln dringend erforderlich. Es dürfen künftig nicht mehr so großzügige Giftmengen wie bisher in die Luft befördert werden. Ferner sollten die Arbeiten der Botaniker, die den Ursachen für das Waldsterben nachgehen, besser koordiniert werden. Bisher ist es zum Beispiel in der Bundesrepublik Deutschland nicht üblich, daß ein Forstwissenschaftler weiß, was sein Kollege im anderen Bundesland gerade forscht.

Petra Schulz

Wassergebirge und Wassertäler der Ozeane

Schon in den Zeiten, da noch die Höhenangaben auf den Meeresspiegel bezogen wurden, mußte bei uns zwischen den Meeresspiegeln der Adria und der Nordsee unterschieden werden, weil diese Orte verschiedene Abstände zum Erdmittelpunkt haben, also das Wasser unterschiedlichen zentripetalen Führungskräften unterliegt. Wenn schon – global gesehen – auf so kurze Distanzen Korrekturen notwendig sind, dann ist das Bezugssystem „Meeresoberfläche“ für genauere Bestimmungen ungeeignet. Außerdem ist der Erdkörper keine Kugel, ja, nicht einmal ein Drehellipsoid, was die Dinge weiter kompliziert.

Deshalb wurde die **geodätische Nullfläche** als überall geltendes Bezugsniveau eingeführt. Das ist jene Fläche, in deren Punkten die Schwerebeschleunigung der nicht rotierend zu denkenden Erde ausnahmslos 9,8143 m/s² beträgt. (Wegen der Erdrotation ist die daraus erwachsende Führungskraft zusätzlich einzubeziehen. In 45° geogr. Breite beträgt die internationale Normbeschleunigung 9,4304 m/s².)

Die Dichteverteilung im Erdkörper ist inhomogen, also die Nullfläche verbeult. Über Erzlagern liegt sie höher als über Meeresgebieten, unter denen die Erdkruste sehr dünn ist, man also dem Erdmittelpunkt näherkommen muß, um die Normbeschleunigung zu erfahren. Die Nullfläche liegt somit über Erzlagern oberhalb der Erdoberfläche, hingegen an Stellen großer Meerestiefen unter jener. Da sich die Oberfläche von ruhendem Wasser bei Abwesenheit anderer Kräfte als der Gravitation so einstellt, daß in allen ihren Punkten dieselbe Schwerebeschleunigung herrscht (abzüglich der Fliehbeschleunigung), bildet das Meer relativ zur mittleren Oberfläche der Festländer über Erzlagern Berge, über Zonen geringerer Untergrunddichte Täler.

Der **Satellit Seasat** hatte die Aufgabe, die Gestalt des Wasserspiegels der Weltmeere zu bestimmen. Leider fiel er vorzeitig aus und konnte sein Programm nur teilweise durchführen. Trotzdem wurden einige interessante Fakten ermittelt.

Die „Wassertäler“ befinden sich im Pazifik prompt über den Tiefseegräben, also über Regionen mit besonders dünner Erdkruste. Über dem mittelatlantischen Rücken (gebildet von hochquellendem Gestein) konstatierte man ein „Wassergebirge“, das sich über 10 000 km etwa in N-S-Richtung erstreckt. Zwischen Sizilien und Italien liegt ein Wassertal. Auch vor der Westküste Südamerikas, östlich der Kurilen und Japans sowie grob nördlich von Neuseeland befinden sich teilweise Tausende Kilometer lange Wassertäler. Im Golf von Bengalen erhebt sich hingegen der Wasserspiegel höher als in der Umgebung.

Um den Verlauf des Meeresspiegels gut kennenzulernen, mußte etwa ein Meßpunkt pro 25 km² angepeilt werden. Vorläufig betragen die Abstände benachbarter Meßpunkte jedoch erst 100 km und mehr. Es wäre wünschenswert, das Seasat-Programm in einer neuen Mission zu Ende zu führen.

W. Kranzer

LITERATUR:

Sterne und Weltraum, Juni 1983, S. 273, W. Haier, Von Spiegelglätte keine Spur.

Kurznachrichten

Das Vordringen der Technik und industrieller Produktionsmethoden hat zu einem tiefgreifenden Wandel der Beziehung zwischen Mensch und Nutztier geführt. Durch das Haustier wurde der Urmensch unabhängig von der unsicheren Jagdbeute. Er verdankte ihm Nahrungsmittel, Rohstoffe für die Bekleidung, Zugkraft für Arbeit und Fortbewegung, kurzum, seine

Lebensgrundlage. Der Mensch wiederum bot dem Tier Schutz vor Feinden und Witterung, er unterstützte es bei der Futterbeschaffung und der Aufzucht der Jungen. Die Kultur wildwachsender Pflanzen und die Domestikation wildlebender Tiere ist daher zweifelsohne zu den bedeutungsvollsten Ereignissen und Errungenschaften der Menschheitsgeschichte zu zählen. Heute aber werden die Tiere der Technik absolut untergeordnet und mehr und mehr aus ihrer natürlichen Umwelt verdrängt. Es ist ja mehr als bezeichnend, wenn es im Bericht über eine bedeutende Rinderschau in der Bundesrepublik 1978 hieß, daß es den Züchtern durch Überlistung der Natur gelungen ist, ein Rind nach ihrem Willen zu formen und ein österreichischer Tierarzt das Hybridhuhn als Retortenhuhn bezeichnete, das gewohnt sei, im Käfig zu leben.

Da das Rind als Wiederkäuer in der Lage ist, die vom Menschen nicht direkt verwertbaren rohfaserreichen Futterstoffe des Grünlandes in hochwertige Lebensmittel umzuwandeln, verdient die Rinderzucht und -haltung besondere Aufmerksamkeit. Nun macht in unserer Heimat das Grünland ca. 60% der landwirtschaftlichen Nutzfläche aus; daher ist die überragende Bedeutung der Rinderzucht für Österreich klar ersichtlich.

(Nach Prof. Haiger, Bodenkultur)

Daß die **Alkoholproblematik** in Österreich und vor allem unter den Jugendlichen immer bedrohlicher wird, ersieht man vor allem aus dem Ansteigen der Delikte und Verkehrsunfälle unter dem Einfluß von Alkoholkonsum, dem Anwachsen von Gesundheitsschäden durch Alkoholmißbrauch. Im Jahre sterben bei uns im Durchschnitt 250 bei Verkehrsunfällen, die eindeutig auf das Konto des Alkohols gehören.

Von 100 000 Österreichern starben im Jahre 1978 31 Personen an Leberzirrhose und bereits 2,3 an Alkoholpsychose, 9 an Krebsarten, die durch Alkoholismus induziert werden. Der Anteil der an Unfällen durch Trunkenheit Beteiligten hat sich von der Gruppe der 25- bis 34- zu den 15- bis 24jährigen verschoben.

Seit dem Krieg hat sich die Weinbaufläche von 32 000 ha auf 54 000 ha vergrößert. Zudem gab es Rekordernten. Aber auch der Verbrauch stieg auf Rekordhöhen: pro Kopf trinkt jeder Österreicher im Jahr 36 Liter Wein. (Also auch die Säuglinge trinken – in dieser Rechnung – mit!) Der Bierdurst der Österreicher hat sich seit Anfang der fünfziger Jahre verdreifacht, nämlich von 37 Litern pro Kopf und Jahr auf mehr als 105 Liter; bei „harten“ Getränken von 5 auf 10,5 Liter.

Die Milchdrüsen unterliegen nicht nur der Steuerung durch verschiedene Hormone, wie Prolactin, Oxytocin, Wachstums- und Sexualhormone, sie produzieren auch selbst eine Reihe davon. Bei Ziegen wurde festgestellt, daß nach Entfernung der Milchdrüsen Unfruchtbarkeit zu beobachten ist.

(Naturw. Rundschau 1/83)

Der Leiter der zytogenetischen Abteilung der I. Univ.-Frauenklinik in Wien, Doz. P. Wagenbichler, berichtete bei der Tagung der Österr. Ges. für Gynäkologie und Geburtshilfe, daß seit 1974 an dieser Klinik über 655 **Fruchtwasseruntersuchungen** (pränatale Diagnostik) durchgeführt wurden. Die hauptsächlichste Indikation für eine Fruchtwasseruntersuchung liegt im Alter der Mutter. Während bei einer Frau mit 35 Jahren in 0,92% der Geburten mit einem numerisch oder strukturell aberranten Chromosomensatz gerechnet werden muß, sind bei einer 42jährigen bereits 4,65% der Kinder geschädigt. Wie bekannt, kann auch das Alter des Vaters einen ähnlichen Einfluß haben.

Unter den erwähnten 655 Amnionkulturen waren 22 chromosomale Aberrationen (16 numerische und 6 strukturelle). Alle 16 Mütter, bei denen eine numerische Aberration festgestellt wurde, entschlossen sich zu einer Unterbrechung. In allen Fällen zeigte die Obduktion der Feten, daß tatsächlich die prognostizierten Mißbildungen vorhanden waren. Von den 655 Zellkulturen kam es in keinem einzigen Fall zu einem Befundungsfehler, der ein gesundes Kind getroffen hatte. Was die Gefährlichkeit der Methode betrifft, so wurden ebenfalls eindrucksvolle Zahlen vorgelegt. Bei 12 von 655 Frauen, das sind 1,8% der Fälle, kam es innerhalb von vier Wochen nach der Amniocentese zur vorzeitigen Wehentätigkeit und damit zum Abortus. Man muß natürlich auch die spontane Abortrate einrechnen. Eine mütterliche Mortalität bzw. Morbidität war nicht zu verzeichnen. Angesichts dieser eindeutigen Zahlen können mit gutem Gewissen die naturwissenschaftlichen Argumente jener, die Methode und Aussagekraft in Frage stellen, widerlegt

werden. Bleiben also noch die moralischen Einwände, die vielleicht in dem einen Argument zusammengefaßt werden können, daß es wider die Natur ist, einen – auch mißgebildeten – Artgenossen zu töten. Auch darauf gibt es als Antwort eindrucksvolle Zahlen: Unter 100 Millionen Japanern erfolgen pro Jahr 5 Millionen Konzeptionen, davon gehen 2 Millionen bereits innerhalb der ersten 4 Wochen zugrunde. Vom zweiten bis zum vierten Lunarmonat enden weitere 1,6 Millionen als Abortus.

Wird das Abortusmaterial zytogenetisch untersucht, so finden sich in 80% der abortierten Feten Mißbildungen: Die Natur hat sich selbst ein Korrektiv gegeben, das die Entwicklung und Geburt mißgebildeter Kinder verhindern soll. In den Fällen, in denen dieses Korrektiv durchbrochen wird, kommt es zur Geburt eines geschädigten Kindes.

(Presse v. 8. 8. 1982)

Zu den **Zeugen eines urzeitlichen Lebens** gehören neben Mikrofossilien und Stromatolithen auch indirekte Lebensspuren, d. s. bestimmte chem. Verbindungen und Isotopenverhältnisse, wie sie typischerweise bei belebter Materie vorkommen. Mikrofossilien sind die Reste ehemals lebender Zellen – meist nur Zellwände. Sie lassen sich aus dem Sedimentgestein isolieren, wenn man die kieseligen, karbonatischen oder sulfidischen Minerale auflöst. Übrig bleibt dann ein kohligler Rückstand, der die Mikrofossilien enthält. Stromatolithen (stroma = Bettdecke) sind mehr minder horizontale Schichtfolgen schwach gefalteter Kalke und Tonschiefer. Man lernte solche Objekte bei einigen präkambrischen Sedimenten, z. B. bei denen von Issua (Grönland, Alter etwa 3,8 Md. J., von Swaziland (Südafrika), Alter zirka 3,5 Md. J. Ob diese Objekte tatsächlich biologischen Ursprungs sind, wird von manchen Forschern bestritten. Mikrofossilien können nämlich Temperaturen über 250 °C kaum überstehen, weil Kohlenstoff dabei in Graphit übergeht. Die Issua-Gesteine wurden aber noch höher erhitzt. Anders liegen aber die Verhältnisse bei der Schichtfolge von North-Pole in Nordwestaustralien, die erst im Jahre 1976 entdeckt wurde, in einer praktisch noch sauerstofffreien Umwelt abgelagert wurde und ein Alter von etwa 3,5 Mden J. hat. Diese Sedimente sind von vulkanischen Ablagerungen eingeschlossen; sie wurden nur wenig metamorphisiert und lieferten bis jetzt bakterienartige Strukturen, kohlige Kügelchen mit einem Durchmesser von 1 bis 12 Tausendstel Millimeter, die z. T. paarweise oder kettenförmig, auch tetraederförmig angeordnet sind.

(Bild der Wissenschaft '82)

Große Talsperren sollen, nach einer ernstzunehmenden Theorie, Erdbeben auslösen können. Die Menge des aufgestauten Wassers übt natürlich einen starken Druck auf den Untergrund aus. Das ebendort eindringende Wasser setzt die Reibung zwischen den Gesteinsschichten herab. Dadurch werden begreiflicherweise Verschiebungen im Gestein mit nachfolgenden Beben ermöglicht. Daneben wirken sich wahrscheinlich auch thermische und physikalische Veränderungen im Gestein aus.

(Umschau, Wissenschaftsmagazin 5/82)

Ohrwürmer werden von Schweizer Gärtnern als Blattlausvertilger geschätzt. Man stellt den Tieren kleine „Schlafsäcke“ in Holzwohle für den Tagschlaf zur Verfügung.

Die „Maschine“ Muskel arbeitet mit dem thermodynamisch höchstmöglichen Wirkungsgrad von etwa 42%, der Verbrennungsmotor dagegen mit einem solchen von 20%.

Die Natur demonstriert uns die sanfteste Technologie, die es überhaupt gibt. Wir müssen von ihr lernen, ihr neue Verfahren abgucken und dürfen mit der schweren, energieverbrauchenden Industrie nicht mehr so weitermachen. Biotechnologische Verfahren müssen immer stärker in unsere Produktionstechnik hereingezogen werden. Wir müssen uns klar darüber werden, daß sich die Wachstumsspirale nicht unbegrenzt weiterdrehen kann. Und gerade die Führer des Volkes müssen in ihrem Begehren mit gutem Beispiel vorangehen. Je größer die Einsicht, umso größer ist die Verantwortung!

Unsere Zeit ist gekennzeichnet vom Homo sapiens, der oft schon den Boden in unserer manchmal bereits zu sehr technisierten Welt zittern fühlt; es bedarf eines Haltes!

(Naturwiss. Rundschau 2/82)

Leukotriene und Allergie

Leukotriene sind Metaboliten der Arachidonsäure einer vierfach ungesättigten C_{20} -Fettsäure. Diese Fettsäure hat in den letzten etwa 15 Jahren nicht nur für Fragen der Ernährung, sondern darüber hinaus weltweit Interesse gefunden, da man eine ganze Reihe hochwirksamer Metaboliten aufgespürt hat, wie z. B. auch die Prostaglandine.

Arachidonsäure ist 5Z,8Z,11Z,14Z-Eicosatetraensäure. Sie wird im Organismus aus Linol- und Linolensäure gebildet, die beide zu den essentiellen Fettsäuren gezählt werden. Es ist schon sehr lange bekannt, daß die Nahrung eine gewisse Menge an ungesättigten Fettsäuren enthalten muß, damit eine normale Funktion des Organismus aufrechtgehalten wird. So ist Arachidonsäure ein Acylbestandteil der Phospholipide aller tierischen Zellen. Daß jedoch ihre Oxidationsprodukte eine ganze Palette biologisch hochwirksamer Substanzen darstellen, ist erst seit wenigen Jahren bekannt geworden.

Bereits 1935 wurde in der Samenflüssigkeit ein Stoff gefunden, der glatte Muskulatur zur Kontraktion bringt. Deshalb wurde diese Substanz Prostaglandin genannt. Bald war jedoch erkennbar, daß es eine Vielzahl natürlicher Prostaglandine gibt und es konnten auch synthetisch Analoga hergestellt werden. Diese Prostaglandine entstehen aus Arachidonsäure und ihr nahe verwandter Fettsäuren durch enzymatische Oxidation und gleichzeitigen Ringschluß mittels einer Cyclooxygenase. Die Wirkung dieser Cyclooxygenase kann durch Acetylsalicylsäure („Aspirin“) gehemmt werden, und man vermutet, daß die entzündungshemmende Eigenschaft von Aspirin auf die Unterbindung der Bildung bestimmter Prostaglandine beruht.

Nach der Erforschung der Prostaglandine wurden weitere Oxidationsprodukte der Arachidonsäure entdeckt. Da waren zunächst die Thromboxane, die zu einer starken Zusammenballung der Blutplättchen führen und damit für die Blutgerinnung notwendig sind. Aber ein anderer Metabolit der Arachidonsäure, das Prostacyclin, wirkt dem Thromboxan entgegen, weshalb ein wohl ausgeglichenes Gleichgewicht zwischen diesen beiden Stoffgruppen, den Thromboxanen und dem Prostacyclin, herrschen muß. Da sie ebenfalls durch oxidative Cyclisierung entstehen, ist die Blutgerinnung ebenfalls durch Aspirin beeinflussbar. Somit sind zwei Wirkungen der Arachidonsäuremetaboliten bereits recht gut erforscht: die Kontraktionen bewirkenden Prostaglandine und die auf die Blutgerinnung wirkenden Thromboxane und Prostacycline.

Es gibt jedoch Kontraktionsvorgänge und auch Entzündungserscheinungen, die nicht auf Aspirin und ähnliche Verbindungen ansprechen, sondern nur durch Steroidhormone (Cortison) beeinflusst werden können. Zu diesen Krankheitszuständen gehört z. B. Asthma. Hier sind wahrscheinlich die zuletzt entdeckten Metaboliten der Arachidonsäure, die Leukotriene, ausschlaggebend (Schema 1). Sie werden auf einem

ganz anderen enzymatischen Weg aus Arachidonsäure hergestellt. Sie werden in Leukocyten gebildet und sind dreifach ungesättigt, daher wurden diese Verbindungen Leukotriene genannt. Sie wirken sehr ähnlich wie Histamin, also sowohl kontrahierend auf Blutgefäße als auch durch Erhöhung der Durchlässigkeit für Blutplasma. Deshalb erzeugt Histamin Ödeme (z. B. Hautquaddeln bei allergischem Ausschlag). Nun können die Leukotriene auch weiße Blutkörperchen anziehen, die dann an der Gefäßwand der Blutkapillaren haften. Dies macht die Leukotriene zu chemischen Vermittlern zwischen Allergien und Entzündungsvorgängen.

Die Erforschung dieser Metaboliten, ihrer Wirkungsweise und die Aufklärung ihrer Biosynthese brachte den damit befaßten Forschern den Nobelpreis 1982 für Medizin und Physiologie: Sune Bergström und Bengt Samuelsson (Schweden), John Vane (Großbritannien).

Arachidonsäure und alle ihre biologisch so wirksamen Metaboliten werden heute unter dem Namen Eicosanoide zusammengefaßt. Für Leukotriene sind drei konjugierte Doppelbindungen und eine Thioetherbindung (z. B. mit Cystein) typisch.

Zuerst wurden aus Blutserum Substanzgemische isoliert, die ursprünglich als „slow-reacting substance of anaphylaxis“ (SRS-A) bezeichnet wurden. Dieses Stoffgemisch zeigt eine stark Bronchien-verengende Wirkung (Konstriktor) und ist bei allergischen Überempfindlichkeitsreaktionen beteiligt. Es scheint eine Vermittlerrolle (Mediator) zu spielen, wenn Entzündungserscheinungen auftreten.

Heute weiß man bereits sicher, daß Aspirin und andere entzündungshemmende Mittel die Bildung der Prostaglandine aus Arachidonsäure behindert. Anders wirken entzündungshemmende Steroide: sie unterdrücken die Freisetzung der Arachidonsäure durch Hydrolyse aus den Phospholipiden der Zellmembranen. Dies führt zur Annahme, daß es entzündungsauslösende Stoffe geben sollte, die man z. B. aus Leukocytenmembranen gewinnen könnte. Diese Arbeitshypothese führte dann auch zur Entdeckung der Leukotriene durch B. Samuelsson.

So wurden zunächst aus unreifen Leukocyten (polymorphonucleare Leukocyten), die aus Kaninchen gewonnen wurden, eine Reihe von oxidierten Derivaten der Arachidonsäure erhalten: eine Dihydroxyeicosatetraensäure, als Hauptprodukt zwei Dihydroxyderivate, von denen eines später als Leukotrien B_4 bezeichnet wurde, sowie einige Epimere zu diesen Verbindungen. Die Dihydroxyderivate (Abb. 1) unterscheiden sich vor allem durch die an den Doppelbindungen möglichen unterschiedlichen geometrischen Konfigurationen. Somit wurde die

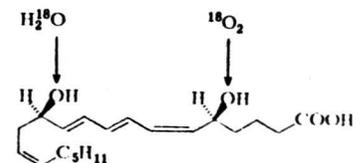
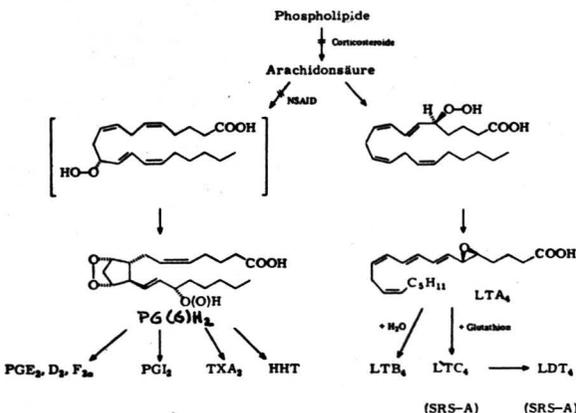


Abb. 1: Dihydroxyeicosatetraensäure



Schema 1: Arachidonsäure als Ausgangsstoff für Prostaglandine (PG), Thromboxane (TX) und Prostacycline (PGI) als Folgeprodukte einer oxidativen Cyclisierung sowie als Ausgangsstoff über eine Epoxidierung für die Bildung der Leukotriene (LT)

Frage aufgeworfen, wie im Organismus diese geometrischen Isomeren wohl gebildet werden, welche Reaktionsmechanismen hier vorliegen. Zunächst konnte gezeigt werden, daß bei der biologischen Oxidation das an C-5 der Arachidonsäure gebundene O-Atom aus der Luft stammt, während das O-Atom der Hydroxygruppe an C-12 aus dem Wasser kommt. Diese Ergebnisse wurden durch Isotopenmarkierung mit $^{18}O_2$ bzw. $H_2^{18}O$ erhalten. Auf Grund dieses Ergebnisses wurde angenommen, daß ein instabiles Zwischenprodukt in den Leukocyten gebildet wird, das durch einen nukleophilen Angriff von Wasser, Alkohol und anderen Nucleophilen in das Hydroxyderivat überführt wird. Deshalb wurden Kaninchen-Leukocyten zunächst mit Arachidonat inkubiert, anschließend mit Methanol oder Ethanol oder auch nur 1-molarer Salzsäure versetzt, und die entstehenden Produkte mit Reversed-Phase-HPLC (Hochdruckflüssigkeitschromatographie) analysiert. Die aufgetrennten Bestandteile wurden in ihrer Konstitution und Konfiguration durch UV-, IR- und Gaschromatographie-Massenspektrosko-

aber äußerst schwierig, solche Dauerüberwachungen zu verallgemeinern, da die Wechselwirkungen zwischen Schadstoff und Umwelt nicht genügend bekannt sind. Es ist daher anzustreben, Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung innerhalb bestimmter Ökosysteme besser verstehen zu lernen. Dazu sind aber Konzepte notwendig, die verallgemeinerbare Aussagen zulassen. Dazu gehören die systematische Bewertung der natürlichen und anthropogenen Emissionsquellen, die Identifikation der wesentlichen Transportsysteme und Transportwege ebenso wie die quantitative Beschreibung der Prozesse und Wechselwirkungen der chemischen Substanzen, die als echte und potentielle Schadstoffe in die Umwelt gelangen.

Um das ökologische und hygienische Schadpotential abzuschätzen, sollten zwei Aspekte im Vordergrund stehen: 1. Die Bewertung der Auswirkungen einer chemischen Substanz auf die Umwelt, speziell auf Ökosystem und menschliche Gesundheit; 2. die Klärung der Einwirkung der Umwelt auf den Schadstoff. Gerade dieser zweite Aspekt wurde bis vor kurzer Zeit stark vernachlässigt, obwohl er gerade für eine prognostische Bewertung von grundlegender Bedeutung ist.

Am Beispiel der besonders gut untersuchten Wasserbelastung durch Schadstoffe sollen diese Zusammenhänge aufgezeigt werden (Abb. 1). Ausgehend vom Einbringen aller möglichen Schadstoffe in das aquatische Ökosystem kann schrittweise ihr weiteres Schicksal verfolgt werden. Da sind einmal

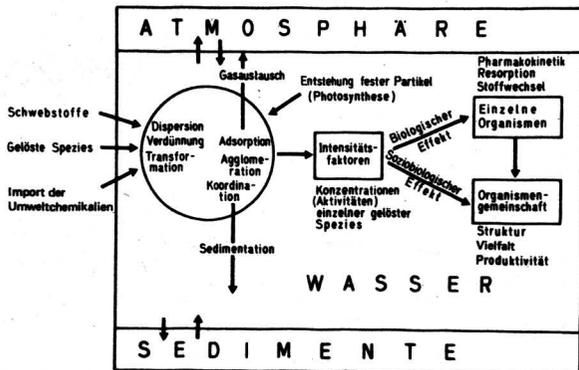


Abb. 1: Funktionelle Zusammenhänge in einem aquatischen Ökosystem. Eine in das System importierte Substanz wird verdünnt und dispergiert; sie kann aus dem Wasser entfernt werden durch Adsorption an absetzbare suspendierte Stoffe oder durch Verflüchtigung in die Atmosphäre; sie kann auch chemisch oder biologisch umgewandelt oder abgebaut werden. Die Restkonzentrationen (Aktivitäten) der verschiedenen chemischen Bestandteile charakterisieren den chemischen Gewässerzustand und beeinflussen die biologischen und soziobiologischen Effekte an Organismen bzw. Organismengemeinschaften.

die verschiedenen Transport- und Umwandlungsprozesse der Substanz zu nennen, bis hin zur potentiellen ökologischen Auswirkung. Der Transfer des Schadstoffes in die verschiedenen Reservoire, wie Atmosphäre, Wasser, Lebewesen, Sedimente und Boden, und auch ihre Verteilung darin sowie die verbleibenden Restkonzentrationen sind abhängig von den physikalischen, chemischen und biologischen, substanz-spezifischen Eigenschaften einer Verbindung: dem Dampfdruck, der Löslichkeit, den vorliegenden funktionellen Gruppen, dem Henry-Verteilungskoeffizienten, ihrer Lipophilie, Adsorbierbarkeit und chemischen bzw. biologischen Abbaubarkeit. Aber auch die Umwelt bestimmt das Schicksal eines Schadstoffes, wie z. B. die Fließgeschwindigkeit eines Gewässers, die Eigenschaften der verschiedenen Grenzflächen, der Gehalt an Schwebstoffen im Wasser, das Ausmaß an Sedimentation, die Photosynthese und die Nahrungskreisläufe, die vorliegenden Redox-Verhältnisse, ganz abgesehen vom Gehalt an anderen Substanzen.

Der Stoffimport, d. h. die Belastung, wird als Fracht gemessen: der Kapazitätsfaktor = Masse/Zeit oder Masse/Zeit-Wasserfläche oder Volumen. Die schließlich verbleibende Konzentration ist eine Folge von Verdünnung, Dispersion und Stoffumwandlungen (z. B. in Selbstreinigungsprozessen). Der Gewässerzustand wird durch das Zusammenwirken von physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren bestimmt, die den gegebenen aquatischen Lebensraum charakterisieren.

Diese Faktoren sind alle Intensitätsfaktoren: Aktivität der chemischen Bestandteile, Redox-Potential, Gradient der Fließgeschwindigkeit, Temperatur, Produktivität usw. Diese intensiven Größen, besonders die Konzentrationen, beeinflussen die Exposition (= Konzentration x Zeit), der ein Organismus ausgesetzt ist, genauso wie das Ökosystem und daher die Art der Lebensgemeinschaft.

Zur Beurteilung der Exposition und zur Bewertung des ökologischen und hygienischen Risikos ist die Kenntnis der Restkonzentrationen des potentiellen Schadstoffes notwendig. Damit unterscheidet sich die Ökotoxikologie von der klassischen Toxikologie, denn die Ökotoxikologie hat die Aufgabe, die effektiv wirksamen Konzentrationen in der Umwelt zu bestimmen.

So versucht die Ökotoxikologie an repräsentativen Umweltproblemen durch chemische Analysen die Konzentration der beteiligten Schadstoffe zu bestimmen oder auch die voraussichtlich resultierenden Konzentrationen abzuschätzen, wobei alle oben genannten Einflüsse zu berücksichtigen wären. Zum Verständnis der biologischen Folgen nach Einwirkung des Schadstoffes sind noch zusätzliche Kenntnisse über die Mechanismen der Schädigung, wie der Pharmakokinetik: der Aufnahme des Stoffes, seiner Umwandlung, seinem Abbau und seiner Ausscheidung, seiner Störung von Regelmechanismen in einer biologischen Gemeinschaft notwendig. Gerade hier fehlen viele der genannten Voraussetzungen.

Die Beurteilung der Toxizität eines Stoffes kann in zweierlei Hinsicht erfolgen und deshalb muß unterschieden werden zwischen

- Substanzen, die direkt Mensch und Tier gefährden, d. h. deren Gesundheit beeinträchtigen oder einzelne Wasserorganismen vergiften. Hier spricht man von akuter, subakuter oder chronischer Toxizität, je nachdem, in welchem Zeitraum die Schädigung erfolgt.
- Substanzen, die primär die Organisation und Struktur des aquatischen Ökosystems beeinflussen. Bei dieser Einwirkung können Umweltchemikalien die Selbstregulation des Systems empfindlich stören, selbst wenn keine akut schädigenden Wirkungen an Einzelorganismen nachgewiesen werden können.

Gerade diese zweite Art von Schadstoffen hat soziobiologische Effekte zur Folge. Ein Organismus kann auf sehr viel verschiedene Arten umkommen, aber es gibt nur wenige Bedingungen, unter denen er optimal leben kann und sich auch selbst reproduzieren kann. Beispielsweise kann in einem Ökosystem eine Population, die weniger effektiv als eine Konkurrenzpopulation ist, durch einen Schadstoff, sei er auch nur in winzigen Mengen vorhanden, ausgemerzt werden. Häufig bewirken kontaminierende Substanzen soziobiologische Veränderungen, indem sie selbst bei äußerst geringen Konzentrationen chemitaktische Signale darstellen oder auch solche Signale von Organismen unterdrücken.

So kann z. B. eine Fischpopulation aus vielerlei Gründen gefährdet werden: direkte akute oder chronische Toxizität, Beeinträchtigung der Reproduktionsfähigkeit, schädigende Einwirkung auf das Futter (z. B. Veränderung des Zooplanktons), Störung chemitaktischer Signale, die das Auffinden von Nahrung oder Laichplätzen verhindert.

In einem „gesunden“ Gewässer sind die Lebensbedingungen so, daß es sehr viele Mikrohabitats (ökologische Nischen) gibt und damit auch der Artenreichtum gewährleistet ist. Allerdings ist die Populationsdichte gering, da infolge des Überlebenswettbewerbes die Zahl einer Art beschränkt wird.

In einem „belasteten“ Gewässer werden die vielen Mikrohabitats durch Schadstoffe vernichtet. Damit wird die Überlebenschance einer Teils der Arten entscheidend verkleinert. Die gegenüber dem Schadstoff toleranten Arten breiten sich aus. Daher ist so ein Gewässer durch Artenarmut gekennzeichnet, wobei von den wenigen Arten jedoch hohe Populationsdichten erreicht werden können.

Die Anforderungen an die Umweltanalytik sind aus den vorher aufgezeigten Aspekten sehr hoch. Die Verknüpfung der Umweltanalytik mit der in Entwicklung befindlichen Ökotoxikologie soll Abb. 2 veranschaulichen. Die Erforschung und analytische Erfassung komplexer Systeme ist erst im Anfangsstadium.

Erste Voraussetzung ist, daß die Umweltanalytik Verfahren entwickelt, die selektiv und sehr empfindlich einzelne Stoffe erfaßt. Diese Selektivität ist z. B. dort erforderlich, wo es um die Frage geht, welche Substanz aus einer nahe verwandten Stoffgruppe wirklich ein Risiko darstellt. Dieses Risiko ist streng strukturspezifisch an einen bestimmten Stoff gebunden. So können Isomere organischer Verbindungen sich hinsichtlich ihrer Toxizität, chemischen Reaktionsfähigkeit und ihren Adsorp-

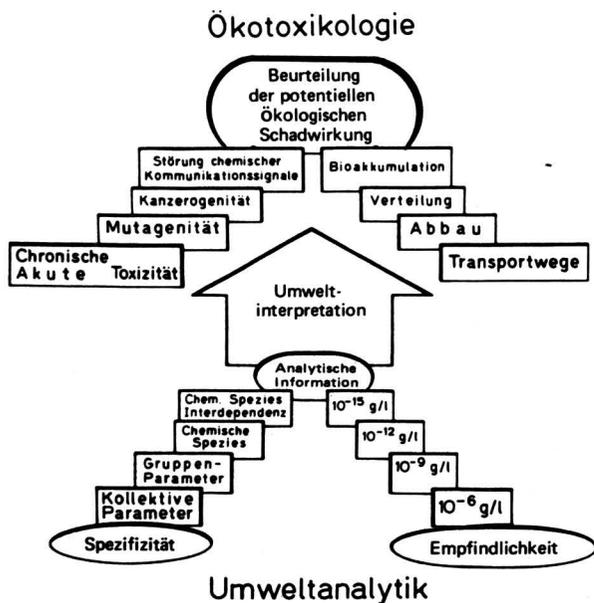


Abb. 2: Um das Verhalten und die Auswirkungen von chemischen Verbindungen in der Umwelt beurteilen zu können, ist es notwendig, komplexe Systeme analytisch zu erfassen. Dies bedingt, daß man Einzelverbindungen in einer Vielfalt von Stoffen selektiv und genügend empfindlich bestimmen kann.

tionsverhalten um Größenordnungen unterscheiden (Abb. 3). Aber auch bei anorganischen Verbindungen findet man erhebliche Unterschiede, je nach Bindungsart eines bestimmten Be-

akute Toxizität		
Beispiel: Tetrachlordibenzo [1,4]dioxine (TCDD)		
LD ₅₀ (Ratte): >1g/kg	> 0.1g/kg	0.00004 g/kg
Chemische Reaktivität (Hydrolyse)		
Beispiel: Butylchloride		
<chem>CH3CH2CH2CH2Cl</chem>	<chem>CH3CH2CH(Cl)CH3</chem>	<chem>CH3C(Cl)(CH3)2</chem>
t _{1/2} (pH 7): ≈1 Jahr	≈40 Tage	≈30 Sekunden
(Adsorption)		
Beispiel: Tetrachlorphenole		
pK _s : 5.04	5.40	6.35
K _p ² (s) (pH 6.8): 10	20	180

Abb. 3: Die chemische Reaktivität und die biologische Wirkung einer Substanz sind streng strukturspezifisch. Ähnliche, z. B. isomere Verbindungen können sich signifikant in ihrer Toxizität, Reaktivität (Hydrolyse) und ihrem Adsorptionsverhalten unterscheiden. LD₅₀ ist die Dosis eines Schadstoffes, der den Tod der Hälfte einer Organismenpopulation bewirkt; t_{1/2} ist die Halbwertszeit; K_{p(s)} ist der Verteilungskoeffizient (m³ 10⁻³ kg⁻¹) zwischen einer festen Phase (Sedimentpartikel, die in diesem Fall 2,9% organischen Kohlenstoff enthalten) und der wäßrigen Lösung.

standteiles. So ist z. B. CoCO_{3(aq)} ganz anders wirksam als freie, hydratisierte Cu²⁺-Ionen. Einige Beispiele gibt Abb. 4.

Freie Metallionen	Anorganische Komplexe und Methylmetallverbindungen	Organische Komplexe, Chelate	Metallspezies adsorbiert an hochmolekulares org. Material	Metallspezies in Form von hoch dispergierten Kolloiden	Metallspezies adsorbiert an Kolloide	Niederschläge, partikuläres org. Material, Detritus
Beispiele: Cu ²⁺ Fe ²⁺ Pb ²⁺	[Cu ₂ (OH) ₂] ²⁺ [Pb(CO ₃) ₂] ²⁻ AgSH [CdCl] ⁺ [Zn(OH) ₂] ⁻ [Ag ₂ S] ²⁻ [CH ₃ Hg] ⁺ (CH ₃) ₄ Pb	MSR MOOCR 	M-Lipide Huminsäurepolymere Lacke Gelbstoffe M-Poly-saccharide	FeOOH Mn(IV)-Oxide Ag ₂ S	M ⁿ⁺ , MCO ₃ , MS usw. auf Tonmineralien, FeOOH oder auf Mn(IV)-Oxiden oder an biolog. Zellen	
Durchmesserbereich: 10nm — 100nm — 1µm						
← filtrierbar →						
← membranfiltrierbar →						
← dialysierbar →						
← in wahrer Lösung →						

Abb. 4: Die Kenntnis der Erscheinungsform der Metalle (freies Metallion, anorganischer oder organischer Komplex) ist für die Beurteilung der biologischen und chemischen Wirkung wichtig. Die Unterscheidung zwischen dem Vorliegen in gelöster und ungelöster Form ist oft schwierig, da Kolloide von Membranfiltern nicht immer zurückgehalten werden. Gelbstoffe sind gelbe Huminstoffe.

Auf dem Gebiet der Empfindlichkeit hat die Analytik in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Heute sind Nachweisgrenzen für einzelne Stoffe bereits im Bereich von etwa 10⁻¹¹ Mol erreicht. Eine wichtige Voraussetzung für brauchbare und aussagekräftige Analysen ist aber auch die Art der Probenahme. Wegen der oft äußerst geringen Konzentrationen der gesuchten Schadstoffe sind die Probleme des Schutzes vor nachfolgender Kontamination oder auch von Verlusten vielfältig. So konnte gezeigt werden, daß bei Untersuchungen von Meerwasser in den Jahren vor 1975 die Pb-Konzentrationen meist um Größenordnungen zu hoch waren, da die Probenahme ungeeignet war und nachträgliche Kontamination nicht erkannt und auch nicht verhindert wurde.

Es muß bewußt werden, daß noch so große, kostspielige und zeitraubende Daueruntersuchungen doch gewisse Grenzen haben: 1. die begrenzten Möglichkeiten einer genauen Analyse; 2. wegen der unüberschaubaren Vielfalt der Ursache-Wirkungs-Beziehungen sich auf das „analytische Fenster“ zu beschränken mit der vereinfachenden Frage: „Was ist vorhanden?“ Die Absicht solcher Untersuchungen liegt im Auffinden analytischer Grundwerte mit der Hoffnung, später gewisse Veränderungen aufzufinden. Daher ist es notwendig, die gefundenen Daten sorgfältig zu interpretieren und im Hinblick auf funktionelle Zusammenhänge auszuwerten. Sehr sorgfältigen Felduntersuchungen sollten dann auch ergänzende Laboratoriumsuntersuchungen angeschlossen werden, die vor allem sich mit dem chemodynamischen Verhalten der ausgewählten Substanzen befassen, um später Vergleiche mit dem „Verhaltensprofil“ dieser Substanzen in der Umwelt zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere für die voraussagbaren Konzentrationsänderungen eines Schadstoffes.

Toxizitätstests sind heute vor allem zur Aufdeckung der akuten Giftwirkung bestimmt, viel seltener der chronischen Giftwirkung. Aber gerade letztere ist für die ökologischen Einflüsse besonders wichtig. Allerdings hat man es hier mit einem besonders komplexen Forschungsgebiet zu tun, da ja sowohl Kurz- als auch Langzeittests nicht so ohne weiteres von einem Organismus auf den anderen übertragbar sind, ja sogar innerhalb einer Art immer eine gewisse Breite des Wirkungsspektrums gefunden wird. Und dann kommt noch die zumeist ganz unbekannte synergistische oder auch antagonistische Wechselwirkung mit weiteren Substanzen hinzu.

Um dieser Komplexität des ganzen Problems gerecht zu werden, scheint es notwendig zu sein, Modelle zu entwickeln, die das Verhalten von Umweltchemikalien beschreiben können (Abb. 5). Die Vorgangsweise könnte dabei in drei Abschnitten erfolgen:

1. Auswertung der substanzspezifischen Parameter und Berücksichtigung der chemischen Struktur sollte zu einer Abschätzung der Verteilung der Substanz in den verschiedenen Reservoiren führen und auch ihre Verweilzeit und damit ihre voraussichtliche Konzentration prognostizieren. Daraus kann zumindest ein halbquantitativer Anhaltspunkt für mögliche ökologische Folgen erhalten werden.

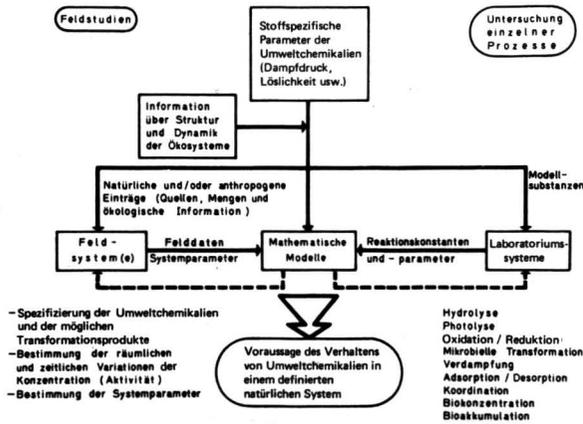


Abb. 5: Die ökotoxikologische und hygienische Beurteilung von Umweltchemikalien setzt die Kenntnis ihres Verhaltensprofils in der Umwelt voraus. Mit einfachen kausalen Modellen kann in vielen Fällen die Größenordnung der in einem Ökosystem zu erwartenden Konzentration abgeschätzt werden.

2. Im Laboratorium können bestimmte Prozesse mit Modellsystemen unter solchen Bedingungen untersucht werden, bei denen die Variablen kontrolliert und konstant gehalten werden. Die dabei erhaltenen Daten führen zu Aussagen über Reaktionskonstanten und andere spezifische Parameter.

3. Felduntersuchungen liefern die systembedingten Parameter und die tatsächlich erfolgte räumliche und zeitliche Verteilung der Schadstoffe. Die Resultate dieser drei Untersuchungstypen ergänzen einander und gestatten Bewertungsmodelle aufzustellen. Dabei können empirische Modelle dazu dienen, die Felddaten zu verallgemeinern und vielleicht noch bessere Überwachungsprogramme zu entwickeln. Allerdings haben diese empirischen Modelle den Nachteil, daß sie auf andere Ökosysteme nicht übertragbar sind und nur selten in die Zukunft extrapolierbar sind.

Kausale Modelle basieren auf den Grundsätzen der Physik, Chemie und Biologie. Sie geben zwar die Daten eines bestimmten Systems weniger genau wieder als empirische Modelle, haben aber den Vorteil, daß durch sie die Ursache-Wirkungs-Beziehungen deutlicher werden. Daher sind ihre Aussagen auf andere Ökosysteme übertragbar, und auch Aussagen für eine zukünftige Veränderung erscheinen möglich.

Parameter	Bedeutung
Transportwege Massenfluxe Produktionsstatistik Massenbilanz Transport Mischungsverhältnisse	Immission in die Umwelt Schicksal (physikalische Vorgänge)
Verteilung Luft-Wasser Oberfläche-Wasser Sediment-Wasser Biota-Wasser Adsorptionsisothermen Löslichkeit Dampfdruck Henry-Konstante Lipophilie n-Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizient Stoffübergangskoeffizient	Grenzflächentransport Sedimentation Bioakkumulation Bioakkumulation Nahrungskette Biolog. Retention Immission in und aus Atmosphäre Trockendeposition Eliminierung durch Niederschläge Verdampfung Kondensation
Molekulare Transformationen mikrobiell oxidativ hydrolytisch photolytisch Biologische Abbaubarkeit Gleichgewichtskonstanten Geschwindigkeitskonstanten Lichtabsorption	Kinetik Aufenthaltszeit Halbwertszeit Erscheinungsformen Struktur-Reaktivitäts-Korrelationen Abbau durch Photoreaktionen

Tabelle 1. Wichtige Informationen zur Beurteilung des Schicksals und der Aufenthaltszeit von Umweltchemikalien.

Die Tabelle 1 und die Abb. 6 geben eine Übersicht über wichtige Prozesse, welche bei einer Bewertung einer Umweltchemikalie zu berücksichtigen sind. Einige Prozesse sollen hier kurz vorgestellt werden:

a) Adsorption: Suspensierte Partikel sind wichtige Adsorbentien für Schadstoffe, die dabei aus dem Wasser entfernt werden. Solche Partikel können Schwebstoff sein, Algen oder Zersetzungsprodukte der Biomasse. So werden durch sie polychlorierte Kohlenwasserstoffe und auch polare Substanzen (z. B. Ligninsulfonsäuren aus der Papierherstellung) und auch Schwermetallverbindungen aus dem Wasser entfernt. Die Ver-

teilung des Schadstoffes kann durch Aufstellen von Gleichgewichtskonstanten quantitativ erfaßt werden.

b) Austausch mit der Atmosphäre: Der Transfer einer flüchtigen Verbindung kann im Labor untersucht und das Verteilungsgleichgewicht durch einen Henry-Koeffizienten wiedergegeben werden. Daraus folgt, daß auch wenig flüchtige Verbindungen, wie z. B. DDT, doch auch an die Atmosphäre abgegeben werden.

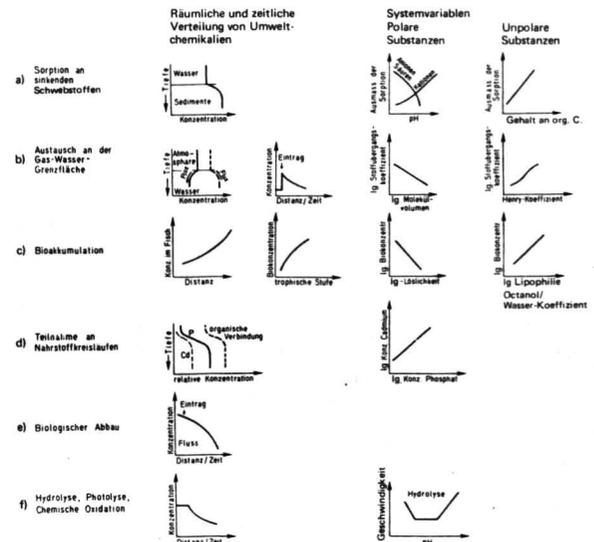


Abb. 6: Beispiele, wie die räumliche und zeitliche Verteilung von Umweltchemikalien von substanz- und systemspezifischen Variablen abhängen: a) Die Adsorption polarer Verbindungen zeigt verschiedene pH-Abhängigkeiten, je nachdem, ob das Adsorbat ein Anion, eine Säure oder ein Kation ist. Bei unpolaren, lipophilen Verbindungen ist das Ausmaß der Adsorption vom C-Gehalt der adsorbierenden Partikel abhängig. b) Der Konzentrationsgradient an der Grenzfläche Wasser/Atmosphäre gibt an, in welche Richtung der Austausch flüchtiger Moleküle erfolgt. Der spezifische Transferkoeffizient ist abhängig vom Henry-Koeffizienten und vom molaren Volumen der Substanz sowie von Systemparametern wie Turbulenz usw. c) Die Akkumulierung einer Substanz in der Nahrungskette ist proportional zur Lipophilie und ist umgekehrt proportional zur Löslichkeit dieser Substanz. d) Die Nährstoffe einschließlich einiger Schwermetalle werden bei der Photosynthese der biogenen Partikel in der der Biomasse entsprechenden Proportion, z. B. in den Ozeanen aus den oberen Wasserschichten, entzogen und bei der respiratorischen Auflösung in den unteren Schichten an das Wasser zurückgegeben. e) Der biologische Abbau ist autokatalytisch und hängt von der Konzentration der mikrobiellen Biomasse ab. f) Die chemischen und photochemischen Abbauprozesse werden von Lösungsvariablen, insbesondere pH, Lichtextinktion und Konzentration an Singulett-Sauerstoff beeinflusst.

c) bis e): Die biologischen Prozesse im Gewässer können einerseits zu einer Akkumulation in einem Organismus führen und so den Gehalt an einem Schadstoff im Wasser verringern, aber es kann damit auch zu einer Teilnahme an Nahrungskreisläufen kommen. Der wichtigste Prozeß zur Verringerung des Schadstoffgehaltes ist sicher der mikrobielle Abbau. Hier fehlen aber noch weitgehend Kenntnisse über Zusammenhänge zwischen Konstitution und biologischer Abbaubarkeit. Ein partieller Abbau kann sogar zum Auftreten neuer und sogar persistenter Verbindungen führen. Daher ist diesem Aspekt besonderes Augenmerk zu schenken.

f) Chemische Reaktionen: Hier sind Zusammenhänge zwischen Konstitution und möglichen Reaktionen besser bekannt. So kann z. B. die Hydrolysegeschwindigkeit von Phosphorsäureestern mit der Säurekonstante eines Restes korrelieren und ist zudem pH-abhängig.

Die hier vorgestellten Modelle und Verfahren zur Bewertung von Schadstoffen, die dabei entwickelten Ideen und Konzepte fassen immer mehr Fuß. Sowohl bei der OECD, bei der American Society of Testing Materials als auch bei der USA-Umweltschutz-Behörde werden sie zumindest diskutiert. Alte und neue Chemikalien werden auch in Zukunft die Grundlage unserer Lebensqualität bilden. Bei ihrer Verwendung und Weiterentwicklung müssen jedoch die ökologischen und damit auch ge-

sundheitlichen Randbedingungen erkannt und akzeptiert werden.

LITERATUR:

Von der Umweltanalytik zur Ökotoxikologie — ein Plädoyer für mehr Konzepte und weniger Routinemessungen. W. Stumm, R. Schwarzenbach, L. Sigg: *Angew. Chem.* 95 (1983), 345.

Kurznachrichten

Leben bei 250 °C wurde bisher nicht für möglich gehalten. Nunmehr haben Untersuchungen in der Tiefsee, wo heiße, mineralreiche Quellen aus dem Meeresgrund austreten, die sog. „black smokers“, eine Überraschung geboten. Proben, die bereits 1979 von diesen Wässern gesammelt wurden, enthielten Bakterien, die extremen Lebensbedingungen angepaßt sind. Diese Proben entstammen dem Ostpazifischen Rücken aus einer Tiefe von 2500 m. Die heißesten Wasserproben wiesen sogar Temperaturen von 350 °C auf. Bei Normaldruck lebten und vermehrten sich in Laborversuchen diese Bakterien bei 100 °C, aber sie waren reproduktiver bei 250 °C und hohen Drucken. Diese Befunde scheinen darauf hinzuweisen, daß Leben nicht an eine bestimmte Temperatur, sondern an das Vorhandensein von flüssigem Wasser gebunden ist. Daher wäre es durchaus denkbar, daß auf so unwirtlichen Planeten, wie der Venus, doch Leben existieren könnte. Cyril Ponnamperna von der University of Maryland stellt sogar die Hypothese auf, daß das Entstehen von Leben kein Prozeß ist, der vor 4 Milliarden Jahren stattfand und sich nicht mehr wiederholt, sondern daß unter solchen extremen Bedingungen, die sehr an die Verhältnisse auf der jungen Erde erinnern, auch heute noch Leben entstehen kann.

(Science News, 1983/373)

Eine Datenbank für 8 Millionen Chemiepatente ist die IDC, die Internationale Dokumentationsgesellschaft für Chemie in Frankfurt. Sie ist eine Gemeinschaftseinrichtung von elf großen Unternehmensgruppen der chemischen Industrie Deutschlands, Österreichs und Japans. Sie ist mit weiteren 180 Firmen verbunden. Für die Mitglieder werden weltweit Chemieteilschriften mit modernsten Methoden erschlossen. Vor allem werden folgende Schwerpunktgebiete der industriellen Chemie bearbeitet: Verfahrenstechnik, anorganische und organische Chemie, Polymerchemie. Von besonderer Bedeutung ist dabei auch die Partnerschaft mit Chemical Abstracts. Damit ist auch ein Zugriff auf rund 7 Millionen Chemiepublikationen und über 6 Millionen chemische Verbindungen möglich, die auf der Datenbank der American Chemical Society gespeichert sind.

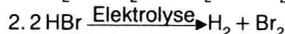
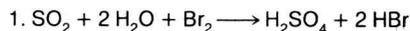
(Umschau 1983/11/334)

Keramische Werkstoffe erfreuen sich zunehmenden Interesses. Sie könnten auf vielen Gebieten die Metalle verdrängen. Ihr Vorteil liegt vor allem darin, daß heimische Rohstoffe verwendet werden können und ihre Aufarbeitung weit weniger Umweltprobleme bereitet als die Metallgewinnung aus Erzen. Zu den keramischen Werkstoffen gehören die Oxide, Karbide und Nitride. Bei den Oxiden werden vor allem Aluminiumoxid, neuerdings auch Aluminiumtitanat und Zirkonoxid eingesetzt. Für diese Substanzen lassen sich Einsatzmöglichkeiten im Automobilbau finden: Gehäuse für Elektronik, Gleitringe, Pumpenkolben, Armaturen, Verschleißplatten usw. Unter den Karbiden ist besonders Siliciumkarbid ein Werkstoff, der eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit besitzt. Daneben hat er ausgezeichnete Gleit- und Verschleiß-eigenschaften. Er eignet sich daher besonders gut für Brenner im Industrie- und Haushaltsbereich. Auch bei den Nitriden hat Silicium Bedeutung: Siliciumnitrid ist ein Werkstoff, der bei seiner Verfestigung nicht schwindet und hohe Formbeständigkeit besitzt. Wird reaktionsgesintertes Siliciumnitrid mit Yttriumoxid

gesintert, erhält man stark erhöhte Festigkeit und erhöhten Verschleißwiderstand. Noch günstiger ist ein Werkstoff, der aus fein pulverisiertem Siliciumnitrid und Yttriumoxid bei 2000 °C unter Stickstoff sintert. Er wird bereits von den Japanern für Zylinderlaufbüchsen, Zylinderkolben, Zylinderkopplatten und verschleißfeste Kleinteile für den „keramischen Motor“ hergestellt und erprobt.

(Umschau 1983/11/337)

Neuer Prozeß zur Rauchgasentschwefelung soll wesentliche Vorteile bieten. Die heute am meisten angewandten Verfahren zur Rauchgasentschwefelung sind Kaltwaschverfahren, wobei das Rauchgas mit einer wäßrigen Suspension oder Lösung von gelöschtem Kalk in Kontakt gebracht wird. Diese Verfahren produzieren eine sehr große Menge fester Abfälle, vor allem Gips, die schwer verkäuflich sind und meist zur Deponie gebracht werden. Der „Mark 13 A-Prozeß“, eine Entwicklung der EG-Forschungsstelle Ispra, ist ein neuartiges Verfahren, welches auf der Umsetzung von Brom, Wasser und SO₂ beruht und dabei Schwefelsäure und Bromwasserstoffsäure bildet. Die Bromwasserstoffsäure wird dann der Elektrolyse unterzogen, wobei das entstehende Brom in den Prozeß zurückgeführt wird. Der Wasserstoff wird abgetrennt und kann neben der Schwefelsäure als wertvolles Nebenprodukt verkauft werden. Dem Prozeß liegen folgende Reaktionen zugrunde:



Ein Teil des Säuregemisches wird im Gegenstrom des heißen Rauchgasen ausgesetzt, wobei Wasser und HBr verdampfen und eine Schwefelsäure mit etwa 85% anfällt. Es können bei diesem Verfahren Rauchgase mit einem Gehalt an SO₂ bis ca. 27 g/m³ gereinigt werden. Die SO₂-Konzentration im Abgas liegt unter 100 mg/m³.

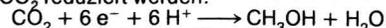
Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß

- das Reaktionsmittel des Prozesses (bei 400 MW elektr. Energie) ca. 11 t/h Schwefelsäure 85%ig liefert und zusätzlich noch 0,19 t/h Wasserstoffgas. Dies ist gegenüber einem üblichen Verfahren mit einer wesentlich geringeren Massenbewältigung verbunden, da sonst ca. 7 t/h Kalk und ca. 25 t/h Gips umgesetzt werden,
- die Waschlösung das Arbeiten in konzentriertem und gelöstem Zustand zuläßt und somit relativ kleine Apparaturvolumina und daher auch ein kleinerer Flächenbedarf für den Prozeß resultieren.

Diese Vorteile wirken sich ökonomisch so aus, daß die Festkosten hier wesentlich geringer als bei herkömmlichen Verfahren liegen, aber auch die Betriebskosten liegen günstiger.

(Umschau 1983, 19, 561)

Kohlendioxid als Rohstoff für flüssige Treibstoffe soll durch einen neuartigen Prozeß einsetzbar werden. Dabei kann an einer Galliumarsenid-Halbleiter-Elektrode in einer Natriumsulfatlösung CO₂ reduziert werden:



Als Kathode wird bei diesem Elektrolyseverfahren Platin verwendet. Die Ausbeute ist fast 100% bezogen auf den Elektronenfluß. Es ist auch denkbar, diese Elektrolysezelle mittels photovoltaischem Effekt zu betreiben und so Sonnenlicht direkt zur Erzeugung von Methanol zu nutzen. Allerdings sind noch einige technische Hürden zu nehmen. Da ist zunächst die Entdeckung, daß offenbar eine geringfügigere Verunreinigung des Natriumsulfats notwendig ist, damit CO₂ Methanol liefert. Also wirkt hier offenbar ein noch unbekannter Katalysator. Außerdem ist die Elektrolyse nur bei geringen Stromdichten erfolgreich, so daß die tatsächliche Methanolausbeute noch gering ist.

(Science News, 1983, 366)

EXPERIMENTALPHYSIK

Prof. Richard Lederer

Peter Machata

Azimutal- Äquatorialquadrant

Einleitung

Sicher ist jeder schon einmal vor dem Problem gestanden, ein lichtschwaches Objekt am Himmel zu finden. Besonders schwierig ist dies in Himmelsgegenden, in denen sich entweder keine oder nur sehr lichtschwache Sterne finden lassen,

mit denen sich kaum ein Objekt finden läßt. Mit diesem Heft stelle ich eine Möglichkeit vor: Es wird der Bau und die Funktion eines Azimutal-Äquatorialquadranten beschrieben, der auch für die Auffindung lichtschwacher Objekte gut geeignet ist.

Den Anstoß für die Entwicklung dieses Quadranten bekam ich in dem Buch „Astronomie selbst erlebt“ von Dr. Karl Lindner, der in diesem Buch den Bau eines Azimutalquadranten beschreibt.

Es ist selbstverständlich, daß dieser Quadrant nicht an die Genauigkeit einer teuren, exakt justierten parallaktischen Montierung heranreichen kann. Auf die Genauigkeit des Gerätes komme ich noch gesondert zurück. Dafür ist dieses Gerät eine optimale Ergänzung eines azimutal montierten Fernrohres oder eines Feldstechers.

Natürlich kann man das hier behandelte Gerät auch stabiler bauen und etwa mit einem kleinen oder mittleren Fernrohr versehen. Ein Feldstecher würde sich hierfür auch gut eignen. Da dieses Gerät zerlegbar konzipiert ist, liegt sein großer Vorteil in der Handlichkeit.

Obwohl ich mich bemühe übersichtlich vorzugehen und an Hand von Beispielen alles zu erklären, bin ich gerne bereit, vielleicht anfallende Fragen zu beantworten.

1. Bauanleitung zu einem Azimutal-Äquatorialquadranten

Anfangs möchte ich etwas auf das Material eingehen. Die Hauptteile des Quadranten sind aus einer Preßspanplatte gemacht. Am besten ist es, wenn man eine Preßspanplatte verwendet, die auf beiden Seiten glatt ist, also aus zwei zusammengeleimten Platten besteht. Das hat den Vorteil einer besseren Stabilität. Man bekommt solche Platten in jedem besseren Bastler- oder Holzgeschäft. Mit dem Format 560 x 320 mm kommt man für die mit diesem Holz gearbeiteten Teile aus. Beim Kauf muß man allerdings unbedingt darauf achten, daß die Platte keine Wölbung aufweist! (Vielleicht durch schlechte Lagerung oder starke Wärme verursacht. Die Dicke der Platte soll etwa 6 mm betragen.)

Nun zeichnet man sich, wie unten aus der Skizze ersichtlich ist, die Scheiben I, II und III sowie die beiden Visierplatten auf und sägt diese aus. Die Scheibe I hat einen Durchmesser von 320 mm, Scheibe II einen von 160 mm und die Scheibe III, die Viertelkreisscheibe, hat einen Radius von 150 mm. Die über den Viertelkreis hinausragende Deklinationskala (siehe Blatt 1) ist von der geographischen Breite des Beobachtungsortes abhängig. Wählt man den Winkel α (siehe Skizze unten) mit 50° , so kann sich in Mitteleuropa keine Schwierigkeit ergeben. Die genauen Maße der Scheibe III entnimmt man am besten aus dem Blatt 1 (Maßstab beachten!).

Nach dem Aussägen kann man beginnen, die Skalen zu zeichnen. Allerdings sollte es geleimtes Papier sein (z. B. Austria-Zeichenblätter), damit sich die Gradteilungen beim Aufkleben nicht verziehen.

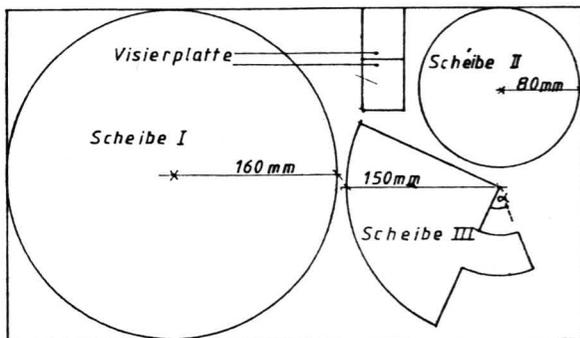
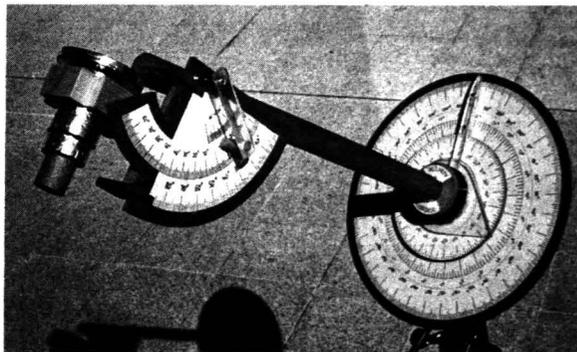
Am besten fängt man mit der Skala 1 an. Sie wird im vollen Kreisbogen im Uhrzeigersinn von 0° bis 360° mit Teilungen versehen. Am übersichtlichsten ist es, alle 10° eine Beschriftung vorzunehmen. Gezeichnet wird mit schwarzem Kugelschreiber oder mit Tusche. Mit einem Zirkel kann man die Skalen 1 und 2 optisch trennen. Die Skala 2 ist etwas schwieriger zu zeichnen. Zuerst nimmt man sich 8 cm in den Zirkel und dreht einen Kreis um den Mittelpunkt der Skalen, da die Fläche innerhalb dieses Kreisbogens ja später von der Scheibe II verdeckt wird.

Damit später beim Umdenken vom azimutalen zum äquatorialen System keine Schwierigkeiten entstehen, beginnt man bei der Marke 180° der Skala 1 die Marke 0^h der Skala 2 zu zeichnen, wie es auch aus Blatt 2 hervorgeht. Nun zeichnet man gegen den Uhrzeigersinn alle 10^m ($= 2,5^\circ$) Markierungen, jede sechste Markierung ($= 1^h = 15^\circ$) erhält eine Stundenzahl.

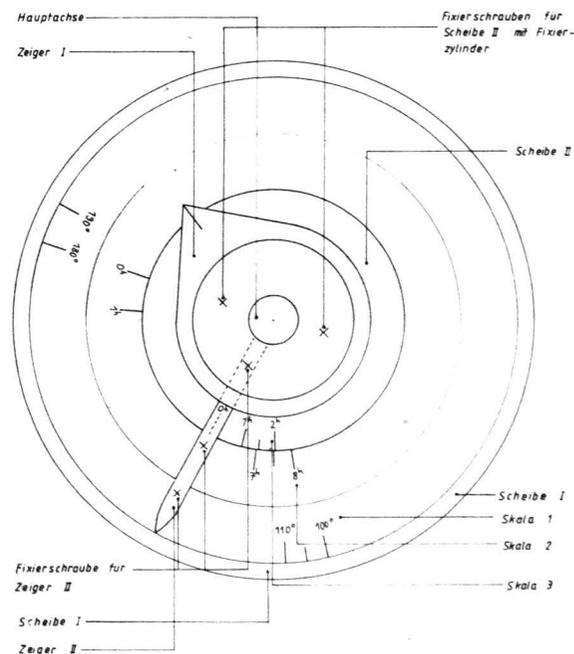
Jetzt schneidet man eine Papierscheibe mit dem Durchmesser 16 cm aus, auf der die Skala 3 gezeichnet wird. Dabei geht man genau wie bei Skala 2 vor, nur ist es hier unwichtig, wo man zu zeichnen anfängt, da die Skala 3 die einzige auf der Scheibe II ist.

Der schwierigste Teil der Zeichnungen sind die Skalen 5 und 6. Zuerst zeichnet man die Skala 4, die von 0° bis 90° reicht; diese ist für die Höhenmessungen im Azimutalbereich vorgesehen. Näheres für diese Skala ist aus Blatt 1 ersichtlich. Nun zu Skala 5. Da diese Skala für das Äquatorialsystem vorgesehen ist (ebenso wie Skala 6), ist sie von der geographischen Breite des Beobachtungsortes abhängig. Es ist daher notwendig, die geographische Breite auf 30^m genau zu bestimmen, was mit einem Atlas oder einer genauen Landkarte nicht weiter schwierig ist.

Nun bestimmt man die Kobreite ($= 90^\circ - \text{geogr. Breite}$). Als Beispiel habe ich die geographische Breite $47^\circ 30'$ genommen,



BLATT 2
Grundriß M = 1:2



daraus erhalte ich die Kobreite $42^\circ 30'$. Wo sich bei der Skala 4 die Marke 0° befindet, setzt die Skala 5 jetzt mit $42^\circ 30'$ ein. Es ist dies die Deklinationskala, und der Wert $42^\circ 30'$ gibt die südliche Deklination an, bis zu der man theoretisch beobachten könnte. Da es sich dabei um eine südliche Deklination handelt, wird diese mit einem Minus versehen. Die Skala wird dann von dieser Deklination bis zum Wert $+90^\circ$ weitergezeichnet (Blatt 1).

Weniger wichtig ist dann noch die Skala 6, die nur dazu dient, Objekte, die sich im Meridian befinden (also kulminieren) zu vermessen. Diese Skala stellt nur eine Ergänzung der Skala 5 dar.

Sie setzt mit der geographischen Breite ($47^{\circ}30'$ im Beispiel) ein und setzt sich im Uhrzeigersinn bis 90° fort.

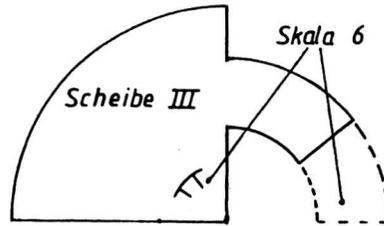
Mit einem geeigneten Klebstoff fixiert man die drei Papierscheiben auf die zugehörigen Holzscheiben (Skalen 1 und 2 auf Scheibe I, Skala 3 auf Scheibe II, Skalen 4, 5 und 6 auf Scheibe III). Es ist unbedingt darauf zu achten, daß auch an den Rändern die Papierscheiben gut kleben. Damit später keine Umwelteinflüsse (besonders starker Tau) die Skalen beschädigen können, sollte man zumindest die oberen Seiten der Scheiben mit selbstklebenden Klarsichtfolien versehen oder diese lackieren. Als nächstes benötigt man für die Hauptachse des Gerätes eine etwa 500 mm lange Stange aus Holz, Kunststoff oder Eisen. Man muß unbedingt darauf achten, daß die Stange gerade ist, da davon die Genauigkeit des Gerätes abhängt. Nun besorgt man sich eine Übergangsmutter, wie sie für Fotostative erhältlich ist, und bohrt im Zentrum der Scheibe I ein Loch mit dem Radius der Übergangsmutter (siehe Blatt 1). Diese Mutter kann ruhig im Durchmesser etwas variieren, ebenso das herausstehende Gewinde, nur muß man dann das Gewinde des Eisenstabes und den Durchmesser der Hauptachse entsprechend anpassen. Die Mutter wird jetzt in die Scheibe I eingeklebt. Dabei muß man mit größter Genauigkeit vorgehen, da sonst der Eisenstab mit der aufgesetzten Hauptachse schräg stehen könnte. Am besten, man kontrolliert das mit einem Eisenwinkel oder einem Geo-Dreieck. Nun wird in einem Eisenstab von etwa 12 cm Länge und 15 mm Durchmesser ein Gewinde geschnitten, welches dem der Übergangsmutter entspricht. (Diese Arbeit übernimmt beim Fehlen entsprechender Geräte sicher ein Dreher oder Bastlerladen.) Der Eisenstab kann aufgeschraubt werden. Wie aus Blatt 1 ersichtlich ist, erhält die Hauptachse an einer Grundfläche eine etwa 13 cm tiefe Bohrung, die allerdings genau gebohrt werden muß, da auch von ihr die Genauigkeit des Gerätes abhängt. Der Durchmesser dieser Bohrung entspricht dem des Eisenstabes. Wird nun der Eisenstab fest an die Scheibe I geschraubt, daß sie sich nicht leicht verdrehen läßt, so kann man die aufgesetzte Hauptachse frei drehen.

Nun kann man an die Aufhängung der Scheibe III gehen. Dazu wird in die Hauptachse, knapp unter der Spitze, ein Nagel eingeschlagen, der schon ein Gewinde besitzt (6 mm). Falls man einen solchen Nagel oder Bolzen nicht erhält, kann man auch eine genügend lange Schraube nehmen.

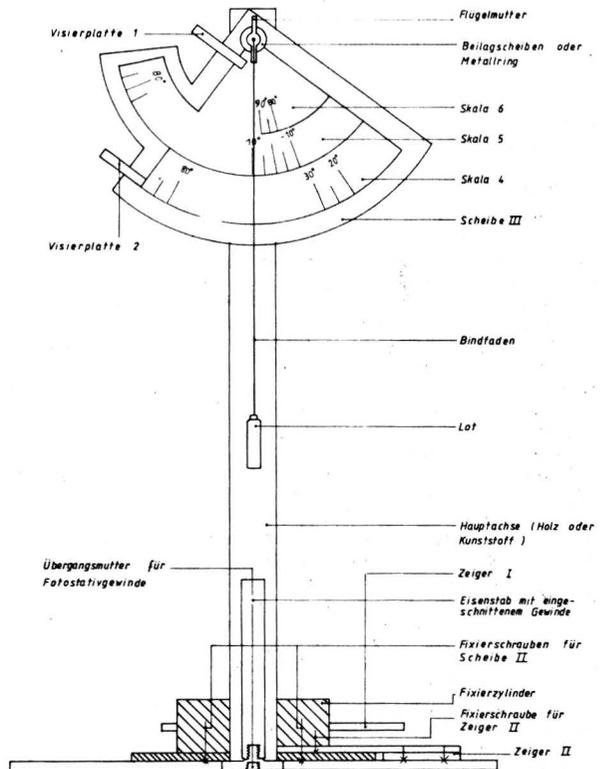
Nach Fertigung der Visierplatten (siehe Blatt 3 b) werden diese auf die Scheibe III aufgesetzt. Der Abstand der Scheibe III auf der Schraube von der Hauptachse muß so gewählt werden, daß sich die Scheibe III samt Visierplatte um die Schraube drehen läßt, ohne dabei an die Hauptachse zu stoßen.

Die Fertigung des Fixierzylinders kann beginnen. Seine Abmessungen können sich nach vielleicht vorhandenem Material richten, zu beachten ist nur, daß sein Durchmesser nicht zu groß gewählt wird, da er sonst die Skala 3 verdecken würde. Nun wird an irgendeiner Stelle des Fixierzylinders ein Zeiger versenkt. Sehr gut eignet sich ein Plexiglaszeiger, in dessen Mitte zum Ablesen ein Strich eingeritzt wird. Der Zeiger wird nun an den Zylinderboden angeschraubt, nachdem für ihn eine Vertiefung im Zylinderboden herausgearbeitet wurde. An der Spitze des Zeigers II wird zwecks besserer Ablesung in Richtung auf die Scheibe I ein Stecknadelkopf oder (wie in Blatt 1 gezeichnet) ein Stück Plexiglas befestigt. Auch Zeiger I macht sich wegen der Durchsicht aus Plexiglas am besten. Der Zeiger I läßt sich um den Zylinder verschraubte Scheibe II drehen. Die mit dem Zylinder verschraubte Scheibe II wird nun mit einer Bohrung versehen. Wie der Zylinder mit dem Zeiger II verschraubt wird, ist jedoch nicht belanglos, da die Scheibe II ja eine Skala besitzt! Der Mittelstrich des Zeigers II muß genau ober der Marke 0° liegen! Den Radius der Zylinderbohrung wählt man so, daß sich die Scheibe II mit dem aufgesetzten Zylinder mit etwas Anstrengung auf die Hauptachse aufschieben läßt. Nun muß aber noch die Hauptachse in bezug auf die Scheibe II ausgerichtet werden. Wie es in Blatt 1 sichtbar ist, muß die Sehrichtung durch die beiden Visierplatten mit der Richtung des Zeigers II übereinstimmen. Natürlich kann man die Hauptsache in den Fixierzylinder einleimen, aber dann ist das Gerät nur noch beschränkt zerlegbar. Das Lot wird jetzt vor die Flügelmutter auf die Schraube gehängt (Blatt 1).

Eigentlich wäre das Gerät jetzt fertig. Bei Bedarf kann es mit einem Zielfernrohr versehen werden (Titelbild).



BLATT 1
Aufn. M-1 2



Wenn die Genauigkeit des Pendellots nicht genügt, kann dieses durch einen Zeiger ersetzt, der natürlich immer zum Erdmittelpunkt zeigen muß (wie das Lot) und an der Spitze der Schraube der Hauptachse angebracht wird (Titelbild).

2. Einstellvorgänge und praktische Anwendung

a) Azimutsystem

Für dieses System sind die Skalen 1 (Scheibe I) und 4 (Scheibe III) vorgesehen. Damit lassen sich alle am Himmel liegenden Objekte in zwei Koordinaten (Azimut und Höhe) festlegen.

Für das Azimut wird Zeiger II verwendet, für die Höhe das Lot bzw. ein dazugebauter Zeiger.

Die Aufstellung des Gerätes ist relativ schwierig für das Azimutsystem, denn die Scheibe I muß genau waagrecht stehen, am besten auf einem Stativ. Bei Azimutstellung 0° muß die Sehrichtung durch die Visierplatten genau nach Norden weisen. Das nimmt man entweder mit einem Kompaß oder mit Hilfe der Sonnenkulmination vor.

Mit Hilfe des so aufgestellten Gerätes können außer den astronomischen Beobachtungen auch einfache trigonometrische Messungen durchgeführt werden. Interessant ist auch die Herstellung einer Horizontsilhouette. Dabei mißt man die Höhe des Horizonts von 0° bis 360° und trägt die Werte des Azimuts in der Waagrechten und die der Höhe in der Senkrechten auf.

Natürlich lassen sich auch sehr gut die Kulminationshöhen von Gestirnen bestimmen. Wichtig ist dieses System noch für die Anfangs- und Endpunkte der Leuchtspur eines Meteors oder eines Satelliten, da hierfür die im Azimutsystem gemessenen Werte oft gefordert werden.

b) Äquatorsystem

Dieses System nimmt als Bezugspunkt für die beiden Koordinaten (Rektaszension und Deklination) den auf den Himmel projiziert gedachten Erdäquator als auch den Pol. Der Ausgangspunkt der Rektaszension (gezählt in Stunden, Minuten und Sekunden) ist der Frühlingspunkt (= Schnittpunkt des Himmelsäquators mit der Ekliptik). Der Ausgangspunkt der Deklination ist der Himmelsäquator; von dort zählt man die Deklination (in Grad) zum Nordpol positiv und zum Südpol negativ.

Auf dem Quadranten sind für die Deklination die Skala 5 und für die Rektaszension die Skalen 2 und 3 vorgesehen.

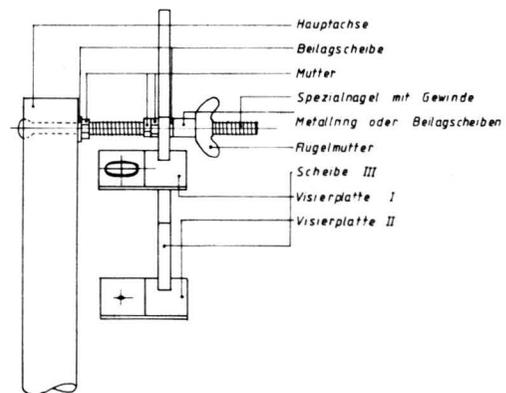
Nun zu den Einstellvorgängen: Die Rektaszension und die Deklination des gesuchten Objekts entnimmt man aus einem Himmelskalender (oder ähnlichem), ebenso die Sternzeit. Die Sternzeit wird mit dem Zeiger I eingestellt, die Rektaszension wird auf Skala 2 eingestellt und die Deklination auf Skala 5. Danach wird die Sternzeit (mit dem Zeiger I auf Skala 3 eingestellt) über die Rektaszension gedreht (Skala 2). Zum Beispiel: Ein Stern mit $8^h 10^m$ Rektaszension und 62° Deklination wird zur Sternzeit $10^h 40^m$ gesucht. Mit dem Zeiger I wird auf der Skala 3 die Sternzeit ($10^h 40^m$) eingestellt. Nun dreht man die Hauptachse so lange, bis unter der Spitze des Zeigers I die gewünschte Rektaszension erscheint ($8^h 10^m$). Jetzt dreht man die Scheibe III so lange, bis die Deklination ($+62^\circ$) hinter dem Lot (bzw. Zeiger) erscheint. Blickt man nun durch die Visiereinrichtung, so müßte bei richtiger Aufstellung des Gerätes der Stern zu sehen sein.

Nun zur Aufstellung des Gerätes: In einer sternklaren Nacht ist dies recht einfach; man dreht die Scheibe III so, daß die Visiereinrichtung genau in Richtung der Hauptachse zeigt (= Deklination 90°) und visiert so den Polarstern an. Vorher muß man nur darauf achten, daß die 0^h -Marke der Skala 3 nach Süden zeigt. Bei Tageslicht ist die Aufstellung etwas schwieriger; die Nord-Süd-Richtung bestimmt man mit einem Kompaß oder mit Hilfe der Sonne. Danach neigt man die Achse des Gerätes so weit nach Norden, daß bei normal auf die Hauptachse zeigender Visiereinrichtung das Lot auf 0° Deklination zeigt. Natürlich muß dabei der Zeiger II auf 180° zeigen (d. h. die Visiereinrichtung zeigt nach Süden).

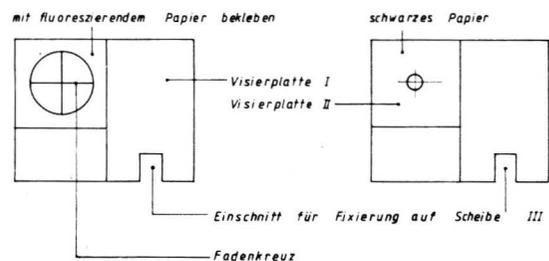
Mit diesem System lassen sich nun alle astronomischen Objekte sowohl am Nacht- als auch am Taghimmel auffinden. Natürlich kann man auch umgekehrt verfahren und ein noch unidentifiziertes Objekt in diesen beiden Koordinaten angeben. Dabei stellt man das Objekt genau ein, stellt mit dem Zeiger I die Sternzeit ein und kann sofort unter der Spitze des Zeigers I die Rektaszension auf der Skala 2 ablesen. Die Deklination wird wie immer hinter dem Lot (oder Zeiger) abgelesen.

BLATT 3

A) Montierung der Scheibe III



B) Visierplatten I, II M - 1 - 1



MATHEMATIK

Dr. Walter Kranzer

Nachruf für Heinrich Schatz, 1901—1982,

gehalten am 13. September 1982 von o. Prof. Dr. Franz Fliri,
Universität Innsbruck

Verehrte Frau Professor, werde Familienangehörige und zur
Verabschiedung Versammelte!

Mit der Familie Schatz trägt in diesen Tagen auch die Universität Innsbruck Trauer. Sie gilt einem Mann, der seit seiner Jugend lebenslang eine besondere Bindung an die Landesuniversität besaß. Auf dem Lebensweg von Heinrich Schatz hat die Alma Mater Oenipontana volle Erfüllung früher Hoffnungen, schwere Enttäuschung auf dem Höhepunkt der Schaffenskraft und verständlichen Ausklang zugleich bedeutet. Die Universität hat nicht nur seinen Werdegang als Forscher und Lehrer bestimmt, sondern auch die Entfaltung von Charakter und Persönlichkeit stark beeinflusst. Wer immer dieses nunmehr vollendete Leben überblicken will, kann somit den Menschen vom Universitätsprofessor Schatz nicht trennen.

Der Rektor der Universität sowie der Dekan und Prodekan der Naturwissenschaftlichen Fakultät sind durch auswärtige Verpflichtungen verhindert, an dieser Verabschiedung teilzunehmen. So will ich mich in deren Auftrag bemühen, dem Leben und Wirken von Heinrich Schatz gerecht zu werden. Ohne die Kenntnis seiner eigenen Tagebuchaufzeichnungen und für den Fachfremden ist das schwierig und muß höchst unvollkommen bleiben, indessen ist die Zeit kurz und der Anlaß zwingend.

Heinrich Schatz wurde 1901 in Innsbruck geboren. Sowohl seine Mutter Anna, geb. Geperl, als auch sein Vater Josef Schatz entstammten alten Tiroler Familien. In jeder Hinsicht geborgen verlief seine Jugend, war doch der Vater als Germanist Professor an der Universität Innsbruck. Überdies hatte der Erste Weltkrieg seinen Jahrgang gerade noch verschont. So konnte er 1919 mit Auszeichnung die Reifeprüfung am Innsbrucker Gymnasium ablegen und anschließend an der Universität Mathematik, Physik und Astronomie studieren.

Im April 1923 promovierte er zum Doktor der Philosophie aus Mathematik und Astronomie, gerade als sein Vater Rektor war. Anschließend wurde er Demonstrator bei Professor Sander am Institut für Mineralogie und Petrographie und legte die Lehramtsprüfung aus Mathematik und Physik ab.

Nach vier Semestern Ergänzungsstudien an den Universitäten Göttingen und Hamburg habilitierte sich Heinrich Schatz

bereits im Sommer 1926 in Innsbruck für das Gesamtgebiet der Mathematik und war dann ein Jahr Assistent an der Technischen Hochschule in Wien. Als in Innsbruck beide Lehrkanzeln für Mathematik vakant wurden, kehrte Heinrich Schatz als Supplent zurück und wurde schließlich am 1. Oktober 1929 zum außerordentlichen Universitätsprofessor ernannt. Ein sehr schneller, durch die besonderen personellen Verhältnisse in der österreichischen Mathematik begünstigter Aufstieg war damit abgeschlossen. Heinrich Schatz stand damals im 29. Lebensjahr, und es mochte schon sein, daß er von manchen als Student höherer Semesters betrachtet wurde, ehe er im Hörsaal als Vortragender erschien.

Dem Fachfremden ist es nicht möglich, den richtigen Eindruck von der wissenschaftlichen Arbeit dieser Jahre zu vermitteln, vor allem soweit sie theoretische Themen betroffen hat. Seit den Anfängen der kleinen Leopold-Franzens-Universität gehörte es aber zur unausweichlichen Aufgabe der jeweiligen Mathematiker und Physiker, die vielfältigen Bedürfnisse zu befriedigen, die von der Praxis anfielen und anderwärts von den technischen Hochschulen besorgt wurden. Vor allem war die Darstellende Geometrie und die angewandte Geodäsie zu betreiben, erstere in der Lehre, letztere zusätzlich bei bestimmten Aufgaben, z. B. der Auslotung des Achensees im Jahre 1935.

Besonders fruchtbar wurde eine interdisziplinäre Zusammenarbeit im Auftrag des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins auf dem Gebiet der Gletscherforschung. Gemeinsam mit seinem älteren Kollegen Professor Vietoris führte Heinrich Schatz die Vermessung von Hintereis- und Vernagtferner weiter, womit ein bleibender Beitrag zur Massenhaushaltsforschung geleistet wurde. Geodätische Fragen standen auch im Zusammenhang mit den drei Expeditionen, die Heinrich Schatz im Auftrag des Alpenvereins von 1930 bis 1937 in die nordalbanischen Alpen leitete.

In jeder Hinsicht schien Heinrich Schatz das Glück hold zu sein. Wissenschaftlich hatte er Erfolg, materiell keine Sorgen, und überdies fand er in Dr. Eleonore Gräfin Schmidegg jenen Menschen, der willens war, ihn durch diese guten und mögliche andere Jahre zu begleiten. So wurde 1937 die nächste Familie Schatz gegründet.

Den von damals noch Lebenden mutet sein weiterer Weg schicksalhaft an. Jene Generation, die vom Ersten Weltkrieg verschont geblieben war, hatte sich keineswegs mit dessen Ergebnis abgefunden. Vor allem im zerrissenen Tirol galt das als ausgeschlossen, wengleich die Meinungen über zweckdienliche Wege und notwendige Taten verschieden waren. Aus seiner eigenen Überzeugung hatte Heinrich Schatz wie fast alle seine Zeitgenossen kein Geheimnis gemacht. Eigene Entscheidungen brauchte er andererseits nicht zu treffen.

Als der Weltkrieg ausbrach und die Arbeit an den Universitäten eingeschränkt wurde, holte ihn die Wehrmacht, zunächst als Pionier, dann als Kraftfahrer. Nur für kurze Zeit konnte er an die Universität zurückkehren, seit September 1941 immerhin als Ordinarius. Für den zweiten Teil des Krieges brauchte ihn die Wehrmacht 1942 neuerdings, wengleich in sinnvollerer Tätigkeit, nämlich im Wetterdienst der Kriegsmarine. Als Regierungsrat leitete er 1943 und 1944 eine der berühmten extremen deutschen Wetterbeobachtungsstationen auf Shannon in Nordostgrönland.

Heinrich Schatz hatte noch das Glück, den Krieg gut zu überstehen und auch der Gefangenschaft zu entgehen. Von einer gesicherten Existenz für sich und seine damals fünfköpfige Familie konnte aber keine Rede mehr sein. Keine sieben Zeilen lang war jenes Schreiben, mit dem ihm der Rektor im Juli 1945 mitteilte, daß er zufolge Anordnung der Provisorischen Landesregierung für Tirol mit sofortiger Wirksamkeit aus dem Dienste auszuscheiden habe. Gründe wurden nicht genannt. Hätte man sie gesucht, wäre man zum Thema Südtirol gekommen.

Im Alter von 44 Jahren sah sich Heinrich Schatz pensioniert und durch Aberkennung der Habilitation auch von jeder Lehrtätigkeit an der Universität ausgeschlossen. Von 1945 bis 1952 leitete er wieder eine Wetterstation, zwar nicht in der Arktis, aber immerhin auf dem Patscherkofel. Er hat mir versichert, dem dortigen Ofen beim mühsamen Einheizen zuweilen seine Gefühle anvertraut zu haben. Fest steht, daß Heinrich Schatz durchgehalten hat, sicher nicht zuletzt dank der Kräfte, die eine gute Familie umzusetzen vermag, wenn man sie herausfordert.

Die harten Jahre klangen nur langsam aus. Erst im Mai 1951 erhielt er die Privatdozentur zurück, durfte also immerhin fast unentgeltlich an der Universität lehren, zwei Jahre später auch gegen Entgelt als Dozent mit Lehrauftrag.

1958 verließ er jedoch Innsbruck und übernahm die Stelle eines full professors für Mathematik an der Universität Bagdad.

Ein Dutzend Jahre nach Kriegsende begann eine neue Stufe des Ausbaues der österreichischen Universitäten. In diesem Rahmen erhielt Innsbruck eine außerordentliche Professur für „Angewandte Mathematik mit Einschluß der Darstellenden Geometrie“. Heinrich Schatz nahm den erhaltenen Brief an und wurde fast genau dreißig Jahre nach seiner ersten Ernennung neuerdings Mitglied der Philosophischen Fakultät. Mit der Wiederernennung zum Ordinarius im März 1962 war die langwierige Rückkehr auch rechtlich abgeschlossen.

Heinrich Schatz hat später über die Merkwürdigkeit einer zweimaligen akademischen Laufbahn nie viel Worte gemacht, immerhin zuweilen auf die Daten im Vorlesungsverzeichnis verwiesen. Nie hörte man auch eine Klage, was er tun hätte können, wenn er nicht gehindert worden wäre. In Ruhe und Ausgeglichenheit nahm er seine Arbeit wieder auf und setzte sie ohne das geringste Anzeichen eines Abfalles an Leistung oder Arbeitsfreude bis zu seiner Emeritierung am 30. September 1971 fort. Seit dem Wintersemester 1969/70 war er sogar zusätzlich Lehrbeauftragter an der neuen Baufakultät gewesen.

Die zweite Wirkungszeit von Heinrich Schatz an unserer Universität stand im Zeichen einer ruhigen und reifen Ernte. In der Philosophischen Fakultät besaß er Vertrauen ohne jede Einschränkung, äußerte sich selten, aber immer mit großem Gewicht. In Studienjahr 1965/66 war er Dekan und wurde auch für die jungen Fakultätsmitglieder dank der Gründlichkeit der Vorbereitung und Schnelligkeit der Abwicklung der Fakultätssitzungen ein unerreichbares Vorbild. Diese Zeit der Ernte war ruhig, die Hörerzahlen noch nicht übermäßig angeschwollen, das Betreuen jedes einzelnen Studierenden durch den Professor noch möglich, aber auch dessen Verantwortung noch voll sichtbar. Die Unruhe von außen war noch nicht hereingetragen und die sogenannte Universitätsreform nicht vollzogen.

Über das wissenschaftliche Werk von Heinrich Schatz werden Berufene noch zu berichten haben. Dem Lehrer darf auch der Nichtfachmann seine Hochachtung erweisen. Ruhe und Gelassenheit, nicht zuletzt ein unwiderstehlicher trockener Humor ohne jedes Verletzen, wo deutlich gesprochen werden mußte, waren ebenso seine Lehrertugenden wie das peinliche Vermeiden von jedem Unrecht, über dessen Gesicht er besser Bescheid wußte als viele, die davon sprachen.

Heinrich Schatz war ein gemühtiefer Mensch. Die unzerstörbare Liebe zur Wissenschaft hat ihm in den Jahren seiner Entlassung viel geholfen. Die Wiederarbeit an der Universität mag ihm ebenso das große persönliche Leid erträglicher gemacht haben, als sein Ältester verunglückte. Daß der Universität dennoch eine Dankeschuld verbleibt, scheint außer Zweifel. Zweihundert Absolventen etwa, in der Mehrzahl Lehrer an Allgemeinbildenden Höheren Schulen, sind nämlich durch die Schule von Heinrich Schatz gegangen, der ein Multiplikator von Bildung und Fachwissen zugleich war.

Dem Toten gilt der Dank nichts. Namens der Universität darf ich aber jenen danken, die Heinrich Schatz geholfen haben, so zu sein und zu bleiben, wie sein Wesen war. Dank also seiner Frau für 45 erfüllte Jahre, in denen sie ihrem Mann soviel Familienpflicht abnahm, daß er sich der größeren akademischen Familie widmen konnte. Dank seinen Kindern, die ihm viel Freude machten.

Dank schließlich allen noch lebenden Kollegen vom Institut für Mathematik. Vor 63 Jahren ist Heinrich Schatz in das damals kleine Seminar für Mathematik und mathematische Physik eingetreten. In unseren Gesprächen habe ich nie einen Mißton über die Beziehungen innerhalb des Institutes gehört. Was ihm selbst widerfuhr, kam von außen. Möge sein Geist wie in seiner Familie auch an diesem Institut weiterwirken.

Ergo vivant, crescant et floreat mathematici!

Walther Neuper, Akad. Gymnasium, Salzburg

Systemkonstruktion und Projektmanagement

Die Phase 1 umfaßte, da die Einigung für das Projektthema schnell zustande kam, insgesamt 2 Doppelstunden. Beim Erstellen des Projektplanes hatten die Schüler Schwierigkeiten vor allem noch darin, den sozialen Kontext (z. B. Kompetenz Lehrer/Schüler) zu erkennen.

2.2. Funktionelle Spezifikationen und Prototyp

Ergebnis:

- Darstellung der funktionalen Aspekte des Lösungssystems in einer lesbaren Notationsform (Präzedenzdiagramme oder SADT); diese

- dient der Besprechung mit dem Systembenutzer
- weist eine Aufteilung in Teilfunktionen auf, die eine Vergabe an verschiedene Teams ermöglicht
- lauffähige Bildschirmmasken und Beispiels-Ausdrücke oder ein primitiver Prototyp zur Demonstration beim Benutzer

Bericht:

Nach einer kurzen Einführung in den Systemgedanken, das „top-down-design“ und in die Präzedenzdiagrammschreibweise (Lit. 5) versuchten die Schüler in parallel arbeitenden Teams (2-4 Personen), ein System zu strukturieren und in Präzedenzdiagrammen festzuhalten. Nach 2 Doppelstunden Arbeit und Diskussion der verschiedenen Gruppenentwürfe einigte sich das Projektteam auf folgende einfache Darstellung (Abb. 1). Mit der Absicht, weitere Details bei den Teilsystemen festzuhalten:

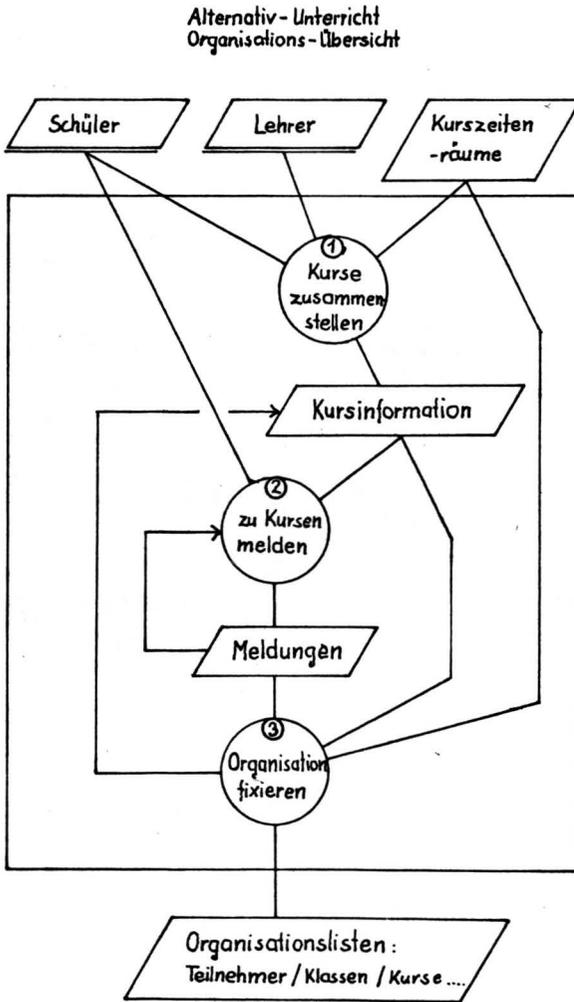


Abb. 1

In 3 weiteren Doppelstunden wurden die Subsysteme von arbeitsteiligen Teams entworfen und notiert; als Beispiel Subsystem 1:

Die Verfeinerung wurde hiermit genausoweit vorangetrieben, daß entscheidbar schien, welche Tätigkeiten manuell, welche automatisch erledigt werden konnten, wer für die Tätigkeit zuständig sein sollte (Lehrer/Schüler) und wo diese stattfinden bzw. wie lange diese dauern konnte.

Nach der langen Zeit papierener Entwurfsarbeit waren die Schüler froh, zur Realisierung eines Prototyps zu kommen. Unser Hauptproblem schien von Anfang an an der Benutzer-

Subsystem ① Kurse zusammenstellen

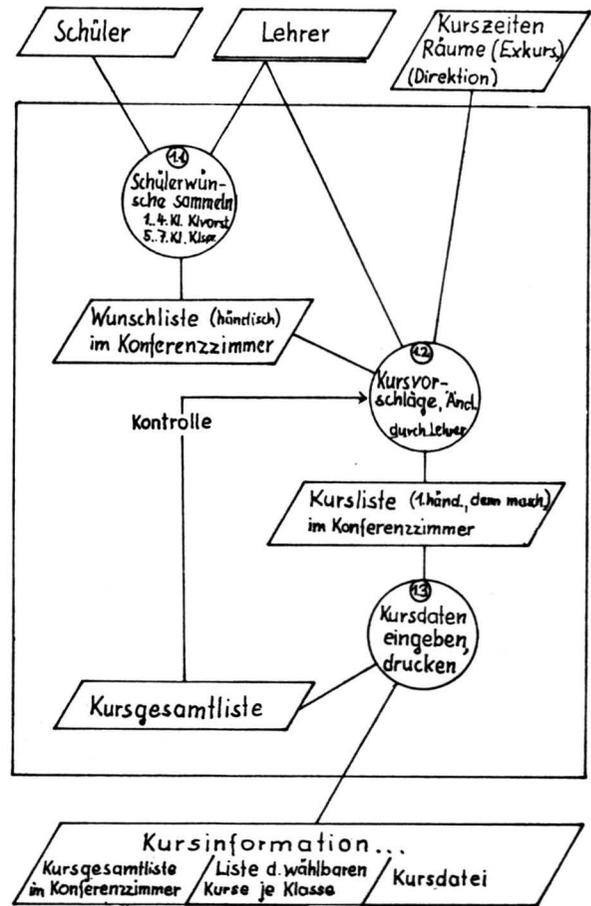


Abb. 2

schnittstelle zu liegen; deshalb wollten wir diese mit Bildschirmmasken und Beispiels-Ausdrücken simulieren.

Die Schüler wußten nichts über ergonomische Bildschirmgestaltung und bekamen folgende Information: Realisiert nur, was am Bildschirm bzw. am Drucker sichtbar werden soll, und das an einem einzigen Testdatensatz - keine weiteren maschinenorientierten Details (Dateizugriffe usw.)! Dazu folgendes Beispiel:

Programm Kursdaten eingeben
wiederhole

 Maske mit Bezeichnung aller(!) Eingabedaten auf den Bildschirm;

 Kursnummer eingeben;

<-- Kursnummer = 0;

 Vorgabewerte auf der Maske hinzufügen;

 wiederhole

 Daten zu diesem Kurs eingeben, indem der Cursor an die Stelle der jeweiligen Bezeichnung/Vorgabewerte programmiert wird;

 ok/nicht ok eingeben;

<-- ok;

 Ende

Ende

Die codierten Teilprogramme wurden entsprechend den Präzedenzdiagrammen über Programmwähler bereits zusammengebunden.

Diese Dummy-Version des gesamten Systems wurde nach 6 Doppelstunden Arbeit von der Gruppe selbst beurteilt (Dauer 2 Doppelstunden!). Daraufhin waren weitere 3 Einheiten nötig, um Präsentationsreife zu erreichen. Präsentiert wurde dem Lehrer-Organisations-Team, um eventuelle Entwurfsfehler zu entdecken und Organisationsfragen detaillierter zu besprechen: Verantwortlichkeiten, Zeitplan, Kompetenzen (1 Doppelstunde).

2.3. Entwurfsspezifikation

Ergebnis:

- verbindliche Darstellung des Programmentwurfes (Ablauf in Strukturprogrammen mit Pseudocode, Daten in Variablen Deklarationen und Dateibesreibungen); die Verfeinerung ist genau soweit vorangetrieben, daß
- eine überlegte Aufteilung der Programmierarbeit auf Teams möglich ist
- die Schnittstellen zwischen den Modulen exakt genug für deren separate Bearbeitung definiert sind
- wenn nötig, verbindlicher Zeitplan für die Bereitstellung von Testdaten.

Bericht:

Diese Phase, die Festlegung der maschinenorientierten Aspekte des Systems (der Abläufe und Daten) erwies sich als einfach und kurz (2 Doppelstunden):

Die in den Präzedenzdiagrammen aufscheinenden Funktionen waren einfache Prozesse zur Eingabe vom Bildschirm oder zur Erzeugung von Listen aus Daten auf der Floppy.

Eine Ausnahme bildete die Funktion „Eingabe und Online-Überprüfung der Kurswahl“, bei der jeder Schüler seine Wünsche und Korrekturen dem Computerbediener direkt ansagen sollte. Dies war auch der zeitkritische Flaschenhals, und durch die Eingabe von 2 Geräten auf 1 Floppydatei traten Parallelitätsprobleme auf. Auch diese Funktion wurde als 1 Modul vergeben, allerdings an die „Stars“ der Projektgruppe.

Die Übergänge zwischen den einzelnen Prozessen waren nicht zeitkritisch; es genügte also der getrennte Abruf der einzelnen Module von Diskette über die bereits fertiggestellten Programmwähler.

Damit war von Programmabläufen her keine Schnittstellenproblematik gegeben.

Und die Daten ließen sich ohne Schwierigkeit 2 Dateien, einer Kurs- und einer Schülerdatei (mit den persönlichen Meldungen), zuordnen. Zur Schnittstellendefinition verblieben also die genauen Satzbeschreibungen dieser Dateien.

Auch dieses Problem wurde vereinfacht: Zwecks Datenkapselung wurde für jeden Dateizugriff die Verwendung von „black boxes“ zum Schreiben bzw. Lesen vorgeschrieben; diese erstellte 1 Team und gab sie an alle zur Verwendung weiter.

Ein genauer Plan wurde festgelegt, wer wann welche Testdaten zur Verfügung der anderen Teams zu stellen hatte. Die Schwierigkeiten, diesen Plan einzuhalten, brachten die größten Verzögerungen im gesamten Projektablauf. Hier hätte vielleicht ein Netzplan geholfen.

2.4. Modulprogrammierung und Modultest

Ergebnis:

- lauffähige, getestete Teilprogramme und/oder
- Unterprogramme, die in einer geeigneten Testumgebung funktionieren

2.5. Integration, Abnahmetest

Ergebnis der Integration:

- das Gesamtsystem, das aus den einzelgetesteten Modulen zusammengesetzt wurde
- Test des Systems an einem überlegt vorbereiteten Testdatenbestand

2.6. Einsatz des Systems

Dies ist in der Praxis normalerweise nicht mehr Aufgabe des Projektteams, für Schüler jedoch unersetzlicher Endpunkt des langen Motivationsbogens und Möglichkeit, „feedback“ über ihr Produkt zu erhalten und seine Auswirkungen zu beobachten:

Freude und Stolz des Projektteams war berechtigt, als die ganze Schule, Schüler wie Lehrer, die nötigen Informationen für den AU von Listen mit „copyright by ...“ entnehmen. Die Verständlichkeit der Listen konnte beurteilt werden.

Ebenso konnten die Programmautoren die Ergonomie ihrer Bildschirmgestaltung mit eigenen Augen erfahren, als sie selbst an 2 Vormittagen die Kursmeldungen sämtlicher Schüler entgegennahmen und eintippten.

Auch Auswirkungen des Systems im umfassenden sozialen Beziehungsgefüge konnten beobachtet werden, z. B. als ein Schüler seine Kompetenz überschritt und Kurszeiten auf der Datei änderte, um ihre Verteilung zu verbessern, oder wenn Freunde nach Bevorzungen trachteten, oder wenn sich berechtigte Sonderwünsche im automatisierten System nicht berücksichtigen ließen.

Auch ein Entwurfsfehler wirkte sich aus, der 1 Monat zuvor entdeckt worden war – zu spät für eine Änderung: Der Kursort war nicht in die Datei aufgenommen worden, weil der Raumplan ohnehin händisch erstellt werden mußte. (Diesbezügliche Automatisierungspläne waren bald fallengelassen worden.) Eine lange Liste mußte per Hand geschrieben werden; und die Redundanz in dieser doppelten Datenhaltung führte auch tatsächlich zur Fehlinformation von Kursbesuchern, nachdem Änderungen notwendig geworden waren.

2.7. Dokumentation

Ergebnis:

- ein Bedienungshandbuch, das EDV-Laien die Benützung des Systems ermöglicht
- ein Wartungshandbuch, das die Korrektur später auftretender Fehler und Anpassung der Programme an veränderte Gegebenheiten ermöglicht

Bericht:

Die Dokumentation war natürlich keine in sich abgeschlossene Phase, sondern erfolgte projektbegleitend als wesentlicher Punkt der Projektorganisation. Dazu wurde zu Projektbeginn ein Ordner mit folgendem Inhaltsverzeichnis angelegt:

1. Vereinbarungen
 - 1.1. Projektorganisation (Termine, Gruppen usw.)
 - 1.2. Ergebnis der funkt. Spezifikation (Präzedenzdiagramme)
 - 1.3. Ergebnis der Entwurfsspezifikation (Dateivereinbarungen)
 - 1.4. Weitere Vereinbarungen (Unterprogramm, Programmaufruf und -ende usw.)
2. Dokumentation der Teamarbeiten
 - 2.1. Team „Kursdatei erstellen und korrigieren“
 - 2.2. ...

Erfahrung mußte gesammelt werden, was unter 2.x. abzuheften war; dies war z. T. schmerzvoll, wenn das Ergebnis stundenlanger Entwurfsarbeit als Schmierzettel weggeworfen oder eine Stunde lang an der Großvater-Version eines Programmes korrigiert wurde, weil die Programmnamen nicht ordentlich notiert waren.

Ein entsprechender Abschluß der Dokumentation, am Ende der Motivationsreserven, war nur möglich, weil die Teilnahme an einem Wettbewerb winkte, und weil das Projektteam hiezu 2 Unterrichtstage am Schluß freigestellt wurde. Die Dokumentation wurde – selbst wartungsfreundlich – auf einem Textsystem geschrieben und gespeichert. Sie war folgendermaßen gegliedert:

1. Bedienungshandbuch
 - 1.1. Übersicht über Organisation (Präzedenzdiagramme)
 - 1.2. Übersicht über die Programmwähler
 - 1.3. Funktion der Teilprogramme (verbale Funktionsbeschreibung, Listen und Masken)
2. Wartungshandbuch
 - 2.1. Allgemeine Vereinbarungen (Dateien, Unterprogramme, Programmablauf, -ende)
 - 2.2. Für jedes Teilprogramm: Struktogramm, Programmlisting, ggf. Anmerkungen

3. Erfahrungen und Anmerkungen zu einigen Hauptpunkten

3.1. Notationsformen und Entwurf

Die Frage der Notationsformen ist zentral für den gesamten Entwurfprozeß. Der Autor selbst hatte aus mangelnder Kenntnis in dieser Frage früher den Schülern fertige Programmspezifikationen vorsezen müssen (Projektbeginn bei Phase 4j) bzw. mußte er entmutigende Entwurfs-Diskussionen zur Kenntnis nehmen.

Eine geeignete Notationsform – schafft erst die Möglichkeit, Entwurfsversuche dem Partner im Team verständlich mitzuteilen – liefert Ergebnisse in allen gewünschten Phasen der Entwurfsarbeit (Gliederung/Motivation/Kontrolle) – impliziert methodisches Vorgehen

Mit der Notationsform der Präzedenzdiagramme (Lit. 5) haben wir bei der funktionellen Spezifikation gute Erfahrungen gemacht (auch SADT scheint geeignet):

- Sie ist einfach (im wesentlichen nur 3 Symbole)
- Sie fordert Genauigkeit in den wichtigen Punkten; z. B. scheint die Darstellung in Abb. 3 klar, ist aber falsch, die richtige (Parallelogramm – Kreis – Parallelogramm – ...) in Abb. 4 scheint umständlich:

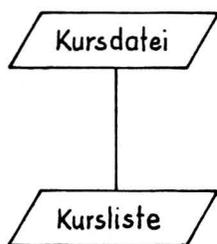


Abb. 3

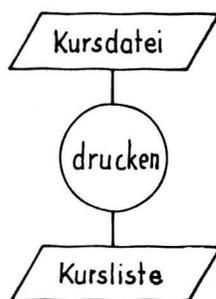


Abb. 4

Allerdings impliziert die richtige Darstellung Fragen wie: Wer schreibt/überprüft wann händisch/maschinell wie lange...? Wo ist die Liste aufzuhängen? usw.

Präzedenzdiagramme zwingen zum „top-down“-Vorgehen: Die Beschreibung des Gesamtsystems muß auf 1 A4-Blatt gehen (günstige Einschränkung auf maximal 20 Elemente inkl. Verbindungslinien pro Blatt), erst von den darin aufscheinenden Subsystemen darf weiter verfeinert werden.

Das einfache Aussehen der Diagramme in Abschnitt 2. sollte nicht über die Schwierigkeiten der Schüler beim Entwurf täuschen: Am schwersten fällt es, Details als unwesentlich zu erkennen und wegzulassen. Außerdem waren Varianten durchzudiskutieren.

Die weitgestreute Vielfalt der Projektarbeit zwingt auch dazu, verschiedene Notationsformen zu verwenden:

- für die organisations- und datenorientierten Aspekte der funktionellen Spezifikationen etwa Präzedenzdiagramme
- für den Programmwurf Struktogramme
- eventuell für die Zeitplanung der Testdaten bei komplexen Zusammenhängen Netzpläne

So werden die speziellen Stärken der verschiedenen Darstellungsformen einsichtig.

3.2. Konstruktion und Realisierung

Für uns steht außer Zweifel, daß als Projekt-Ergebnis ein auch auf Maschinenbasis lauffähiges System vorzusehen ist; dies scheint für die Motivation von Schülern des gegebenen Alters derzeit unumgänglich. Das heißt, daß wegen der jetzt in der Schule zur Verfügung stehenden Software-Werkzeuge eine Algorithmisierung erfolgen muß; zu deren Wert haben wir einleitend Stellung genommen.

Die erst jüngst ins Gespräch gekommene Methode des „Prototyping“ ist für die Schule wie geschaffen: Es gilt, mit minimalem Aufwand (der für Schüler ohnehin hoch ist!) einen Prototypen zu schaffen, der Wesentliches herausgreift.

In unserem Beispiel war das die Funktionalität an der Benutzerschnittstelle. Wir bauten sozusagen nur Karosserie und Armaturenbrett des geplanten Wagens. Als dann der Prototyp lief, gingen vielen Schülern, die ja im Kampf mit „ihrem“ Modul steckten, erst die Augen über die Zusammenhänge im Gesamtsystem auf. Auch der Blick für die Schnittstellenproblematik wurde geschärft, beim Vorgehen in unserem Beispiel eigentlich erstmals auf Programmsprachen-Ebene aufgeworfen.

Prototyping darf nun allerdings nicht mit der „Hacker-Methode“ (Joe Weizenbaum, Lit. 5, S. 161 ff.) verwechselt werden; natürlich wollen gerade aktive Schüler nach der Themenwahl unmittelbar auf dem Computer einzutippen anfangen. Diejenigen, die die Warnung nicht annehmen, lasse man das auch tun.

Es kommt darauf an, daß die Spezifikation vorher schon überlegt und notiert ist, an der der Prototyp beurteilt werden kann.

In unserem Beispielsprojekt war die funktionelle Spezifikation durch die übrigen Schüler inzwischen bald weit genug fortgeschritten, um die ad-hoc-Lösung der „Hacker“ als Mißerfolg erkennen zu lassen.

Eine wichtige Voraussetzung für diesen lehrreichen Mißerfolgs-Beweis ist auch, daß die Aufgabenstellung komplex genug gewählt und nicht in einem Schlag – wenn auch nur scheinbar – zu lösen ist. Die Komplexität sollte jedoch im lehrreichen funktionellen Bereich liegen, nicht im programmtechnischen.

Das Konstruktionsdetail der „Datenkapselung“ der Dateien erscheint aus prinzipiellen Gründen lehrreich und dient direkt der Wartbarkeit der Programme.

Bei einigen Schülern waren große Widerstände festzustellen, diese als „black boxes“ zu benutzen.

Vermutlich ist jedoch der Kreis der möglichen Projektthemen wesentlich zu erweitern, wenn man fertige „black boxes“ (die über die serienmäßigen Betriebssysteme der Schulcomputer hinausgehen) in überlegter Weise zur Verfügung stellt.

3.3. Teamarbeit und Projektmanagement

Die Organisation des vorliegenden Projektes als „Projektmanagement“ zu bezeichnen, mag übertrieben sein, obwohl die wesentlichen Punkte vorhanden waren:

In erster Linie ist hier die zeitliche Phasengliederung zu nennen, die vom Lehrer vorgegeben wurde. Der Lehrer war Projektleiter; er hatte vor allem die Aufgabenstellung genau zu definieren und die jeweils notwendigen Vereinbarungen sicherzustellen. Außerdem hatte er die Kontakte zum Lehrer-Organisations-Team wahrzunehmen.

Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte von den einzelnen Teams in eigener Verantwortung. Es war den Schülern ein weitgehend neues Erlebnis, daß eine nicht eingehaltene Vereinbarung (ein Termin, eine Variablendeklaration) nicht eine negative Reaktion beim Lehrer auslöste, sondern einfach die Gruppenarbeit störte.

Für das Gefühl der Eigenverantwortlichkeit der Schüler war der Realitätsbezug der Aufgabenstellung sehr wichtig: Als z. B. die versprochenen Vorbereitungen für die Besprechung mit dem Lehrer-Organisations-Team zum vereinbarten Termin nicht fertig waren, war das Projektteam blamiert; die nächsten Termine wurden ernster genommen.

Das zentrale Organisationsmittel bildete der Ordner, dessen Inhaltsverzeichnis in Punkt 2.7. angegeben ist. Seine Kontrolle wurde einem „Projektsekretär“ übergeben, der auch für ein genaues Aufzeichnen der Vereinbarungen verantwortlich war.

Für die Teams war die fortlaufende Dokumentation ihrer Arbeit auch deshalb unumgänglich, weil die Arbeitszeit leider sehr zersplittert war (2 Std. pro Woche, Ferien).

Was Vereinbarungen bedeuten, war den Schülern nicht gleich klar: In der Phase der Modulprogrammierung kam es immer noch vor, daß ein Team zwecks Vereinfachung ihres Moduls zusammen mit dem Nachbarteam sie änderte, ohne die (katastrophalen) Folgen für die anderen zu bedenken.

Besonders lehrreich war das Terminsetzen, das den Schülern erst nach einiger Zeit zufriedenstellend gelang. Um Erfahrungen hiezu zu ermöglichen, muß die zur Verfügung stehende Zeit sicher mehr als 1 Semester betragen.

Ein formalisiertes Berichtswesen war im gegebenen Projekt nicht nötig. Es schien überflüssig, künstliche, nicht direkt aus den formulierten Zielen ableitbare Anforderungen zu stellen.

Auch eine exakte Ist-Analyse (wir schätzten nur den Arbeitsaufwand der „händischen“ Organisation vom Vorjahr), ein ausgefeiltes Sollkonzept usw. hätte die Schüler gerade am Projektanfang überfordert.

Ein grobes Formulieren und Festhalten von Zielvorstellungen erscheint jedoch wichtig.

3.4. Gruppenkommunikation und Unterrichtsklima

Die Projektarbeit war getragen von einem produktiven Gruppenklima, das unseres Erachtens nicht durch irgendeinen Druck traditionell-schulischer Provenienz (Noten, formelle Autorität, Konkurrenzsituation usw.) zu erreichen ist. Dieser Druck, so meinen wir, hat schulisches Lernen so rezeptiv gemacht.

Beim Projekt, das ja gerade dadurch definiert ist, daß keine fertige Lösung greifbar ist, war ein Arbeitsklima nötig, das Kreativität, Vertrauen, Fehlversuche sich leisten zu können, und Kooperationsbereitschaft förderte.

Als neue Motivationsfaktoren konnten wirksam werden, daß die Schüler die Aufgabenstellung als unmittelbar sinnvoll und nützlich empfanden und Verantwortung gegenüber den künftigen Nutznießern „ihres“ Systems hatten.

Ein Gruppenklima dieser Art zu pflegen, wird von der traditionellen Lehrerausbildung wenig gefördert; vielleicht ist es der Informatik möglich, aus fachmethodischen Gründen neue Impulse für Lehrertraining in Gesprächsführung und Gruppendynamik zu setzen.

Bereits bei der Wahl des Projektthemas war es wichtig, in einer offenen Gesprächssituation möglichst viele Wünsche und Erwartungen der Schüler zur Sprache zu bringen und ein einvernehmliches Ergebnis zu erzielen. Dieses half der Gruppe wesentlich, den zeitlich langgespannten Motivationsbogen zu überbrücken. Unausgesprochenes oder Manipulation (etwa, wenn der Lehrer „sein“ Thema durchdrücken will) in dieser Phase fördern Unlust und (unbewußte) Sabotage in späteren Phasen; dazu ist in einem Projekt jede Menge Gelegenheit.

Oder als sich die Schüler zu viel vornahmen, die Aufgabenstellung zu schwierig und zu umfangreich wählten (z. B. der maschinell erstellte Raumplan für die Kurse), galt es, ihren Arbeitswillen nicht mit dem überlegenen Urteilsvermögen des Lehrers zu frustrieren, sondern sie selbst später in der Entwurfsphase die entsprechende Erfahrung machen zu lassen. (Allerdings kostet Erfahrung Zeit!)

Gerade für die wesentlichen Punkte war es wichtig, daß der Lehrer Zeit lassen konnte: Etwa bei der funktionellen Spezifikation, deren Diagrammentwürfe anfangs fürchterlich aussahen, schlecht und auch formal falsch waren; die Vereinbarung einer gemeinsamen Form (zwecks Aufgabenteilung) war erst sinnvoll, als alle Teams sagen konnten: Ja, genauso haben wir unseren Vorschlag auch gemeint.

Zur Unterrichtssituation im Projekt allgemein können wir feststellen, daß die Unterrichtsform des Freigegegenstandes, wie ihn der derzeitige „österreichische Weg“ des Informatikunterrichtes an allgemeinbildenden Schulen vorsieht, gute Voraussetzungen bietet: Er wird nur von Schülern besucht, die ihn gewählt haben und daher meist gut motiviert sind, er ist nicht mit der Auslesefunktion (Noten usw.) belastet und kann sich daher ungehindert seinen Bildungsaufgaben widmen.

Schluß:

Der Aufsatz hofft am praktischen Beispiel gezeigt zu haben, welche allgemeinbildenden Aspekte EDV-Projekt-Arbeit aufweist, wie sie im Unterricht durchgeführt und welche Anforderungen gestellt werden können. Das vorgestellte Projekt möge als ein Versuch gelten; zu dieser Unterrichtsform scheinen im Bereich der weiterführenden Schulen wenig Erfahrungen vorzuliegen. Ich meine, daß hier für uns Lehrer noch viel zu überlegen, probieren und zu lernen, für die Fachtheoretiker noch einiges zu forschen ist und glaube, daß die in der didaktisch-methodischen Literatur vorgestellten Projektthemen programmtechnisch zu schwierig sind.

In diesem Bericht ist dem Autor persönlich die Tatsache zu kurz gekommen, daß Projektunterricht viel Spaß machen kann, den Lehrer fordert und ihn nicht an seine Rolle als Besserwisser bindet, daß er nur einige Methoden besser zur Hand hat, was eben nicht ausschließt, daß ein Schüler mit überlegenen Einfällen zur Lösung beiträgt.

LITERATUR:

- (1) H. Schauer, Die Bedeutung eines Informatikunterrichtes für das Österreichische Schulwesen.
- (2) H. Schauer, M. J. Tauber (Hrsg.), Informationstechnologien, S. 407–413, Wien–München 1982.
- (3) E. Lehmann, Projekt „U-Bahn-Auskunftssystem“.
- (4) In: LOG IN Jg. 1/H. 4 S. 44–50 und Jg. 2/H. 1 S. 46–54.
- (5) B. Körber, J. Reker, Projektarbeit im Informatikunterricht.
- (6) In: Haas/Wildenberg (Hrsg.), Informatik für Lehrer. Wien–München 1983.
- (7) W. Neuper (Hrsg.), Salzburger EDV-Konzept.
- (8) M. Vetter, Systematische Entwicklung von Informationssystemen. Gollach 1981.
- (9) J. Weizenbaum, Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft. Frankfurt 1977.

Computerökonomie

Es existieren viele numerisch interessante Fragestellungen in der Zahlentheorie, die wegen ihrer rechnerischen Aufwendigkeit nur mit Hilfe von Rechenautomaten beantwortet werden können, aber doch von untergeordneter Bedeutung sind, so daß der finanzielle Aufwand für den Computereinsatz nicht gerechtfertigt wäre. Moderne Computer sind imstande, in einer Sekunde Millionen Rechenschritte auszuführen. In der Praxis treten aber häufig Intervalle der „Untätigkeit“ der Maschine auf, die oft nur Bruchteile einer Sekunde währen. Diese kleinen Zeitspannen bleiben ungenützt, könnten also für andere Zwecke verwendet werden.

Von solchen Überlegungen ausgehend, beschloß Paul A. Pritchard, Cornell Univ., die Totzeiten für Rechnungen einzusetzen, die – wie oben gesagt – den vollen Maschineneinsatz nicht rechtfertigen würden. Angesichts der hohen Rechengeschwindigkeit summieren sich die Rechnungen während der kurzen Zeitintervalle derart, daß sie das Ausmaß aufwendiger

Rechenprogramme erreichen. Ein an sich nicht besonders drängendes Problem ist die Ermittlung einer möglichst langen Folge von Primzahlen, die selbst eine arithmetische Folge bilden. Im Jahre 1977 war es mit anderen Mitteln als dem der Totzeitnutzung geglückt, eine arithmetische Primzahlfolge von 17 Gliedern anzugeben. Pritchard nahm sich nun vor, den Rekord zu brechen und eine 18gliedrige Folge der beschriebenen Art aufzufinden.

Die Totzeiten, die er für den angegebenen Zweck dem Computer abzwackte, waren i. a. nur Milli- und Mikrosekunden. Das kostete nichts und lohnte sich, wie das Ergebnis zeigt.

Der Grundgedanke des Programms war, daß in einer n-gliedrigen arithmetischen Folge von Primzahlen die Differenz d sukzessiver Glieder durch alle Primzahlen teilbar sein muß, die kleiner oder gleich n sind. (Die einzige Ausnahme tritt ein, wenn das erste Glied der Folge n ist.) Im gegenständlichen Fall $n = 18$ müssen die Zahlen 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17 Teiler von d sein. Um aber eventuell eine längere Folge zu erhalten, nahm Pritchard die Teilbarkeit von d durch 19 hinzu. d mußte also durch das Produkt

$$2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 19 = 9\,699\,690$$

teilbar sein. Ausgehend von einer geeignet erscheinenden Primzahl p_1 berechnete die Maschine die Summen $p_1 + k \cdot d$, $k \leq 19$, prüfte die so gewonnenen Glieder auf ihren Primzahlscharakter und ging zu einer anderen Primzahl p_1 über, falls sie auf eine zusammengesetzte Zahl stieß. Das wurde so lange wiederholt, bis die erstrebte Folge erschien.

Das Ergebnis: $d = 9\,922\,782\,870$,

$$\begin{aligned} p_1 &= 107\,928\,278\,317, \\ p_2 &= 117\,851\,061\,187, \\ p_3 &= 127\,773\,844\,057, \\ p_4 &= 137\,696\,626\,927, \\ p_5 &= 147\,619\,409\,797, \\ p_6 &= 157\,542\,192\,667, \\ p_7 &= 167\,464\,975\,537, \\ p_8 &= 177\,387\,758\,407, \\ p_9 &= 187\,310\,541\,277, \\ p_{10} &= 197\,233\,324\,147, \\ p_{11} &= 207\,156\,107\,017, \\ p_{12} &= 217\,078\,889\,887, \\ p_{13} &= 227\,001\,672\,757, \\ p_{14} &= 236\,924\,455\,627, \\ p_{15} &= 246\,847\,238\,497, \\ p_{16} &= 256\,770\,021\,367, \\ p_{17} &= 266\,692\,804\,237, \\ p_{18} &= 276\,615\,587\,107. \end{aligned}$$

Pritchard benützte zwei nicht allzu schnell arbeitende Computer, die in 24 Stunden pro Tag mit der Verarbeitung von Wörtern beschäftigt waren. Die Nutzung der Totzeiten erbrachte 10 Stunden (!) pro Tag für das Primzahlproblem. Der zweite Computer arbeitet weiter in der Erwartung, noch andere 18gliedrige, ja vielleicht sogar eine 19gliedrige Primzahlfolge zu entdecken. Die zweite Maschine läuft schon Tausende Stunden lang.

LITERATUR:

Scient. Am., Mai 1983, S. 74, Prime Time.

Computer ebnen der Statistik neue Wege

Das Ohmsche Gesetz statuiert die Proportionalität von Spannung U und Stromstärke I : $U = R \cdot I$. Um den Widerstand R eines konkreten Gerätes zu bestimmen, könnte man einige, etwa $n = 20$, Messungen vornehmen, die Punkte $P_k (I_k, U_k)$ in ein kartesisches I-U-Koordinatensystem eintragen und für jeden Punkt den Widerstand $R_k = U_k / I_k$ berechnen. Infolge subjektiver und apparativer Fehler sind die R_k i. a. voneinander verschieden, so daß sich die Frage nach dem wahrscheinlichsten R -Wert stellt. Die von Gauß geschaffene Methode der kleinsten

Fehlerquadrate führt zum Ziel. Die Summe $S = \sum_{k=1}^{20} (R - R_k)^2$ soll ein Minimum werden. Aus $dS/dR = 0$ folgt $R = (1/20) \sum_{k=1}^{20} R_k$.

Die Addition von 20 Zahlen ist sogar ohne Taschenrechner leicht durchführbar, bei sehr großer Meßzahl ist der Rechner zeitsparend und weniger fehleranfällig, also eine nur schlecht entbehrliche Rechenhilfe.

Ein anderes Beispiel lehrt, daß mit nichtprogrammierbaren Computern die Rechnung kaum oder überhaupt nicht das Auslangen gefunden werden kann. Zwischen den Größen x , y möge die quadratische Beziehung $y = a \cdot x^2$ bestehen. Um ein

Gerät zu eichen, das nach Eingabe von x die Größe y ausgibt, werden wieder Messungen vorgenommen. Der zugelassene x -Bereich sei aber so ausgedehnt, daß ab erst nach Hunderten oder Tausenden Messungen verläßlich zu berechnen ist. Die Punkte $P_k(x_k, y_k)$ werden ins x - y -System eingetragen, und nun ist die **Ausgleichsparabel** mit der Gleichung $y = a \cdot x^2$ zu ermitteln, der sich die Meßpunkte am besten anpassen. Man erhält

$$S = \sum_{k=1}^n (y - y_k)^2 = \sum_{k=1}^n (a \cdot x_k^2 - y_k)^2 \rightarrow \text{Min.},$$

$$dS/da = \sum_{k=1}^n 2x_k^2(a \cdot x_k^2 - y_k) = 0,$$

$$a = (\sum_{k=1}^n x_k^2 \cdot y_k) / \sum_{k=1}^n x_k^4.$$

Ist $n = 100$, dann wird man wohl nur mit einem Rechenprogramm zum Ziel kommen.

Es existieren jedoch Probleme der Statistik, in der Tausende Datenerhebungen nötig wären, um ein brauchbares Bild über einen Sachverhalt zu gewinnen, die aber unmöglich einzuholen sind, weil das verfügbare Kollektiv zu klein und auch nicht reproduzierbar ist. Ein solcher Fall kann bei der Suche nach Korrelationen zwischen zwei Größenarten auftreten, sobald sich die Erhebungen nur auf einen kleinen Objektkreis beschränken.

Das Ausmaß der gegenseitigen Abhängigkeit zweier Größen x, y wird durch den Korrelationskoeffizienten (KK) r quantitativ beschrieben. r bewegt sich im Intervall $[-1, +1]$. Es bedeuten

- $r = +1$: x, y sind direkt proportional,
- $r = -1$: x, y sind verkehrt proportional,
- $r = 0$: x, y sind voneinander unabhängig.

Trägt man die Punkte $P_k(x_k, y_k)$ ins kartesische x - y -System ein, dann erhält man je nach dem bestehenden Korrelationsgrad Punktmengen mit unterschiedlicher Streuung über Gebiete der Koordinatenebene. In den Fällen $r = +1, r = -1$ liegen die P_k genau auf einer Geraden mit positiver bzw. negativer Steigung (s. Abb. 1a, b). Ist $r = 0$, dann erfüllen die Punkte ein rechteckiges Gebiet mit nur statistisch schwankender Dichte (Abb. 1c). Liegt der KK zwischen -1 und $+1$ (0 ausgeschlossen), dann sind die Punkte desto stärker in der Umgebung einer der beiden genannten Geraden verstreut, je kleiner $1 - |r|$ ist (Abb. 1d).

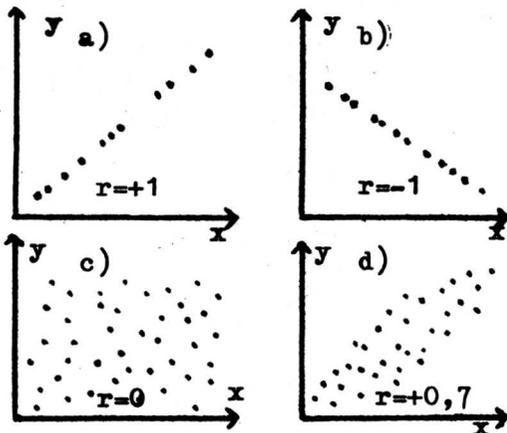


Abb. 1

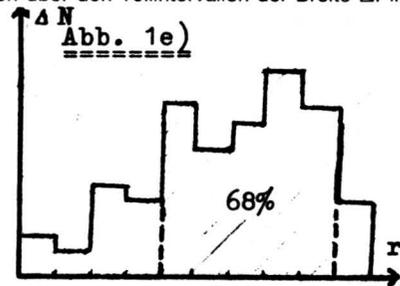
Damit r möglichst verläßlich ausfällt, bemüht man sich, recht viele Diagramme herzustellen. Leider geht das nicht immer. Zur Illustration wieder ein Beispiel. Nehmen wir an, in einem Staat bestehen 12 technische Schulen. Die Zulassung zur Schule sei an die Note bei der Aufnahmeprüfung gebunden. Im vierten Schuljahr beendet die Abschlußprüfung das Studium. Die Wertung erfolgt nach einem Punktesystem.

Man will nun die Korrelation zwischen der „Güte“ eines neu-eingetretenen Jahrgangs und seinem Erfolg nach vier Jahren herausfinden. Als „Eintrittsgüte“ x des Jahrgangs sei der über alle Bewerber für die erste Klasse gemittelte Notenwert bei der Aufnahmeprüfung, als „Erfolg“ y des Jahrgangs die über alle Schüler gemittelte Punktezahl bei der am Studienschluß abgelegten Prüfung definiert. Jeder Klasse, die im Testjahr einer der 12 Schulen begonnen hat, entspricht ein Punkt $P_k(x_k, y_k)$ im Diagramm, d. h., das Diagramm enthält 12 Punkte. Das ist viel zu wenig, um einen einigermaßen brauchbaren KK zu ermitteln. Da man aber weder Klassen noch Schulen herzaubern

kann und nur ein Jahrgang zur Verfügung steht, weil der KK möglichst bald den Betreibern mitgeteilt werden soll, scheint die Situation ziemlich ausweglos, will man sich nicht mit Hausnummern zufriedengeben. Natürlich läßt sich aus den 12 Diagrammpunkten ein KK r berechnen, aber er besitzt wenig Wert. Man könnte sich natürlich in gleicher Weise analoge Diagramme mit je 12 Punkten und den daraus hervorgehenden KK verschaffen, indem man Jahrgang für Jahrgang dasselbe wiederholt. Allerdings würde es 14 Jahre dauern, bis schäbige 10 Diagramme vorhanden sind, denn zwischen Aufnahme- und Abschlußprüfung liegen bei jedem Jahrgang vier Jahre. Dieser Ausweg ist somit nicht gangbar, es sei denn, die r -Werte lägen ganz nahe beisammen und man ignoriert die 14jährige Beobachtungszeit.

B. Efron erdachte im Jahre 1977 einen Weg, die Schwierigkeiten zu umgehen. Er beschritt ihn erfolgreich zusammen mit **P. Diaconis**. Das wurde aber erst durch das Vorhandensein von leistungsfähigen Computern möglich, vor ein paar Jahrzehnten hätte die Idee keine Verwirklichung finden können, der numerische Rechen- und Schreibaufwand wäre nicht im entferntesten zu bewältigen gewesen. Die Methode läßt sich etwa so beschreiben:

Der Computer fertigt eine große Anzahl, vielleicht 10^6 oder mehr Kopien des Ergebnisses (x, y) der ersten Schule an und speichert sie. Danach besorgt er dasselbe für die zweite Schule usw., bis auch der Punkt (x_{12}, y_{12}) der letzten Schule 10^6 mal gespeichert ist. Die nun vorhandenen $12 \cdot 10^6$ Daten werden wie Spielkarten gründlich durchgemischt und danach der Mischung eine große Anzahl, sagen wir 1000 Gruppen von je 12 Punkten, mit einem Zufallsgenerator entnommen. Der Automat berechnet als nächstes den r -Wert jedes der tausend ausgewählten 12-Punkte-Diagramme und druckt das Histogramm der so entstandenen r -Verteilung aus (Abb. 1e). Abszisse ist der KK r , Ordinate die Anzahl ΔN der r -Werte, die in den einzelnen vertikalen Streifen über den Teilintervallen der Breite Δr liegen. Zu



diesem Zwecke wurde die Abszissenachse in kleine Teilintervalle (etwa mit der Breite $\Delta r = 0,01$) zerlegt. Aus der Fläche zwischen r -Achse und oberer, stufenförmiger Histogrammbegrenzung wird zu beiden Seiten der dichtesten Konzentration von r -Werten ein – beiderseits vertikal begrenztes – Gebiet betrachtet, dessen Flächeninhalt 68% der Gesamtfläche zwischen Stufenlinie und r -Achse beträgt. Die begrenzenden Abszissen r_1, r_2 stellen den Spielraum dar, in dem der wahre, aber unbekannte r -Wert mit 68% Wahrscheinlichkeit liegt. Wäre beispielsweise $r_1 = 0,553, r_2 = 0,886$ herausgekommen, dann wäre die Korrelation nicht gerade hoch, aber sicher von Null verschieden, also vorhanden.

Man darf aber nie vergessen, daß es sich immer um Wahrscheinlichkeitsaussagen handelt, daß also auch unbrauchbare Ergebnisse auftreten können! Je größer das verwendete Kollektiv ist, desto seltener sind solche Fehlanzeigen zu erwarten.

Die angedeuteten Bearbeitungsschritte werden natürlich elektronisch vollzogen. Vom praktischen Ausdrucken von Millionen Einzeldiagrammen u. ä. kann keine Rede sein. Realistischer ist es, wenn man sich den Vorgang wie folgt ausgeführt denkt:

Die 12 Schulen werden mit den Nummern 1 bis 12 versehen. Ein Speicher enthält die Zahlen 1 bis 12. Ein Zufallsgenerator ruft 12 dieser Zahlen nach der Methode „Entnahme mit Zurücklegen“ ab unter denen eine Zahl auch mehrfach abgerufen werden kann. Den „gezogenen“ Nummern entsprechen 12 Punkte eines Diagramms, nämlich die 12 KK der Schulen, deren Nummern gezogen wurden. (Es kann sogar vorkommen, daß ein und derselbe Punkt 12mal vorkommt, aber das ist in höchstem Maße unwahrscheinlich, es ist unter $7,4 \cdot 10^{11}$ Fällen nur einmal zu erwarten.)

Wird das 1000mal wiederholt, so verfügt man danach über 1000 i. a. verschiedene Diagramme, obwohl anfangs nur ein einziges vorhanden war, nämlich jenes, dem die realen Daten aus den 12 Schulen zugrundegelegt waren. Dennoch sind die 1000 Diagramme zum Gewinnen der Korrelation zwischen den

Größen x , y im (obigen Sinne) geeignet, als wären sie alle an 12 000 realen Schulen erhoben worden. Das Verfahren erhielt in den USA den Namen **bootstrap-Methode**, weil es an die Münchhausen-Lüge erinnert, nach der er sich am eigenen Schopf (es könnten ebensoviele die Schlaufen an seinen Schuhen gewesen sein, die das Schuhandziehen erleichtern) aus dem Sumpf gezogen hat.

Das neue Verfahren wurde natürlich an Fällen überprüft, in denen – nicht wie bei den speziellen Schulen – ein umfangreiches Kollektiv existiert, so daß der Vergleich a) des Ergebnisses der bei ihm anwendbaren üblichen statistischen Methode mit dem b) anhand eines kleinen Teils der Menge an vorhandenen realen Daten gewonnenen bootstrap-Ergebnis möglich war. Die Vergleiche bestätigten rein empirisch die Anwendbarkeit des bootstrap-Verfahrens. So wurden von 82 US-Schulen 15 ausgewählt und an ihnen die neue Methode erprobt. Danach lag der KK mit 68% Wahrscheinlichkeit im Intervall $0,606 \leq r \leq 0,876$. Bei Einsatz sämtlicher Daten aus den 82 Schulen erhielt man als wahrscheinlichsten Wert $r = 0,776$, was die Leistungsfähigkeit des bootstrap-Verfahrens gut bestätigt.

Die Zulässigkeit des neuen Verfahrens wurde auch theoretisch von R. L. Beran, P. J. Bickel, D. A. Freedman (alle Univ. of Calif., Berkeley), von K. Singh (Rutgers Univ.) und von P. Diaconis, B. Efron (Stanford Univ.) bewiesen. Danach stimmen die Intervalle $[r_1, r_2]$, gleich, ob nach Methode a) oder b) berechnet, mit nur geringfügigen Abweichungen überein.

Der neue Weg ist aber auch zeitsparend und billig. Heute berechnet ein Computer von mittlerer Leistungsfähigkeit ein einziges 12-Punkte-Diagramm des oben besprochenen Schulbeispiels in zirka 100 ns, für das gesamte bootstrap-Programm braucht er nicht einmal eine Sekunde! Die Kosten betragen weniger als 1 Dollar, obwohl an die 100 000 numerische Einzelrechnungen auszuführen sind. Das ist doch bemerkenswert!

Die bootstrap-Methode ist vielseitig anwendbar, vor allem auch dann, wenn die Wahrscheinlichkeitsverteilung des zu untersuchenden Kollektivs keine Gaußsche Normalverteilung oder gar unbekannt ist. So ermittelte man die Korrelation zwischen den Notenstreuungen bei schriftlichen Prüfungen, je nachdem die Kandidaten Unterlagen a) benutzen, b) nicht benutzen durften. Das ist sicher von pädagogischem Interesse. Auch aus den medizinischen Daten einer geringen Anzahl von Patienten, die an einer bestimmten Krankheit leiden, wurden die Korrelationen zwischen bestimmten Daten und der Lebenserwartung des Kranken ermittelt.

Soweit nur ein paar Beispiele zum Thema.

LITERATUR:
Scient. Am., Mai 1983, S. 96, P. Diaconis, B. Efron, Computer-Intensive Methods in Statistics.

Erweiterung eines Satzes von van der Waerden

Der 23jährige Mathematiker **van der Waerden**, dessen Werk über Algebra weltweite Verbreitung fand, hat den folgenden Satz bewiesen:

Ist $N = N_1 \cup N_2$ irgendeine Zerlegung der Menge N der natürlichen Zahlen in zwei disjunkte nichtleere Teilmengen N_1, N_2 , dann enthält mindestens eine von ihnen arithmetische Folgen beliebiger Länge.

Der ungarische Mathematiker **Paul Erdős** vermutete die Richtigkeit eines mit dem angeführten Satz zusammenhängenden Theorems und setzte für den Erbringer des Beweises seiner Vermutung *privat* einen Preis in der Höhe von 1000 Dollar aus. Ausgerechnet am 60. Geburtstag des 1913 geborenen Erdős wurde er zur Kasse gebeten. **E. Szemerédi** war der Nachweis im Jahre 1973 gelungen.

Zwei Jahre später erfuhr der israelische in Jerusalem tätige Mathematiker **Hillel Furstenberg** von der Problematik und begann sich daraufhin mit dem Fragenkomplex eingehend zu beschäftigen. Das Bemühen war nicht vergeblich, schon vier Monate später war er in der Lage, den Erdős-Beweis durch einen bedeutend eleganteren und durchsichtigeren zu ersetzen. Seine Leistung fand in Form eines ihm eigens zugesprochenen Preises die verdiente Anerkennung.

Zur Formulierung der erweiterten Fassung der bewiesenen Erdős-Vermutung wird der Begriff **positive obere Dichte** eingeführt.

Seien p_n, q_n die relativen Häufigkeiten der Elemente von N_1 bzw. N_2 im Abschnitt $\{1, 2, 3, \dots, n\}$ der Folge der natürlichen Zahlen, also $p_n + q_n = 1$. Danach gelten entweder

$1/2 \leq p_n \leq 1$ oder $q_n \leq 1/2 \leq 1$. Existiert nun eine reelle Zahl ϵ mit $0 < \epsilon < 1$, so daß unendlich viele Zahlen n die Ungleichung $p_n \geq \epsilon$ erfüllen, dann sagt man, N_1 hat **positive obere Dichte**.

Der gegenständliche Satz lautet nunmehr: Jede Teilmenge von N mit positiver oberer Dichte enthält arithmetische Folgen mit beliebiger Gliederanzahl n .

Am Schluß fügen wir noch einige andere Ergebnisse der mathematischen Forschung an, die in den letzten Jahrzehnten erarbeitet wurden.

1. Die Lösung des **Vier-Farben-Problems** durch Appel, Haken, Koch.

2. Der Beweis, daß **jede Gruppe mit ungerader Ordnung auflösbar** ist, d. h., daß ihre Indexfolge aus lauter Primzahlen besteht und damit jede Gleichung, die eine solche Galoissche Gruppe besitzt, durch Radikale auflösbar ist.

3. Das Klassifikationsproblem der **Knoten** (doppelpunktfreie geschlossene Raumkurven werden als Knoten bezeichnet) wurde im Jahre 1970 von J. H. Conway bis zu Knoten mit 11 Überkreuzungen gelöst.

4. Stephan Smale erdachte im Jahre 1959 ein Verfahren, mit dessen Hilfe die **Innenseite einer Kugelfläche** ohne Zerreißen oder Gratbildung durch stetige Verformung **zur Außenseite** gemacht werden kann. Zugelassen sind allerdings Selbstdurchdringungen (die bei Riemannschen Flächen komplexer analytischer Funktionen auftreten), ohne sie ist das Umstülpen nicht möglich.

5. Die Klarstellung über das Kontinuumproblem der Mengenlehre. Je nach den zugrunde gelegten Axiomen kann die Kontinuum-Hypothese gelten oder nicht gelten. (Analogie zur nichteuklidischen Geometrie!)

LITERATUR:
Die Naturwiss., Jänner 1982, S. 21, K. Jacobs, Neuere Ergebnisse der Mathematik.

Interessantes aus der Gruppentheorie

Vor dem Eingehen auf das im Titel angekündigte Thema ist es wohl nötig, mit einigen Worten zu dieser Themenwahl Stellung zu nehmen. Gruppen sind doch ein echtes Reservat für das, was als Höhere Mathematik angesprochen und im Unterricht an den Höheren Schulen nur am Rande berührt wird. Beim Durchlesen des Beitrages wird aber – so hoffe ich – klarwerden, daß man in Supplimenten oder in Form kurzen Extemporierens einige Splitter aus dem Artikel in mathematisch anspruchsvoller, interessant formulierter Form bekanntgeben kann, damit der Schüler auch einmal einen Blick in das ungeheure Reich des mathematischen Denkens werfen kann, wahrnehmend, wie weit die Grenzen dieser und ebenso anderer Wissenschaften gespannt sind, ihn erkennen lassend, daß das Maturawissen, möge es noch so vollständig sein, nicht im entferntesten als Summa Scientiae anzusehen ist.

Die Theorie der endlichen Gruppen hat in mancher Hinsicht eine gewisse Ähnlichkeit mit der Zahlentheorie, weil der Aufbau der endlichen Gruppen aus **einfachen** Gruppen (einfach im Sinne des Fehlens nichttrivialer Normalteiler) an das Zusammensetzen natürlicher Zahlen aus den Primteilern erinnert. (Alle Gruppen von Primzahlordnung sind einfach, sie sind die einzigen kommutativen zyklischen einfachen Gruppen.)

Man weiß, daß fast alle endlichen Gruppen zu 18 Familien zusammengefaßt werden können, deren jede unendlich viele Gruppen enthält. Diese Familien eignen sich gut für die Klassifikation der endlichen Gruppen, weil man Verfahren kennt, die es erlauben, jede einzelne Gruppe einer Familie zu konstruieren. Eine solche Familie haben wir schon angedeutet, nämlich die Familie der Gruppen von Primzahlordnung.

Die alternierenden Gruppen A_n , $n > 4$, bilden eine andere Familie dieser Art. A_n enthält sämtliche $n!/2$ geraden Permutationen von n Objekten. Nur A_3, A_4 sind nicht einfach, A_2 ist auf die einzige gerade Permutation ($\frac{1}{2}$) beschränkt. (Die identische Permutation ist eine gerade, weil sie durch null Transpositionen zustande kommt.)

Die Ordnung einer Gruppe ist die Anzahl ihrer Glieder. Die Folge E der nach der Größe geordneten Ordnungen der 15 „kleinsten“ nicht-zyklischen einfachen Gruppen ist

$E = \langle 60, 168, 360, 504, 660, 1092, 2448, 2520, 3420, 4080, 5616, 6048, 6072, 7800, 7920, \dots \rangle$.

Zählt man die einfachen zyklischen Gruppen hinzu, dann sind die Zahl 1 sowie alle Primzahlen an der passenden Stelle der Folge E einzubeziehen.

Die Klassifikation der Familien wird dadurch erschwert, daß in der Folge E Ordnungen gefunden wurden, deren Gruppen keiner Familie angehören. Das sind die sogenannten **sporadischen einfachen Gruppen**. Die Ordnung der elementärmsten sporadischen Gruppe beträgt 7920, die letzte oben in E angeordnete Ordnung. Gäbe es unendlich viele sporadische Gruppen, dann wären alle Klassifikationsbemühungen vergeblich. Glücklicherweise bestehen aber ernstzunehmende Gründe, daß die bisher aufgefundenen 26 sporadischen Gruppen bereits sämtliche Gebilde dieser Art sind. Man hofft sogar*), dies in nicht allzu ferner Zeit beweisen zu können. Das Entdecken sporadischer Gruppen ist wegen ihres überaus komplizierten Baues eine schwierige Aufgabe.

Die ersten fünf sporadischen Gruppen fand É. L. Mathieu in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts. Es sind dies in der am Schluß des Artikels beigefügten Tabelle die mit M_{11} , M_{12} , M_{22} , M_{23} , M_{24} bezeichneten Gruppen. (Die Indizes geben die Anzahl der permutierten Objekte an.) Die Tabelle enthält Symbol, Ordnung und Entdeckernamen der Gruppen.

J_1 wurde als sechste sporadische Gruppe erst mehr als 100 Jahre später, nämlich im Jahre 1965, von Z. Janko, Univ. Heidelberg, entdeckt. Sie umfaßt 175 560 Elemente. Die übrigen 20 sporadischen Gruppen wurden danach in kurzen Zeitabständen identifiziert. 1968 fand J. H. Conway, Univ. of Cambridge, gleich drei sporadische Gruppen, und so ging es weiter. Conway benutzte das vom britischen Mathematiker J. Leech behandelte Gitter der Mittelpunkte der Einheits-Hypersphären, die in einem 24-dimensionalen Raum möglichst dicht gelagert sind. Jede der Hypersphären berührt 196 560 benachbarte Hypersphären!

Daß solche Forschungen nicht Tätigkeiten im Wolkenkuckuckshaus sind, führt die folgende Tatsache deutlich vor Augen. M_{23} und M_{24} stehen in enger Beziehung zu Verfahren, die man zur Korrektur von Fehlern beim Ver- und Entschlüsseln chiffrierter Nachrichten anwendet. Wer würde es für möglich

halten, daß sich fehlertilgende Codes auf Teilmengen von Hypersphärenpackungen in mehrdimensionalen Räumen stützen, wenn die Elemente der Teilmengen möglichst distanzplaziert sind?

Anfang 1980 waren schon 24 sporadische Gruppen identifiziert und als solche ausgewiesen. Von J_4 und F_1 wußte man das noch nicht genau, hielt sie aber als sporadisch. J_4 konstruierten für fünf Cambridge-Mathematiker (D. Benson, J. Conway, S. P. Norton, R. Parker, J. Thackray) aus einem Paar von binär geschriebenen 112×112 Matrizen im Februar 1980. Man erschauere: J_4 hat

86 775 571 046 077 562 880, d. s. **fast 10^{20} Elemente!**

Die Konstruktion von F_1 , wegen ihres Umfangs „das Monster“ genannt, gelang Griebß an der Univ. Bielefeld schon ein Monat früher, nämlich im Jänner 1980. Im Vergleich zu F_1 erscheint J_4 nur als blasser Schatten, denn die **Ordnung von F_1** beträgt **etwa 10^{54}** , genau sind es 808 017 424 794 512 875 886 459 904 961 710 757 005 754 368 000 000 000 Elemente!

Zu allem Überfluß benötigte Griebß keine Computerhilfe. Er ging von einer Gruppe von Drehungen im **Raum von 196 883 Dimensionen (!)** aus.

Der Beweis für die Vollständigkeit des Systems der derzeit bekannten 26 sporadischen Gruppen steht noch aus (siehe Fußnote auf S. 29). Falls er gelingt, könnte er die Rekordlänge von vielleicht 10 000 Druckseiten haben. (Der Beweis des Satzes, daß nichtkommutative endliche einfache Gruppen stets gerade Ordnung aufweisen, erforderte 250 Seiten zum Abdruck!)

Der geistige Aufwand zur Bewältigung des Klassifikationsproblems für endliche Gruppen mag aus der Bemerkung des damit befaßten Mathematikers Gorenstein aus dem Jahre 1977 hervorgehen. Er bekannte, seit dem Jahre 1959 tagein, tagaus,

Tabelle der sporadischen einfachen Gruppen

Gruppen-symbol	Zahl der Elemente = Gruppenordnung	Entdecker
M_{11}	$2^4 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 11 = 7920$	Mathieu
M_{12}	$2^6 \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 11 = 95\ 040$	
M_{22}	$2^7 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 = 443\ 520$	
M_{23}	$2^7 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23 = 10\ 200\ 960$	
M_{24}	$2^{10} \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23 = 244\ 823\ 040$	
J_1	$2^3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 19 = 175\ 560$	Janko
J_2	$2^7 \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 6 = 604\ 800$	Hall, Wales
J_3	$2^7 \cdot 3^5 \cdot 5 \cdot 17 \cdot 19 = 50\ 232\ 960$	Higman, McKay
J_4	$2^{21} \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11^3 \cdot 23 \cdot 29 \cdot 31 \cdot 37 \cdot 43 = 86\ 775\ 571\ 046\ 077\ 562\ 880$	Benson, Conway, Janko, Norton, Parker, Thackray
HS	$2^9 \cdot 3^2 \cdot 5^3 \cdot 7 \cdot 11 = 44\ 352\ 000$	Higman, Sims
MC	$2^7 \cdot 3^6 \cdot 5^3 \cdot 7 \cdot 11 = 898\ 128\ 000$	McLaughlin
SZ	$2^{13} \cdot 3^7 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 = 448\ 345\ 497\ 600$	Suzuki
C_1	$2^{21} \cdot 3^9 \cdot 5^4 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 23 = 415\ 777\ 680\ 654\ 336$	Conway
C_2	$2^{18} \cdot 3^6 \cdot 5^3 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23 = 42\ 305\ 421\ 312\ 000$	
C_3	$2^{10} \cdot 3^7 \cdot 5^3 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23 = 495\ 766\ 656\ 000$	
He	$2^{10} \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7^3 \cdot 17 = 4\ 030\ 387\ 200$	Held, Higman, McKay
F_{22}	$2^{17} \cdot 3^9 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 = 64\ 561\ 751\ 654\ 400$	Fischer
F_{23}	$2^{18} \cdot 3^{13} \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 23 = 16\ 357\ 881\ 898\ 273\ 852\ 800$	
F_{24}	$2^{21} \cdot 3^{16} \cdot 5^2 \cdot 7^3 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 23 \cdot 29 = 1\ 255\ 205\ 709\ 190\ 661\ 721\ 292\ 800$	
Ly	$2^8 \cdot 3^7 \cdot 5^6 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 31 \cdot 37 \cdot 67 = 51\ 765\ 179\ 004\ 000\ 000$	Lyons, Sims
O	$2^9 \cdot 3^4 \cdot 5 \cdot 7^3 \cdot 11 \cdot 19 \cdot 31 = 460\ 815\ 505\ 920$	O'Nan, Sims
R	$2^{14} \cdot 3^3 \cdot 5^3 \cdot 7 \cdot 13 \cdot 29 = 145\ 926\ 144\ 000$	Conway, Rudvalis, Wales
F_5	$2^{14} \cdot 3^6 \cdot 5^6 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 19 = 273\ 030\ 912\ 000\ 000$	Conway, Fischer, Harada, Norton, Smith
F_3	$2^{15} \cdot 3^{10} \cdot 5^3 \cdot 7^2 \cdot 13 \cdot 19 \cdot 31 = 90\ 745\ 943\ 887\ 872\ 000$	Smith, Thompson
F_2	$2^{41} \cdot 3^{13} \cdot 5^6 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 23 \cdot 31 \cdot 47 \approx 4 \cdot 10^{33}$	Fischer, Leon, Sims
F_1	$2^{46} \cdot 3^{20} \cdot 5^9 \cdot 7^6 \cdot 11^2 \cdot 13^3 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 23 \cdot 29 \cdot 31 \cdot 41 \cdot 47 \cdot 59 \cdot 71 \approx 10^{54}$	Fischer, Griebß

Die Tabelle ist mit kleinen Ergänzungen dem unten angeführten Artikel in der Zeitschrift Scientific American entnommen.

*) Inzwischen wurde ein Beweis publiziert und auch einmal überprüft. Trotzdem sind weitere Bestätigungen abzuwarten.

an Sonn- und Wochentagen, ohne Unterbrechungen ständig fünf Stunden lang pro Tag mit dem Problem beschäftigt gewesen zu sein. (Diese und die voranstehend genannten Tatsachen sind gut geeignet, den Schülern, ohne Unterrichtszeit zu verlieren oder mathematisch ausführlich werden zu müssen, die Intensität von Forschungsarbeiten an konkreten Fällen vorzuführen und ihnen zu zeigen, daß die Götter vor den Erfolg und den Ruhm den Schweiß gesetzt haben.)

Eine Merkwürdigkeit, die bei F, auffiel, ist noch erwähnenswert. Wie schon gesagt, stellte Grieb F, aus linearen Transformationen im 196 883-dimensionalen Raum her. In der Funktionstheorie wird die **Modulfunktion**

$$J(q) = \frac{(1 + 240q + \dots)^3}{q \cdot \prod_{n=1}^{\infty} (1 - q^n)^{24}}, \quad q = e^{2\pi i \tau}$$

im Anschluß an die doppelperiodischen Funktionen eingeführt. Die ersten vier Glieder der Potenzreihenentwicklung von J (q) schreiben wir an

$$J(q) = (1/q) + 744 + 196\,884 \cdot q + 21\,493\,760 \cdot q^2 + \dots$$

und sehen mit Erstaunen, daß der Koeffizient des Lineargliedes 196 884, also um 1 größer als die Dimensionszahl des von Grieb benutzten Raumes ist. Das könnte ein ganz ungewöhnlicher Zufall, aber auch das Anzeichen eines inneren Zusammenhanges der beiden Problemkreise sein. Die Frage ist natürlich Gegenstand laufender Untersuchungen.

Noch etwas: Der Koeffizient a_m von q^m in der Reihenentwicklung des Nenners $q \cdot \prod_{n=1}^{\infty} (1 - q^n)^{24}$ hängt vom Exponenten m ab. Man kann mit mäßigem Rechenaufwand die Abschätzung

$$a_p \leq p^6$$

beweisen, die für die Primzahlenexponenten $m = p$ gültig ist. Es gelang sogar, sie durch die schärfere

$$a_p \leq p^{5,5}$$

zu ersetzen.

Zur Geschichte des Vierfarbenproblems

Das Sprichwort, nach dem ein Kind Fragen stellen könnte, die zehn Weise nicht zu beantworten vermögen, bewahrheitete sich – mutatis mutandis – schon mehrmals in der Mathematik. Einfache, für jedermann verständliche Probleme bedurften des Nachdenkens von Generationen hervorragender Mathematiker, ehe sie gelöst waren. Bei manchen steht die Antwort noch heute aus (z. B. die Goldbachsche Vermutung, es wäre jede gerade natürliche Zahl als Summe zweier Primzahlen darstellbar).

Eine Frage, die sogar ein Analphabet versteht, betrifft die Färbung der Länder auf einer Landkarte. Sie hatte, soviel man weiß, zum ersten Male **Francis Guthrie** im Jahre 1852 in einem Brief an seinen Bruder **Frederick** aufgeworfen. Beide Mathematiker waren Schüler von **de Morgan**. Frederick, der noch studierte, wandte sich um Auskunft an de Morgan, der aber auch um die Antwort verlegen war. Trotz intensiven Bemühens dauerte es bis zum Jahre 1976, ehe **Kenneth Appel** und **Wolfgang Haken** die richtige Lösung fanden. Die Art, wie dies geschah, nämlich durch intensiven Einsatz leistungsfähiger Computer, läßt verstehen, weshalb die Bewältigung ohne Rechenautomaten aussichtslos sein dürfte. (Man darf trotzdem nicht ausschließen, daß eines Tages vielleicht ein sehr viel kürzerer, des Computers entratender Lösungsweg entdeckt werden könnte.)

Das Problem: Reichen vier Farben aus, um in einer ebenen Landkarte die abgebildeten Länder so zu färben, daß längs gemeinsamer Grenzlinien zusammenstoßende Staaten stets verschieden gefärbt erscheinen?

Vorausgesetzt wird plausiblerweise, daß

a) kein Land ganz im Inneren eines anderen Landes liegt;

b) jedes Land ein zusammenhängendes Gebiet ist;

c) die Bilder von Ländern, die nur einen Punkt gemeinsam haben (s. Abb. 1a), sehr wohl gleich gefärbt werden dürfen.

Es ist leicht einzusehen, daß man nicht immer mit nur drei Farben das Auslangen finden kann (s. Abb. 1b).

De Morgan tat den ersten Schritt vorwärts, indem er bewies, daß keine Anordnung von fünf Ländern existiert, in der ein Land an jedes der vier anderen in obigem Sinn grenzt. Das ließ ihn vermuten, man käme in allen Fällen mit vier Farben aus. Seine Ableitung genügte nicht zur Bestätigung des Theorems. Sie glückte erst mehr als 100 Jahre später.

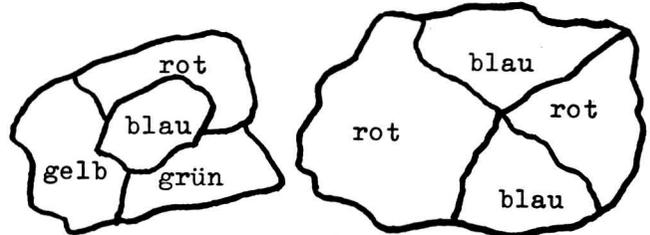


Abb. 1a

Abb. 1b

Kein Geringerer als **Arthur Cayley**, außerstande, den fehlenden Beweis zu finden, legte das Problem im Jahre 1878 der Londoner Math. Ges. vor. Knapp ein Jahr später, also 1879, publizierte **Alfred Bray Kempe** eine Arbeit, mit der er den Beweis erbracht zu haben glaubte. Zwar enthielt seine Arbeit etliche wichtige Grundideen, doch entdeckte man eine Beweislücke, die zunächst nicht geschlossen werden konnte.

Kempe wählte die **indirekte Methode** (reductio ad absurdum), d. h., er versuchte, aus der Annahme, fünf Farben wären nötig, einen Widerspruch herzuleiten. Er schuf den Begriff „normale Karte“, d. i. eine Länderzuordnung, bei der in **einem Punkt höchstens drei Staaten** zusammenstoßen. Dann bewies Kempe völlig korrekt, daß es genügt, das Dreifarbenproblem für normale Karten zu beweisen. Die Richtigkeit des Theorems ist dann für beliebige nichtnormale Karten erwiesen. Kempe schloß weiter: Falls 5färbige normale Karten existieren, dann auch solche mit möglichst wenigen Ländern, sogenannte **minimale normale 5-Farben-Karten (= mn5FK)**. Falls 4 Farben stets genügen, dann sollte die Annahme der Existenz einer mn5FK zu einem Widerspruch führen. Der Widerspruch sollte folgendermaßen entstehen: Kempe bewies zunächst, daß jede normale 5-Farben-Karte, also auch jede minimale, Länder mit weniger als 6 Nachbarn enthält. Könnte man zeigen, daß zu jeder solchen mn5FK, eine gleichartige mn5FK, anleitbar ist, die eine geringere Länderanzahl als die mit mn5FK, aufweist, dann widerspräche das der mn5FK-Definition, und das Theorem wäre bewiesen. Kempe gelang tatsächlich der Nachweis des Widerspruchs für mn5FK mit Ländern, die 2, 3, oder 4 Nachbarn besitzen, für den Fall von 5 Nachbarn erwies sich seine Schlußkette leider als nicht korrekt.

Die Tatsache der Existenz von Ländern mit weniger als 6 Nachbarn bezeichnet man als **„Unvermeidbarkeit“** (unavoidability). Aus dem Beweis, daß zu jeder mn5FK eine andere mn5FK mit geringerer Länderzahl existiert, ergibt sich die als **„Reduzierbarkeit“** in die Terminologie eingeführte Eigenschaft. Eine Karte ist **reduzibel**, wenn die bloße Untersuchung der Länderanordnung die Aussage erlaubt, daß diese Anordnung **keiner** mn5FK angehören könne.

Anstelle der vier von Kempe als untersuchungsnotwendig betrachteten Konfigurationsarten, in denen 2 oder 3 oder 4 oder 5 Nachbarn auftreten, erwies es sich für die Problemlöser von 1976, Appel und Haken, erforderlich, etwa 1500 Anordnungsarten zu untersuchen und aus jeder von ihnen, ähnlich Kempe, einen Widerspruch herzuleiten.

Im Jahre 1880 wies **P. J. Heawood**, der 60 seiner Lebensjahre dem Problem gewidmet hatte, die Fehlerhaftigkeit des Kempe-Beweises bzgl. der Unmöglichkeit von mn5FK mit Ländern, die 5 Nachbarn haben, nach. Heawood beschäftigte sich auch mit Karten auf einigen nichtabwickelbaren Flächen und konnte obere Schranken für die kleinste Anzahl von Farben angeben, die zur landunterscheidenden Färbung solcher Karten ausreichen. Leider sind diese Argumente nicht auf ebene Karten anwendbar.

1913 stieß **D. Birkhoff** auf reduzierbare Anordnungen mit mehr als 5 Nachbarn eines Landes. **Ph. Francis** bewies mit Hilfe der von Birkhoff entwickelten Gedanken, daß für jede Karte mit weniger als 22 Ländern vier Farben genügen. Die Zahl 22 wurde in der Zeit bis 1955 auf 36 erhöht.

Als **K. Gödel**, Univ. Wien, in den **dreißiger Jahren** unseres Jahrhunderts den Unvollständigkeitssatz entdeckte und auch **A. Church** in dieser Richtung Pionierarbeit verrichtet hatte, regten sich Zweifel, ob das 4-Farben-Problem überhaupt im Sinne einer Wahr-Falsch-Entscheidung gelöst werden könne. Heute wissen wir, daß sehr wohl eine Ja-Entscheidung gesichert ist.

H. Heesch, Mathematiker an der Universität Hannover, beschäftigte sich ab 1936 mit der 4-Farben-Frage. 1956 schätzte er die Anzahl der reduzierbaren Anordnungen, die auf Unvermeid-

lichkeit untersucht werden müßten, um die Kempesche Beweisidee erfolgreich abzuschließen, auf nicht weniger als ungefähr 10 000! Obwohl zu dieser Zeit schon Computer im Einsatz standen, waren sie dennoch nicht in der Lage, diese Vielfalt von Untersuchungen zu bewältigen. Das in einem Maße, daß man es sogar für aussichtslos hielt, mit Computern der Frage beizukommen. Aber die Rechenautomaten nahmen eine derart stürmische Entwicklung, daß sie 20 Jahre später die Aufgabe zu meistern vermochten. Es war bereits Heesch, der in einem Fall ein verwendbares Computerprogramm entwarf, das dann von seinem Schüler **K. Dürre** verallgemeinert wurde. Damit waren Reduzibilitätsnachweise durch Computer prinzipiell ausführbar geworden. Der faktische Einsatz gelang mittels der neuen Hochgeschwindigkeitsautomaten.

Dürres Programme konnten in vielen, aber nicht in allen Fällen eine Anordnung als reduzibel ausweisen. Dann gelang dies jedoch mit anderen Methoden, bei deren Erfindung Heesch sehr produktiv war.

Ein wichtiger Schritt von Heesch war es, jede Karte durch die zu ihr **duale Karte** zu ersetzen. Sie entsteht folgendermaßen: Man markiert in der vorliegenden Karte die Hauptstädte als Punkte und verbindet die benachbarten Ländern zugehörigen Punkte durch gerade Linien. Alles andere wird gestrichen. Die Punkte repräsentieren die einzelnen Länder, die Verbindungslinien entsprechen den Grenzlinien benachbarter Länder.

Die für duale Kartenbilder eingeführten Termini sind:

Fläche (face): Ein von Linien umschlossenes punkt- und linienfreies Gebiet.

Knoten (vertex): Punkt, der ein Land darstellt.

Triangulierung: Im dualen Bild einer normalen Karte (nur solche bedürfen der Untersuchung!) ist jede Fläche ein Dreieck. Das nennt man Triangulation.

Konfiguration: Teil einer Triangulation, in der sämtliche Verbindungslinien der in diesem Teil enthaltenen Knoten auftreten, aber keine anderen Linien.

Knotengrad (degree of vertex): Anzahl der in einem Knoten endenden Linien = Anzahl der Nachbarn des Landes, für das der Knoten steht.

Kreis (circuit): Geschlossener, nicht sich selbst überschneidender Zug von Verbindungslinien (Analogon zu Stromkreis).

Ring einer Konfiguration (ring): Grenzkreis einer Konfiguration.

Während die Arbeit von Heesch über reduzierbare Konfigurationen wichtige Ergebnisse erbracht hatte, die im weiteren Verlauf der Forschung so gut ausgebaut wurden, daß schon **vor 1969** die damit zusammenhängenden Voraussetzungen für den endgültigen 4-Farben-Beweis bereitstanden, blieben die Fortschritte hinsichtlich unvermeidbarer Konfigurationsmengen dahinter zurück. Dennoch schuf Heesch eine Methode, die sich gut bewährte. Sie bestand in der gedanklichen Zuteilung von elektrostatistischen Ladungen an die Knoten des Kartengraphs.

Nach Kempe besitzt jede Triangulation einer m -FK nur Knoten vom Grad $k \geq 5$ (mehr als 4 Nachbarn). Man denkt sich nun jeden Knoten mit der Ladung $q = 6 - k$ belegt. Dann haben in solchen Triangulationen nur die Grad-5-Knoten positive Ladung. Es läßt sich zeigen, daß die gesamte Ladungssumme $Q = \sum q$ stets positiv ausfällt (genauer: stets $Q = 12$ gilt). Denkt man ferner die Ladungen (ohne Änderung ihrer Einzelwerte) irgendwie innerhalb des Knotensystems verschoben, dann bleibt natürlich Q unverändert. Die Anzahl der so erzielten Ladungsverteilungen ist endlich. Also verfügt man über eine endliche Menge ebener Triangulationen, deren jede mindestens einen Knoten vom Grad 5 enthält.

Der Prozeß zielt auf ein Verfahren, welches das Verschiebungsmuster angibt, nach dem jeder positiv geladene Knoten entweder selbst oder zumindest einer seiner Nachbarn einer **reduzierbaren** Konfiguration angehört. Da diese zugleich Mitglied einer Menge **unvermeidbarer** Konfigurationen sein muß, ist ein **Widerspruch** nachgewiesen und damit die Annahme, 5 Farben seien u. U. zur Kartenfärbung erforderlich, ad absurdum geführt!

Es stellte sich bald heraus, daß die Art der Ladungsverteilung verbesserungsfähig ist, insbesondere dank der Arbeiten **Hakens**. Das berechtigte bereits im Jahre **1970** zu Hoffnungen auf die Lösung des 4-Farben-Problems. Die Verwirklichung der Hoffnungen kostete aber noch viel Schweiß! Immer wieder türmten sich neue Schwierigkeiten auf!

Die Anzahl der auszuführenden Prozesse war derart groß, daß dieser Umstand allein die Hoffnungen wieder stark dämpfte. So bestand Grund zur Annahme, daß umfangreiche Konfigurationen mit Ringen von 18 Knoten in jeder unvermeidbaren Menge von reduzierbaren Konfigurationen auftreten müßten.

Selbst die besten Computer schafften solche Aufträge nicht. Sobald nämlich die Knotenzahl um 1 steigt, erhöht sich die Rechenzeit des Computers auf das Vierfache. Ebenso rasch wächst die Anzahl der erforderlichen Speicher. Das von **Dürre** zusammengestellte Programm für eine Konfiguration mit 14-Knoten-Ring beanspruchte 26 Stunden Rechenzeit. Selbst wenn die Rechnung in 25 min ausgeführt werden könnte, müßte der Automat bei 18-Knoten-Ringen $4^4 \cdot 25 \text{ min} \approx 107 \text{ h}$ arbeiten!

Außerdem war nicht abzuschätzen, aus wievielen reduzierbaren Konfigurationen eine unvermeidliche Menge gebildet würde. Klar war nur, daß die Anzahl in die Tausende gehen werde. Braucht man also für einen 18-Knoten-Ring ca. 100 h, dann beliefe sich die Rechenzeit für eine 1000elementige Menge von Konfigurationen an die 274 Jahre. Dazu kommt eine ebenso lange Zeit zur Prüfung des Beweises!

Ungeachtet der Schwierigkeiten haben **Appel** und **Haken** im Jahre **1972** den Fehdehandschuh aufgenommen. Sie konzentrierten ihr Bemühen vorerst auf die Frage, ob man nicht mit kürzeren Ringen das Auslangen finden könne, um die heiß gesuchte unvermeidliche Menge reduzierbarer Konfigurationen zu konstruieren. Eine Idee von **Heesch** gestattete, die Anzahl der Kandidaten für reduzierbare Konfigurationen durch Ausschluß hierfür unbrauchbarer Objekte herabzusetzen.

Im **Herbst 1972** wurde ein für geeignet gehaltenes Computerprogramm verfaßt. Die Brauchbarkeit der Ergebnisse konnte sogar ohne Computerhilfe beurteilt werden. Die Ringlängen betragen höchstens 16 und andere, dem Programm ursprünglich anhaftende Nachteile wurden ausgemerzt. Die Hoffnung stieg weiter.

Nach dem ersten Lauf des Programms führte man weitere Verbesserungen durch, testete, verbesserte neuerdings, kurz, man unterhielt sich mit dem Computer in einer Art Frage-und-Antwort-Spiel. Dann sah man sich plötzlich anderen Schwierigkeiten gegenüber. Ihre Bewältigung nahm ein ganzes Jahr in Anspruch, wobei auch ausgiebig theoretisches Rüstzeug zum Zuge kam.

Im Herbst 1974 war endlich bewiesen, daß eine endliche Menge unvermeidlicher, aber spezieller Konfigurationen existiert, die gewissen, für den Endbeweis nötigen Anforderungen genügen. Ebenso kannte man Verfahren zur Konstruktion einer solchen Menge. Obwohl von ungemein umständlicher Art, war es von ausschlaggebender Bedeutung für den Abschluß des Gesamtbeweises.

Für die praktische Ausführung der speziellen Prozesse genügten 47 Konfigurationen, von denen keine Ringe mit mehr als 16 Knoten besaß. Die Rechenzeit beim Übergang zum allgemeineren Fall schätzte **Appel** und **Haken** 50mal höher ein. (Sie erwies sich dann doch noch als etwas größer.) **1975** half sogar der Computer beim Entwurf vorteilhafter Strategien. Nach den Worten der Forscher „benahm sich der Automat wie eine schachspielende Maschine“.

Ab **Sommer 1975** konzentrierte man sich auf das Testen der Reduzierbarkeit, und zwar mit der **IBM 360 der Universität von Illinois**. Der Informatiker **J. Koch** schrieb ein Programm für Konfigurationen mit Ringen von maximal 11 Knoten. Dann kamen Ringe mit 12, 13 und 14 Knoten an die Reihe. Auf Grund einer von **Birkhoff** stammenden Methode erfolgte die Reduktion nunmehr in allgemeinerer Form.

Eine neuerliche Abänderung der Ladungstransformation schränkte den Umfang der einzelnen Konfigurationen ein.

Anfang 1976 begann die Endphase, d. h. die Konstruktion einer unvermeidbaren Menge reduzierbarer Konfigurationen. Wieder gab es Verbesserungen des Verfahrens, jedoch im **Juni 1976** war das gesetzte Ziel erreicht. Der letzte Umladungsprozeß unterschied sich vom ersten durch nicht weniger als **500 Modifikationen!** Außerdem müßten – ohne Computer – etwa 10 000 Nachbarschaften von Grad-5-Knoten analysiert werden. 1482 Konfigurationen wurden reduziert.

Aus all dem erkennt man die völlige Aussichtslosigkeit, die Herkulesarbeit ohne Rechenmaschine zu bewältigen. (Freilich ist dadurch nicht gesagt, ob nicht doch einmal ein „eleganter“, im „alten Sinne“ geführter Beweis entdeckt werden könnte.) Von entscheidender Bedeutung erachteten **Appel** und **Haken** auch die Bereitwilligkeit der maßgeblichen Persönlichkeiten der Universität von Illinois, mit der Personal und Rechenzeit am Computer zur Verfügung gestellt wurden.

(Dieser Artikel ist eine Vervollständigung des Beitrags „Das Vierfarbenproblem gelöst“! in Nr. 45 vom Sept. 1977, S. 26, der Wiss. Nachr.)

LITERATUR:

Scient. Am., Okt. 1977, S. 108, K. Appel, W. Haken, The Solution of the Four-Color-Map Problem.

Aufgabenecke, Wilhelm Körperth

Aufgabe 1: Über den Seiten eines Dreiecks ABC werden nach außen hin Quadrate CBDE, ACFG und BAHK errichtet. L, M, N seien die Halbierungspunkte der Strecken GH, KD, EF. Man beweise:

- (1) Die Trägergeraden der Strecken LA, MB, CN schneiden einander in einem Punkt X.
- (2) Die Normalen von A auf GH, von B auf KD und von C auf EF schneiden einander in einem Punkt Y.
- (3) Welche merkwürdigen Punkte des Dreiecks ABC sind die Punkte X, Y?

(4) Man gebe weitere Eigenschaften der Gesamtfigur an!

(5) Man beweise: Die Aussage (2) gilt auch, wenn über den Seiten des Dreiecks ABC beliebige Rechtecke errichtet werden. Welche merkwürdigen Dreieckspunkte von ABC kann man auf diese Weise als Normaleinschnittpunkte erhalten?

Um Einsendungen der Lösungen von Aufgabe 1 an den Bearbeiter der Aufgabenecke, Herrn **OStR. Wilhelm Körperth**, 1070 Wien, Neustiftgasse 111/41, bis 15. April 1984 wird gebeten. Die Namen der Einsender richtiger Lösungen werden samt Andeutung der Lösungsgedanken in der Nr. 66, Sept. 1984, der Wiss. Nachrichten erscheinen.

PHYSIK, ASTRONOMIE

Dr. Walter Kranzer

Victor F. Weißkopf — 75 Jahre

Die „runde“ Zahl 75 gibt den Wiss. Nachr. willkommenen Anlaß, eine Persönlichkeit hervorzuheben, deren Name weit über die Fachkreise der Physiker hinaus in der ganzen Welt bekannt ist. Dies erhält durch die seit vielen Jahren bestehenden persönlichen Kontakte des Jubilars mit unserer Zeitschrift noch eine besondere Note.

Victor F. Weißkopf wurde am 19. September 1908 zu Wien geboren, wo er das heutige BG und BRG in Wien 1, Stubenbastei, besuchte und im Jahre 1926 die Reifeprüfung ablegte. Danach wandte er sich, seinen innersten Interessen folgend, bei Hans Thirring dem Studium der Physik zu. Hatte doch schon der 16jährige eine Arbeit verfaßt, die der Veröffentlichung in den „Astronomischen Nachrichten“ für würdig befunden wurde.

1928 setzte Weißkopf das Studium bei Max Born in Göttingen fort und promovierte dort 1931. Dissertationsthema war die natürliche Linienbreite der Spektrallinien. Von 1934 arbeitete der Jubilar bis 1936 in Zürich bei Wilhelm Pauli, was wegen der überaus kritischen Einstellung Paulis gegenüber jeder wissenschaftlichen Arbeit als besonderes Qualifikationskriterium anzusehen ist. Daneben erfolgten persönliche Treffen mit den Spitzen der Wissenschaft wie Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Landau in Charkov, Dirac in Cambridge in der Eigenschaft als Stipendiat der Rockefellerstiftung und Niels Bohr in Kopenhagen. Derartige Kontakte sind nur dann jungen Menschen gegönnt, wenn man von ihnen höchste wissenschaftliche Leistungen erwartet.

Im Jahre 1937 trat Weißkopf die Professur an der Universität von Rochester, USA, an, arbeitete in Los Alamos von 1942 bis 1945 im Rahmen des Manhattan-Projektes mit Oppenheimer zusammen und lehrte danach Theoretische Physik am MIT, war aber auch zwischendurch Gastprofessor an der Sorbonne. Der Weg führte ihn später häufig nach Wien, wo er vor einigen Jahren durch ein Semester als Gastprofessor an der Wiener Universität tätig war, aber auch sonst, z. B. einmal bei den Wiener Festwochen, in Erscheinung trat.

Seine engagierte Initiative trug entscheidend zur Errichtung des Europäischen Kernforschungsinstitutes CERN in Genf bei, dessen erster Generaldirektor er von 1960 bis 1965 war. Weißkopf hat daneben die Schaffung des Labors für Molekularphysik und die Errichtung der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Südamerika tatkräftig unterstützt.

Die Zweige Atom-, Kern-, Teilchenphysik, Quantentheorie und -elektrodynamik bereicherte der Jubilar durch zahlreiche Forschungsergebnisse. Die Betonung des Experimentellen wie der ständige Blick auf den physikalischen Kern der Probleme sind sein besonderes Anliegen. Zahlreiche Vorträge, Artikel und Bücher bezeugen das. In klarer, auf die Verständnissfähigkeit der Angesprochenen sorgfältig Bedacht nehmender Form, versteht es Weißkopf, die großartigen Leistungen der modernen Physik breiteren Kreisen zugänglich zu machen. Sein mit Blatt verfaßtes Buch „Theoretical Nuclear Physics“ ist ein Standardwerk auf diesem Gebiet.

Die erbrachten Leistungen stellten den Jubilar in den Mittelpunkt zahlreicher Ehrungen und hoher Auszeichnungen. In Österreich wurde ihm die Boltzmann-Medaille und das Ehrenzeichen für Wissenschaft und Kunst verliehen, welches letzteres nur auf einen sehr kleinen Personenkreis beschränkt bleibt. In Deutschland ehrte man Weißkopf mit der Max-Planck-Medaille, dem höchsten Orden „Pour le Mérite“ und dem Humboldt-Preis.

Die Würdigung einer Persönlichkeit wäre unvollständig, würde nicht auch ihr Menschenbild skizziert. Das Wichtigste und wohl auch Größte, das man jemand nachsagen kann, darf bei diesem Anlaß ausgesprochen werden.

Victor F. Weißkopf ist ein guter Mensch! In jeder Weise hilfsbereit, von gutem Wesen, ist er bereit, überall dort einzugreifen, wo Menschen in Not oder hilflos der Gewalt ausgesetzt sind.

Die Red. der Wiss. Nachr. hat dies anlässlich eines von ihr an CERN gerichteten Schreibens erfahren, in dem um die Übersendung der damals (Mitte der 60er Jahre) neuesten Partikeltabelle gebeten wurde. Den Brief beantwortete der Generaldirektor der Anlage persönlich mit beigefügter Liste und teilte mit, daß er an der „Stubenbastei“ studiert und maturiert habe. Kurz darauf sandte er „seiner“ Schule 11 Stück des von ihm verfaßten Buches „Wunder des Wissens“ (heutiger Titel „Natur im Schaffen“) zur Verteilung an interessierte Schüler. Anlässlich seines 50jährigen Maturajubiläums in Wien anwesend, besuchte er seine Schule und bat, einen kurzen Blick durch den Türspalt in einige Klassen werfen zu dürfen. Einige Jahre später flog er — nur zu diesem Zweck! — von Zürich nach Wien, um den Oberstufenschülern der Stubenbastei einiges über moderne Physik zu erzählen!

Anlässlich der Verleihung des Ehrenzeichens für Wiss. und Kunst wieder einmal in Wien, plauderte er neuerdings in ganz ungezwungener Art mit den Schülern der genannten Schule, diesmal über kosmologische Fragen. Er erntete stürmischen Beifall der begeisterten Jugend und zeigte so, wie Physik beigebracht werden soll, um auch in den Herzen der Schüler freudigen Widerhall zu finden. Voraussetzung ist natürlich, daß der Lehrer selbst von Begeisterung über die Schönheit seiner Wissenschaft erfüllt ist. So schilderte Weißkopf im privaten Gespräch den unauslöschlichen Eindruck der Moirreschen Gleichungen, den diese in der Schule auf ihn gemacht hatten.

Unvergeßlich auch, wie er es fertigbrachte, auf einer Serviette im Kaffeehaus die schwierige BCS-Theorie der Supraleitung ohne mathematisches Beiwerk rein physikalisch verständlich und korrekt zu interpretieren.

Obwohl Emeritus, hat der Jubilar das Forschen noch lange nicht aufgegeben. Daneben tut er seit Jahren das Menschenmögliche, um der Welt eine nukleare Auseinandersetzung zu ersparen, soweit eben sein Einfluß reicht, und der reicht weit! Das Gewicht seiner Persönlichkeit ist schwer genug, um seinen Bemühungen weit, weit stärkeren Widerhall zu verschaffen, als dies i. a. bei Einzelnen möglich ist. Dies, weil er nicht lautstark, dafür umso wirksamer in den kompetenten Kreisen auf stille Art dem Ziel des Ausgleichs dient.

Mögen dem Jubilar noch viele Jahre ungebrochener, erfolgreicher Tätigkeit beschieden sein!

Walter Kranzer

Z⁰ existiert

Der erste Artikel „An historic run“ in der September-83-Ausgabe des CERN-Courier beginnt mit folgendem denkwürdigem Absatz:

„On 3 July, the high energy pulses of matter and antimatter circulating in opposite directions in the SPS ring at CERN were dumped, bringing to an end an historic period of physics experiment which will surely go down in the annals of science. No doubt the physics students of the 21st century will read avidly about the exploits of the machine specialists and the physics teams at CERN in 1983.“

Der in diesen Worten zum Ausdruck kommende Stolz über die Leistungen sowohl der Maschinenleute wie auch der Experimentierteams ist voll berechtigt! Der Existenznachweis sämtlicher theoretisch seit etwa zwei Jahrzehnten vorausgesagter intermediären Bosonen als den Vermittlern der Schwachen Wechselwirkung, also der W⁺-, W⁻-, Z⁰-Teilchen, ist in seiner Bedeutung nur mit der Entdeckung des Positrons vor 52 Jahren zu vergleichen, bei der ebenfalls eine Hypothese, nämlich die Löchertheorie Diracs, Pate stand und die uns das Tor zur Welt der Antimaterie öffnete.

Wenden wir uns zunächst den Verbesserungen am pp̄-Speicherring (kurz „Collider“ genannt) zu, die beim zweiten Lauf des Experiments vom 12. April bis 3. Juli 1983 zum Tragen kam.

Gegenüber den ersten Einsätzen des Colliders 1981 stieg die Datenausgabe auf das 500fache. Die Gesamtluminosität (das zeitintegrierte Maß für die Kollisionsereignisse der gegenseitig im Ringkanal umlaufenden Protonen und Antiprotonen) war beim ersten Lauf Ende 1982 28 pro Nanobarn (1 nb = 10⁻³⁷ m²). Da man wußte, daß die (im ersten Lauf nicht gefundenen) Z⁰ etwa zehnmal seltener als die W sind, trachtete man die Luminosität zu steigern. Dank zusätzlicher Quadrupolmagnete (sie wurden während eines kurzen Maschinenstopps im Mai eingebaut) gelang das prompt. Bis 6. 6. 1983 betrug die Gesamtluminosität bereits 100 pro nb und schließlich erreichte sie 153 pro nb. D. h. man erreichte 1,6 · 10³³ Kollisionen pro m² und s.

Ein anderer sagenhafter Rekord bestand in der durch 808 Stunden = 33 Tagen ständig aufrechterhaltenen Speicherung der zirkulierenden Partikel. Das bei 270 GeV Teilchenenergie! Der Erfolg ließ nicht auf sich warten, bald zeigte sich das erste Z⁰.

Die Arbeiten der Experimentiergruppen wurden bei der vom 21. bis 27. 7. 1983 in Brighton abgehaltenen Konferenz den 650 dort versammelten Physikern durch **Carlo Rubbia**, dem Leiter des UA 1-Teams (UA = underground area), bekanntgegeben. U. a. wies er auf die siebenfache Anzahl der Kollisionen im zweiten Lauf gegenüber dem ersten Lauf hin, weshalb sich Z⁰ erst im zweiten Lauf zeigte.

Es ist gewiß auch interessant zu hören, durch welche „Handschrift“ sich die intermediären Bosonen verraten.

a) **W[±]-Bosonen.** Beim Zerfallsmodus

$$W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu_e$$

läuft das e⁺ bzw. e⁻ mit großem Impuls, vom 0,7 T Dipolmagnetfeld nahezu unabgelenkt, durch den zentralen Detektor. Die W-Masse folgt aus der Gesamtenergie der Sekundärteilchen, welche aus dem im elektromagnetischen Kalorimeter auftretenden Schauer hervorgeht. Das Hadronen-Kalorimeter hinter dem elektromagnetischen Kalorimeter darf keine oder nur eine ganz geringfügige Energie aufnehmen. Falls die e[±] Bremsstrahlung emittieren, müssen die Gamma-Quanten fast in dieselbe Richtung wie die e[±] fliegen.

Die Neutrino-Energie geht aus der Vektorsumme der Energieflüsse in allen Kalorimetern hervor. Letztere decken fast den vollen Raumwinkel um den Kollisionsbereich ab, nur ein enger Kegel entläßt die Teilchen unbeobachtet. Seine Mantellinien schließen mit der Richtung der kollidierenden pp̄ lediglich den Winkel von 12° ein.

Die Myonen aus dem Zerfallsmodus

$$W^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu$$

werden von Myonenkammern außerhalb der Kalorimeter registriert. Aus der Diskrepanz zwischen der Primärenergie und der Energie der geladenen Sekundärteilchen erhält man Energie und Impuls der Neutrinos, wobei dem Wert von transversaler Energie und Impuls eine maßgebliche Rolle zukommt.

Ein weiteres Kriterium für die Identifizierung der W ist die von der Theorie geforderte Paritätsverletzung. Sie wird in der Asymmetrie der Winkelverteilung der sekundären Partikel of-

fenbar. Tatsächlich flogen beispielsweise die Positronen aus dem W[±]-Zerfall mit Vorliebe in die Richtung der p̄-Bahnen.

Salam vermutet als plausible Begründung die Existenz einer **weiten Z⁰-Art**, die aber 50mal seltener als die nunmehr bereits nachgewiesene erste Z⁰-Art sein soll. Die Suche nach den anderen Z⁰ erfordert eine entsprechend höhere Kollisionszahl, um Aussicht auf Erfolg zu haben. Das könnte bei etwa fünfmaliger Wiederholung des zweiten Laues erreicht werden.

b) **Das Z⁰-Boson.** Es ist, wenn die Erzeugung gelingt, etwas leichter als das W nachzuweisen, denn es zerfällt stets in zwei geladene Leptonen, deren Flugrichtung und Energie anhand der entstandenen Spuren direkt meßbar sind, insbesondere der Impuls aus der Krümmung der Spuren im Magnetfeld. Entstehen sekundär e[±], dann ist die Bestimmung leichter ausführbar als beim Zerfall in Myonen. Energie und Impuls geben die Z⁰-Masse, deren Größe allein die Identifizierung bestätigt.

Zum Schluß noch das stolze Ergebnis des zweiten Laues, der wie der erste in den beiden voneinander unabhängigen, unterschiedliche Nachweismethoden und -geräte benutzenden Experimenten UA 1, UA 2 vollzogen wurde.

Insgesamt wies man 87 W- und 14 Z⁰-Partikeln nach.

Diese verteilen sich so:

UA 1 stieß auf 52 W und auf 6 Z⁰ (von denen 4 in ein e[±] = 2 in ein μ[±] = Paar zerfielen);

UA 2 stieß auf 35 W und auf 8 Z⁰.

Als Masse fanden

UA 1: m_W = 80,9 GeV/c², m_Z = 95,1 GeV/c²;

UA 2: m_W = 81,0 GeV/c², m_Z = 91,2 GeV/c².

Die ausgezeichnete Verträglichkeit von Prognose- und Meßwerten ist eine mächtige Stütze der Theorie der Elektroschwachen Wechselwirkung.

Natürlich hat der so hervorragend bewährte CERN-Collider noch anderen Aufgaben zu dienen. So bohrten die Brighton-Teilnehmer – allerdings vergeblich – nach Mitteilungen über Maßnahmen zur Entdeckung des sechsten Quarks Top (t) und der Higgs-Partikeln. Aber weder Rubbia noch die anderen CERN-Referenten ließen sich Aussagen entlocken, obwohl diese Zielsetzungen mit Sicherheit in das Collider-Programm aufgenommen werden wird. Das t-Quark dürfte ca. 40 GeV/c² Masse haben, die Masse der Higgs-Teilchen liegt noch im dunkeln.

Ein erfreulicher Nebeneffekt des CERN-Erfolges besteht in der „Alarmierung“ der US-Wissenschaftler. Sie haben sich daraufhin bereits in Gesprächen über einen Beschleuniger lose zusammengefunden, der im 20-TeV-Bereich arbeiten soll, um wieder für einige Zeit die führende Stellung einzunehmen. Daß die Führung zwischen den einzelnen Forschungsanlagen immer wieder wechselt, ist ein gutes Zeichen für das wissenschaftliche Engagement der Physiker, das in dieser Art des Wettbewerbes so reiche Früchte trägt. Aber die „Sorge“ der Amerikaner ist unbegründet, denn in kurzer Zeit wird im Fermi-Lab. das Tevatron die Arbeit aufnehmen und als erste Anlage in den TeV-Bereich vorstoßen. Daß dann neue köstliche Früchte des Wissens abfallen werden, dessen dürfen wir sicher sein!

LITERATUR:

1. CERN Presseausendung PR 10/83, 31. 5. 83, The Z⁰ Intermediate Boson.
2. Nature, 9. 6. 83, S. 473, T. Walgate, What Will Come after Z⁰?
3. CERN Presseausendung PR 13/83, 22. 7. 83, Z⁰ Discovery Confirmed.
4. Nature, 25. 8. 83, S. 686, P. I. Kalimus, W and Z Particles from CERN.
5. CERN Courier, Sept. 83, S. 247, An Historic Run.
6. CERN Courier, Sept. 83, S. 249, Brighton Conference, a Preliminary Report.

Der nukleare Schlagabtausch in naturwissenschaftlicher Sicht

Obwohl auch in der Vergangenheit Kriege Hekatomben von Toten forderten (der 30jährige Krieg reduzierte die Bevölkerung Mitteleuropas auf ein Sechstel, in den beiden Weltkriegen kamen viele Millionen Menschen ums Leben), so hat die Bedrohung der Menschheit seit Hiroshima und Nagasaki noch viel entscheidendere Züge angenommen, weil der Einsatz von Kernwaffen Wirkungen hervorruft, die alles bisher Bekanntgewordene an Zerstörung und Grauen in den Schatten stellen. Wie im folgenden aufgezeigt werden wird, genügt bereits ein erster massiver nuklearer Schlagabtausch zwischen den Kombattanten, um durch eine solche „Einleitung“ der Feindseligkeiten

auch schon die Möglichkeit der weiteren militärischen Konfrontation auszuschließen, nicht aus Friedfertigkeit, sondern aufgrund der globalen Zerstörungen, die schon der erste Bombenregen angerichtet hat!

Die Entscheidung, ob ein nuklearer Zusammenstoß stattfinden oder vermieden wird, liegt in der Hand der Menschen, die über die Geschicke von Völkern und Staaten entscheiden. Sie alle haben die Schule besucht. Deshalb sitzen unter unseren Schülern stets solche, die später einmal die Schalthebel in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft betätigen werden. Die große Masse der übrigen wird andererseits die Folgen der Entscheidungen der Ersten zu tragen haben.

Deshalb ist es die unabdingbare Pflicht der Schule, die Jugend über das zu informieren, was auf sie zukommen könnte. Die einen, damit sie sich daran erinnern, wenn sie einmal schwerwiegende Entscheidungen zu treffen haben sollten, die anderen, damit sie im demokratischen Mitwirken bei der Auswahl der Weichensteller jene von der Macht fernhalten, denen das nukleare „Zündeln“ zuzutrauen ist.

An Unterrichtsmaterial über die Wirkungen einer einzigen Atombombe gebricht es an den AHS in unserem Lande nicht. Das Buch „Atomare Bedrohung der Menschheit“ (Verlag f. Jugend und Volk, Wien 1968) wurde zum Zweck der Aufklärung in den Fächern Physik, Chemie, Biologie verfaßt, und im Folienband „Physiktransparente“ (den jede Bds-AHS vom BMUK erhielt) sind die druckmechanischen, thermischen, radiativen und biologischen Wirkungen einer einzelnen Kernexplosion graphisch mit ausführlichem Begleittext eindrucksvoll dargestellt. Das erste genannte Buch entstand, weil es Stellen gab (noch gibt?), welche die Folgen der nuklearen Auseinandersetzung verniedlichten sowie die Effizienz der Schutzmöglichkeiten unverantwortlich übertrieben.

Etwa der Ratschlag, helle Kleidung zu tragen, weil diese den Wärmeblitz der Explosion weniger stark absorbiert als dunkles Gewand, ist naiv, denn wer kann am Morgen wissen, daß im Laufe des Tages ein Bombenwurf stattfinden wird? Was nützen empfohlene Strahlenschutzmedikamente, wenn nach dem Abwurf der Feuersturm über Stadt und Land rast, in den Ballungsräumen die Versorgung mit elektrischer Energie und Gas total ausfällt, die Verkehrswege zerstört, das Kommunikationssystem zusammengebrochen (s. Wiss. Nachr., Nr. 62, April 1983, S. 35, „Kernexplosionen können Elektronik ganzer Länder lähmen“) und die Mehrzahl der Ärzte wie auch die der anderen Bewohner tot sind? Wie will man sich gegen den Druckstoß nach der Explosion schützen? Etwa mit dem Sprung hinter eine Mauer, die im gleichen Augenblick einstürzen könnte? Bedenkt man ferner, daß eine Bodenexplosion mit der Sprengkraft von 20 Mt TNT einen ca. 90 m tiefen Krater aufreißt, der beispielsweise $\frac{2}{3}$ der Wiener Innenstadt verschlingen würde, dann ist es klar, daß die Druckwelle im Erdboden alle unterirdischen Schutzräume in der Umgebung des Kraters mit den in ihnen befindlichen Menschen erbarmungslos zerquetschen würde! Schließlich würde schon ein schwacher Wind von 18 km/h den Pesthauch der radioaktiven Kontamination binnen 24 Stunden an die 400 km weitertragen.

Das lokale Inferno einer einzelnen Kernexplosion verblaßt jedoch gegen das, was ein nuklearer Schlagabtausch global anrichten würde! Denn da fällt nicht nur eine Bombe, ein wahrer Regen von Sprengköpfen würde über die nördliche Erdhalbkugel niedergehen und sie in das entsetzlichste Chaos der Vernichtung stürzen. Auch wenn ein neutrales Land wie das unsere vom direkten Beschuß wahrscheinlich verschont bliebe, fiel es dem von den getroffenen Nachbarterritorien aus sich gnadenlos ausbreitenden Verderben zum Opfer.

Im folgenden soll die globale Katastrophe näher sachlich beschrieben werden, damit sie zur engagierten Weitergabe an die Jugend benützt werde. Die Ausführungen stützen sich auf den Artikel „Global Atmospheric Effects of Nuclear War“ in der Zeitschrift „Physics Today“, Okt. 1982.

Die vornehmlichen Angriffsziele der nuklearen Sprengköpfe (warheads) beim „einleitenden“ Schlagabtausch sind

- Militäranlagen,
- Großstädte,
- Industrieanlagen,
- Transportzentren,
- Kraftwerke (Kernreaktoren!),
- Öl- und Gasquellen,
- Kommunikationszentren.

Die Gesamtzahl der in den Arsenalen der Welt lagernden **Sprengköpfe** wird im zitierten Bericht mit **59 000** angegeben. Ihre Sprengkraft entspricht jener von **5700 Megatonnen TNT**. Das oben apostrophierte Adjektiv „einleitend“ wurde deshalb hervorgehoben, weil nach dem Vollzug des ersten Schlagab-

tausches der Krieg praktisch zu Ende ist, nicht etwa aus Friedfertigkeit der Gegner, sondern deshalb, weil bereits **50% der Bewohner** von Großstädten auf der nördlichen Erdhalbkugel **tot** über ein unentwirrbares Chaos verstreut sind. Paradoxiertweise sind jedoch die Sprengköpfe noch keineswegs aufgebraucht, noch immer wären **14 700** von ihnen **intakt**, äquivalent **1300 Megatonnen TNT**.

Explosionen von mehr als 1 Mt TNT-Äquivalent schleudern das Bodenmaterial 12 km hoch in die Stratosphäre, schwächere Bomben erfüllen „nur“ die Troposphäre mit dem Bodenaufwurf.

Feuer, Rauch. Es ist klar, daß das die Durchsichtigkeit der Atmosphäre für das Sonnenlicht drastisch herabsetzt. Viel ärger wirken sich jedoch diesbezüglich die riesigen Flächenbrände aus, die infolge der thermischen Explosionsblitze von den auf Mio. Grad erhitzten Plasmen ausgehen. In den Teilen der Nordhalbkugel, in denen die getroffenen Städte in nicht allzu großer Entfernung von ausgedehnten Wäldern umgeben sind, entstehen weiträumige Flächenbrände (Kanada, SU), die ihrerseits Sekundärbrände auslösen. Die Brände wüten durch Tage, ev. sogar durch Wochen, ehe sie von selbst erlöschen, denn von Menschen einer aus den Fugen geratenen Ordnung sind sie nur sehr beschränkt zu bekämpfen. (Man erinnere sich, wie lange die großen Waldbrände des Jahres 1982 in Australien der organisierten Bekämpfung widerstanden, obwohl sie – zwar für unsere Erfahrung groß – doch nur geringfügig gegenüber einem nuklearen Inferno wären.) Es bestehen Gründe anzunehmen, daß etwa 10^6 km² Wald nach dem Schlagabtausch dem Feuer zum Opfer fallen würden. Das ist **20mal mehr, als auf der ganzen Welt in einem Jahr** an Bränden entsteht. Man bedenke, daß neben den Wäldern auch Wiesen zu brennen begännen. Dazu gesellt sich der Rauch von den entzündeten Brennstofflagern sowie von den getroffenen Öl- und Gasquellen. Die davon herrührenden Rauchwolken verbreiten sich über Kontinente und Ozeane, sie sind es, die in weit stärkerem Maß als die Explosionsauswürfe dem Sonnenlicht den Zutritt zum Erdboden, d. h., zu den Feldern und Äckern im Ausmaß von **50 bis 99% durch Monate** hindurch verwehren. Das trifft die landwirtschaftliche Nahrungs- und Futtermittelproduktion tödlich, denn während der langdauernden Dunkelperiode gibt es keine Photosynthese. Die Folge: Weltweite Hungersnot, der ebenfalls viele Menschen erliegen. Dazu kommen die den Schlag zwar zunächst Überlebenden, die aber nach kürzerer oder längerer Zeit den radiativen Schädigungen erliegen, die sie erlitten haben. Auch die ärztliche Versorgung ist desorganisiert, und wo das nicht der Fall ist, tritt alsbald Medikamentenmangel infolge der nicht mehr möglichen Ergänzung der dahinschwindenden Bestände auf. (Es gibt plausible Theorien, die das Aussterben der Saurier vor 65 Mio. Jahren auf Nahrungsmangel, bedingt durch mangelndes Sonnenlicht, zurückführen.)

Leider sind das nicht die einzigen Folgen der Brände, denn sie **führen der Lufthülle 10 Mrd. Tonnen Kohlenstoff** und **100 Mio. Tonnen Stickstoff** zu, außerdem noch organisches Bodenmaterial. Der CO₂-Gehalt der Luft steigt zwar nur geringfügig an, wohl aber vergrößert sich die **CO-Menge** in der Luft der nördlichen mittleren Breiten auf das **Vierfache**.

An chemischen Verbindungen gelangen

- 1,3 bis 2,5 Mrd. Tonnen C-haltiger,
- 200 bis 400 Mio. Tonnen anderer Stoffe, davon
- 55% Teer, 25% Ruß, 20% Aschenteilchen von etwa
- 0,1 µm Durchmesser

in die Atmosphäre. Teer und Ruß schirmen das Sonnenlicht besonders stark ab, denn sie absorbieren davon zehnmal mehr als das vulkanische Aerosol. Sogar am Mittag eines Sommertages in den mittleren nördlichen Breiten können nur 0,4% des Lichts zum Boden dringen. Nach pessimistischen Schätzungen schweben die submikroskopischen Partikeln, verteilt über die Nordhalbkugel, 5 bis 10 Tage in der Luft. D. h., eine vertikale Luftsäule von 1 m² Querschnitt enthält 0,1 bis 0,5 g solcher Teilchen. (Zur Veranschaulichung: Die Masse einer 25 nm dicken Goldfolie von 1 m² Fläche beträgt 0,5 g.)

Wie liegen die Dinge bei den Öl- und Gasquellen? Dzt. existieren 800 000 derartige Quellen auf der Erde, die besonders durch „kleine“ Kernwaffen gefährdet erscheinen. Von ihnen entfallen 590 000 Quellen auf die USA, die aber weniger Treibstoffe als die 800 Quellen der Saudis fördern. Die Zerstörung der 40 Bohrtürme in der Nordsee – sie fördern 4,5% des Erdöls, 4 Mt genügen zur Zerstörung – hätte verheerende Folgen für das Leben im Meer. Einen kleinen Vorgeschmack liefert die Ölschwemme im Persischen Golf nach dem Bombardement im Krieg zwischen Iran und Irak. Noch eine Anschauungshilfe: Die Gasquelle von Gassi-Touil in der Sahara geriet in Flammen, die 200 m hochschlugen. Pro Tag verbrannten dort 15 Mio. m³ Gas!

Chemische Wirkungen

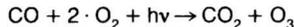
Das Entstehen Dutzender Mio. Tonnen reaktiver Kohlenwasserstoffe, insbesondere Äthylen C_2H_4 , Propylen C_3H_6 , ferner die Bildung von 15 bis 30 Mio. Tonnen Stickoxide NO_x (die Waldbrände produzieren davon mehr als die Kernexplosionen selbst; die Industrie gibt pro Jahr ca. 20 Mio. t Oxide an die Luft ab) erzeugt einen photochemischen Smog, der in anderer Weise schädlich wirkt als Rauch und Ruß. Die darin enthaltenen Stickoxide sind nämlich bösartige Schadstoffe, weil sie das O_3 -Gleichgewicht stören. Während NO in der **Stratosphäre** den **Ozonabbau** katalysiert, katalysiert diese Verbindung die **Ozonbildung** in der **Troposphäre**. Das Ozon der Stratosphäre schützt die Lebewesen vor der UV-Strahlung der Sonne infolge der Absorption der kurzwelligen Photonen, welche letzteren Pflanze, Tier und Mensch anderenfalls ausgesetzt wären. Andererseits beeinträchtigt Ozon, wenn in größeren Mengen in der Troposphäre entstanden, die Ernteerträge und greift die Gesundheit von Mensch und Tier an. Deshalb kontrolliert beispielsweise die Luftgütebehörde von Los Angeles ständig den O_3 -Gehalt der Luft. Bei 0,2 ppm O_3 gibt sie Alarm, denn jeder Einzelne hat dann mit einer Gesundheitsschädigung zu rechnen. Bei 0,12 ppm O_3 bleiben die Robusten ungeschoren, die Anfälligeren erleiden Schäden.

Der chemische Smog ist nach dem Schlagabtausch mit 0,16 ppm Ozon anzusetzen, was den Zustand der bereits anderweitig Geschädigten – und wer wäre das nicht! – verschlechtert. Wie sehr die Nahrungsversorgung durch Ozon beeinträchtigt wird, geht aus Laborversuchen hervor, in denen verschiedene Pflanzen 7 Stunden lang der O_3 -Konzentration 0,16 ppm ausgesetzt waren. Die Erträge sanken bei

Korn um 15%,
Winterweizen um 42%,
Sojabohnen um 64%,
Spinat um 72%,
Kopfsalat um 88%,
Erdnüssen um 99% und
Rüben um 100%.

Ozon entsteht in der Troposphäre zusätzlich zu der im dynamischen Gleichgewicht mit Photonen und Luftbestandteilen ständig vorhandenen Menge durch mehrere Prozesse, die nach Kernexplosionen begünstigt sind.

a) CO oxidiert tw. zu CO_2 , erzeugt andererseits in der Reaktion



Ozon. hv ist die Energie des mitwirkenden Photons, ohne das die Reaktion ausbliebe.

b) $CH_4 + 4 \cdot O_2 + 3 hv \rightarrow CO + H_2 + H_2O + 2 \cdot O_3$. Dieser Prozeß läuft in 10 Stufen ab.

c) $C_2H_6 + 10 \cdot O_2 + 6 hv \rightarrow CO + H_2 + 2 \cdot H_2O + 5 \cdot O_3$. Das ist eine 24stufige Reaktionskette, bei der überdies das gefährliche **Pflanzengift PAN** (= Peroxiazetylnitrat) entsteht. PAN reizt auch die Augen.

Der chemische Smog enthält neben Ozon die Reaktionspartner CH_4 , C_2H_6 , und zwar 0,050 bis 0,100 ppm C_2H_6 . Der PAN-Anteil beträgt 0,001 bis 0,01 ppm. Die genannten Zahlen sind Konzentrationsmittelwerte, die auf dem Festland höher als über See ausfallen, weil die Stoffe vorwiegend dort entstehen.

Daß Ozon schädlich sein kann, folgt schon aus dem Umstand seiner gegenüber O_2 größeren Reaktionsfreudigkeit, dessen bakterizide Fähigkeiten in der therapeutischen Anwendung von oxidierenden Verbindungen wie $KMnO_3$, H_2O_2 u. a. ausgenutzt werden.

Nicht zu vergessen sind die Folgen der Lösung von Stickoxiden im Niederschlagswasser, das als saurer Regen ($pH < 4$) auch die noch wenig geschädigte Pflanzendecke massiv angreift.

Nahrungsversorgung

Die Auswirkungen des Lichtmangels auf die Festlandflora wurden schon besprochen, ebenso der daraus erwachsende Nahrungsmangel. Die schrecklichen Folgen in einer hungerrnden Gemeinschaft sieht man immer wieder auf Bildern und Fernsehreportagen aus den afrikanischen Notgebieten. Der Unterschied besteht nur darin, daß in Afrika die anhaltende Dürre und nicht langanhaltender Lichtmangel die Ursachen sind. Natürlich erleiden die Pflanzen zusätzliche Schäden durch die ionisierende Strahlung, die gleichfalls die Ernteerträge herabsetzen.

Neben der Festlandflora ist auch das Leben in den Ozeanen durch die Dunkelperiode schwerstens in Mitleidenschaft gezogen! Falls für einige Zeit lediglich 1% der Sonnenstrahlung das Meer erreicht, dann würde ein namhafter Teil des Phytoplanktons zugrunde gehen und mit ihm auch viel vom pflanzenfressenden Zooplankton, das den Meerestieren zur Nahrung dient.

Die Pflanzen werden auch von dunklen Ablagerungen bedeckt, also in ihrer Entwicklung ernstlich behindert. Ein schwacher Lichtblick ist nur die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen Schädigungen, sie würden daher, auf lange Sicht beurteilt, schließlich dennoch überleben.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Nahrungsversorgung der Menschheit nach einem nuklearen Schlagabtausch durch

Reduktion des Sonnenlichtes, Ozon, Stickoxide, PAN, sauren Regen, Aerosolablagerungen, ionisierende Strahlung und den Zusammenbruch der Verteilungssysteme für Waren

nicht im entferntesten in ausreichendem Maße aufrechterhalten werden könnte.

Klimatische Folgen

Eine größere Anzahl nahezu gleichzeitig erfolgender Kernexplosionen vermag auch das Wettergeschehen für längere Zeit in Unordnung zu bringen, ja u. U. sogar irreversibel zu verändern. Da ist einmal die starke Absorption des Sonnenlichtes in den Rauch-, Qualm- und Staubwolken der Luftschichten unterhalb 10 km Höhe zu berücksichtigen, die den Luftaustausch weitgehend unterbindet. Die schadstoffzerstreuende Tätigkeit der Luftströmungen bleibt aus, Lebewesen und Pflanzen sind den Giftstoffen in fast gleichbleibender Konzentration ausgesetzt. Die ionisierenden Wirkungen der Kernexplosionen erzeugen ferner in der Atmosphäre eine Unzahl von Kondensationskernen, so daß sich nur winzige Tröpfchen bilden, deren Zusammenfließen nicht zustande kommt. Das bedeutet den Ausfall von kräftigen Niederschlägen, Regen und Nieseln sind zweierlei. Das zum Pflanzenwachstum unerläßliche Naß bliebe zu großen Teilen aus, was die Ernteerträge mindert und den Nahrungsmangel verschärft.

Die Gletscher und die Polkappen (vor allem die nördliche) würden von Ruß und Staub bedeckt sein und, wenn nach Monaten das Sonnenlicht wieder unbehindertem Zutritt hat, infolge der erhöhten Absorption stärker abschmelzen als vor dem Atomschlag. Das könnte den Meeresspiegel anheben und das Klima auf der gesamten Erde ändern, wohl ein irreversibler Vorgang!

Diesbezügliche, allerdings bescheidene Erfahrungen liegen in den Auswirkungen von mächtigen Vulkanausbrüchen in der Vergangenheit vor.

a) Im Jahre 1815 wurde der **Vulkan Mt. Tambora** im damaligen Holländisch-Ostindien (heute Indonesien) aktiv. Der darauffolgende Sommer 1816 brachte Neuengland in vier Wellen erntevernichtenden Schnee und Frost, worauf prompt in einigen Teilen Europas durch Importausfälle Nahrungsknappheit eintrat.

b) Die **Krakatau-Eruption** des Jahres 1883 veränderte einige Jahre hindurch die globalen Mittelwerte der Temperatur, der Beweis, daß sogar Einzelereignisse weltweite Auswirkungen haben können. Das vulkanische Aerosol ist übrigens anders zusammengesetzt als das von Bränden stammende.

LITERATUR:

Physics Today, Okt. 1982, S. 17, JDS, Global Atmospheric Effects of Nuclear War.

Quarkonium — Gluonium

Schon kurze Zeit nach der aufsehenerregenden Entdeckung des Psi- (ψ) und des Upsilon-Zeichens (Υ) in den Jahren 1974 bzw. 1977 wurden massivere Partikeln der gleichen Art gefunden. Die daraufhin angestellten Untersuchungen führten zu der Erkenntnis, daß die massiveren Teilchen Anregungszustände der zuerst angetroffenen sind, die man in ähnlicher Weise zu klassifizieren hat, wie dies bei Atomen üblich ist. Der Unterschied besteht in den Konstituenten, denn sowohl in Psi wie in Upsilon ist ein Quark (q) an sein Antiquark (\bar{q}) gebunden. Gegenwärtig sind fünf Quarkarten bekannt. Nach wachsender Masse geordnet, tragen sie die Symbole (Namen)

u (up), d (down), s (strange), c (charm), b (bottom oder auch beauty).

Die Bindung kommt durch den Austausch virtueller Gluonen (g) zustande, ganz analog dem Austausch virtueller Photonen (γ) bei der Coulombschen Wechselwirkung (emWW). Photonen sowie Gluonen sind masselose Spin-1-Teilchen. Während aber die Photonen elektrisch neutral sind, tragen die Gluonen Farbladung, können also im Gegensatz zu den Photonen miteinander in Bindungen eingehen, doch davon später.

Die Entdeckung von Psi erregte deshalb so großes Aufsehen, weil damit die schon 1964 von Sh. Glashow und J. D. Björken vermutete und 1970 von Glashow und Iijopoulos theoretisch begründete Existenz des Charm-Quarks bestätigt worden war. Denn Psi ist der Bindungszustand $c\bar{c}$ eines Charms mit einem Anticharm.

In gleicher Weise ging es beim Upsilon zu. 1976 äußerten E. Eichten und K. Gottfried (Cornell Univ.) den Verdacht, daß es noch zwei weitere Quarkarten geben könnte, die als Bottom- bzw. Top-Quark (t) bezeichnet wurden. 1977 fand man tatsächlich am Fermilab (FNAL) das Upsilon, das ein $b\bar{b}$ -System ist.

Bemerkenswert sind die relativ großen Massen von ψ mit $3,095 \text{ GeV}/c^2$ und Υ mit $9,460 \text{ GeV}/c^2$, entsprechend den gegenüber u, d, s großen Massen von c bzw. b.

Trotz großer Anstrengungen steht der Existenznachweis für t noch aus. Er wäre erbracht, wenn ein $t\bar{t}$ -Teilchen entdeckt würde. Vorläufig weiß man nur, daß die $t\bar{t}$ -Masse $36 \text{ GeV}/c^2$ übersteigen müßte, falls t überhaupt existiert.

Sämtliche Bindungszustände eines Quarks mit irgendeinem Antiquark, also alle Mesonen, sind Bosonen, denn q und \bar{q} haben halbzahligen Spin, also ist die Spin-Quantenzahl des Bindungszustandes 0 oder 1. Das heißt, diese Partikeln unterliegen nicht dem Pauli-Prinzip. (In angeregter Form kann der Mesonen-Spin auch höhere ganzzahlige Werte annehmen.)

Die Zustände $u\bar{u} = \pi^0$, $d\bar{d} = \eta^0$, $s\bar{s} = \eta^0$ nehmen eine Sonderstellung ein, weil sie frei von „nackten“ Quarks sind. (Sie sind als die massenärmsten **Quarkonium-Zustände** zu bezeichnen. Man sagt, ein Meson enthält nackte Quarks, wenn q und \bar{q} von verschiedener Art sind.) Sie und Mesonen mit nacktem u, d, s sind längst bekannt. Für c und b mußten jedoch die verschiedenen Nachweise hart erarbeitet werden. Man stand vor der Aufgabe, nach der Entdeckung von Psi und Upsilon Mesonen mit nacktem c und solche mit nacktem b nachzuweisen. Das ist bereits in beiden Fällen befriedigend geschehen. Die D-Mesonen enthalten nacktes Charm-, die B-Mesonen nacktes Bottom-Quark. $c\bar{c}$ und $b\bar{b}$ sind die problematischeren Quarkonium-Zustände gewesen. Der Name ist in Anlehnung an die Bezeichnung Positronium für e^-e^+ gewählt worden.

Positronium kann als exotisches H-Atom angesprochen werden, in dem das Proton durch ein Positron (e^+) ersetzt ist. Wir wollen vorerst Grund- und Anregungszustände vom Positronium besprechen, um daran die gleichartigen Bindungszustände von **Charmonium ($c\bar{c}$)** und **Bottomonium ($b\bar{b}$)** zu erklären.

Die Quantenzustände eines Zweiteilchensystems sind durch die Hauptquantenzahl n, die Bahnspinquantenzahl l, die Komponente l_z des Bahnspins in Richtung des herrschenden Magnetfeldes und die Summe der Eigenspinquantenzahlen der zwei Partikeln e^-, e^+ – sie möge kurz $s(e,e)$ heißen – festgelegt. Die z-Komponente y des Gesamtspins ist $y = l_z + s(e,e)$. e^- und e^+ haben halbzahligen Spin. Je nach ihrer Orientierung bezüglich des Magnetfeldes (parallel $\uparrow\uparrow$, antiparallel $\uparrow\downarrow$) nimmt $s(e,e)$ folgende Werte an:

$$s(\uparrow\uparrow) = 1/2 + 1/2 = 1, \quad s(\uparrow\downarrow) = 1/2 - 1/2 = 0.$$

$s = 1$ erlaubt drei Einstellungen der Eigenspinsumme: parallel, antiparallel und senkrecht zum Magnetfeld. Das gibt drei verschiedene y-Werte, zu $s = 1$ gehört ein **Triplet**. Hingegen gehört zu $s = 0$ ein **Singulett**. Das Zustandssymbol von Positronium lautet

$$n^l y.$$

x ist die Multipletanzahl, $l = 0, 1, 2, \dots$ charakterisiert man durch die Großbuchstaben S, P, D, ...

Beispiel: 2^3P_2 bezeichnet einen der drei Tripletzustände zur Hauptquantenzahl $n = 2$, der Bahndrehimpulsquantenzahl $l = 1$ (P-Term!) und dem Gesamtspin in z-Richtung $y = 2$. $2^3P_0, 2^3P_1$ stehen für die beiden anderen Tripletzustände.

Da l nur die Werte $0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(n-1)$ annimmt, kommen für $l = 0$ (S-Zustand) nur $l_z = 0$, für $l = 1$ (P-Zustand) nur die l_z -Werte $0, \pm 1$ in Betracht. Das Vorzeichen von y ist in unserem Zusammenhang ohne Belang. Daher genügt die Betrachtung nicht negativer y-Werte.

Zur besseren Illustration stellen wir die für $n = 2$ zuständigen Fälle in der Tabelle zusammen.

l_z	$s(e,e)$	$0 \leq y = l_z + s$	Zustand
1	$\uparrow\downarrow$	0	$2^1P_1, \dots$ Singulett
-1	$\uparrow\uparrow$	1	2^3P_0
0	$\uparrow\uparrow$	1	2^3P_1
1	$\uparrow\uparrow$	2	2^3P_2

Die Spinorientierung $\uparrow\uparrow$ wirkt abstoßend, erzeugt größere Systemenergie.

Die Spinorientierung $\uparrow\downarrow$ wirkt anziehend, erzeugt kleinere Systemenergie.

Die Energiedifferenz $\Delta = E(\uparrow\uparrow) - E(\uparrow\downarrow)$ beträgt bei Positronium nur etwa $1/5000$ der Bindungsenergie, fällt jedoch bei Quarkonium $q\bar{q}$ ca. 10^8 mal größer aus.

Das bisher über Positroniumzustände Gesagte gilt ebenso für Quarkoniumzustände, so daß sie mit derselben Symbolik beschrieben werden dürfen. In den nachstehenden Zustandsschemata von Charmonium und Bottomonium ist das Zustandssymbol genau dann voll unterstrichen, wenn das betreffende Teilchen bereits entdeckt wurde. Neben dem Zustandssymbol steht immer die übliche Mesonenbezeichnung und daneben die Masse = Ruhemasse + Massenäquivalent der Anregungsenergie in GeV/c^2 . Die Teilchen sind von unten nach oben nach steigender Masse angeordnet.

Ist aber noch keine Partikel als Vertreter eines der angeführten Zustände nachgewiesen worden, dann steht an der betreffenden Stelle nur das intermittierend unterstrichene Zustandssymbol. Bei den noch unentdeckten P-Tripletts von Bottomonium stehen abweichend davon die Mesonensymbole, die nach dem Auffinden zugeteilt werden sollen.

Charmonium = ($c\bar{c}$)

<u>$3^3S_1 \psi'' \approx 4,1$</u>		
<u>$2^3S_1 \psi' 3,684$</u>		
<u>$2^1S_0 \eta_c 3,590$</u>	<u>2^1P_1</u>	<u>$2^3P_2 \gamma_2 3,555$</u>
		<u>$2^3P_1 \gamma_1 3,510$</u>
		<u>$2^3P_0 \gamma_0 3,414$</u>
<u>$1^3S_1 \psi 3,095$</u>		
<u>$1^1S_0 \eta_c 2,980$</u>		

Bottomonium = ($b\bar{b}$)

<u>$4^3S_1 \Upsilon''' 10,572$</u>			
<u>$3^3S_1 \Upsilon'' 10,350$</u>			
<u>$3^1S_0 \eta_b$</u>	<u>3^1P_1</u>	<u>$3^3P_2 \gamma_{b3}$</u>	<u>3^3D_3</u>
		<u>$\gamma_{b2} 3^3P_1$</u>	<u>3^3D_2</u>
		<u>$\gamma_{b1} 3^3P_0$</u>	<u>3^3D_1</u>
			<u>3^3D_0</u>
<u>$2^3S_1 \Upsilon' 10,020$</u>			
<u>$2^1S_0 \eta_b$</u>	<u>2^1P_1</u>		
<u>$1^3S_1 \Upsilon 9,460$</u>			
<u>$1^1S_0 \eta_b$</u>			

Zur Identifizierung der Partikeln leistet die sogenannte **Ladungskonjugation C** wertvolle Hilfe. Je nachdem, ob die Wellenfunktion des Systems bei Vorzeichenwechsel aller Ladungen unverändert bleibt oder ihr Vorzeichen wechselt, erhält C den Wert +1 oder -1. Ist C = +1, dann zerfällt beispielsweise Positronium in eine gerade, gilt C = -1, in eine ungerade Anzahl von Photonen. (Der Zerfall in nur ein Photon widerspricht der Energie- und Impulserhaltung, ist also verboten.)

Positronium kann in 2, 3, 4 ... Photonen zerfallen, je nach dem herrschenden Anregungszustand. Seine Lebensdauer ist um so höher, je mehr Photonen beim Zerfall entstehen: 1^1S_0 zerfällt in 2 Photonen, C = +1, Lebensdauer $\approx 10^{-10}$ s, 1^3S_1 zerfällt in 3 Photonen, C = -1, Lebensdauer $\approx 10^{-7}$ s.

Die Kraft zwischen e^- und e^+ entspringt dem Austausch virtueller Photonen. Wird ein Photon ausgetauscht, dann trägt es zur Kraft proportional zur Feinstrukturkonstante $\alpha \approx 1/137$ bei. Werden zwei Photonen ausgetauscht, dann ist ihr Beitrag zu α^2 , sind es drei, zu α^3 proportional usw. Jede dieser Austauschmöglichkeiten tritt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf, also ist die Nettokraft durch eine Reihe

$$a_1\alpha + a_2\alpha^2 + a_3\alpha^3 + \dots$$

gegeben. Die Reihe konvergiert rasch, da α klein ist.

Analoges gilt für die Starke WW, die der Gluonenaustausch vermittelt. Aber die zugehörige Kopplungskonstante α_s beträgt etwa $1/5$, ist also viel größer als α . α_s nimmt ab, je näher die wechselwirkenden Quarks einander kommen, ist also im Grunde gar keine Konstante (asymptotische Freiheit der Quarks!). Beide Umstände erschweren die Erforschung der StWW erheblich.

Über die StWW liegen quantitative Beobachtungen nur im Bereich zwischen $2 \cdot 10^{-16}$ m und $2 \cdot 10^{-15}$ m vor. Das Kraftgesetz könnte etwa die Form

$$F = b + (a/r^2)$$

haben. Vorläufig weiß man nur, daß $b \approx 1,6 \cdot 10^5$ N ist. Das entspricht der Gewichtskraft von 16 Tonnen. a hängt vom - nicht konstanten - Wert der Kopplungskonstante α_s ab.

Weil Gluonen (g) Farbladung tragen, können sie - wie schon eingangs erwähnt - einander gegenseitig binden. Ähnlich wie man bei $q\bar{q}$ von Quarkonium spricht, heißen Bindungszustände von Gluonen **Gluonium (GM)**, g hat Spin 1, also ist die Anzahl der in GM enthaltenen Gluonen nicht durch das Pauli-Prinzip beschränkt und experimentell unbestimmbar. Wesentlich ist aber, daß GM nur „farblos“, das heißt farbladungsneutral, existieren kann. Die Klassifizierung der GM-Zustände erfolgt über die Quantenzahlen **S** für den **Gesamtspin**, **P** für die **Parität** und **C** für die **Ladungskonjugation**. (P = -1 oder +1, je nachdem die räumliche Spiegelung bei jeder Reaktion das Vorzeichen der Wellenfunktion ändert oder beläßt.)

Der Gesamtspin (= Eigenspin der g plus Bahnspin der g) kann die Quantenzahlen S = 0, 2, ... haben. Gilt S = 0, P = +1, so wird von skalarem,

S = 0, P = -1 von pseudoskalarem,

S = 2 von tensoriellem GM gesprochen.

GM mit S = 0 oder 2 ist am ehesten zu entdecken.

Gluonen sind zwar wie Photonen masselos, die Masse von GM stammt daher nicht von ihnen, sondern ist das Äquivalent der Bindungsenergie.

Der Artikel „Gluonium?“ in der Nr. 58 der Wiss. Nachr. befaßt sich bereits mit Gluonium. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, beschränken wir uns hier auf ergänzende Bemerkungen.

Berechnungen unter Zugrundelegung der Symmetriegruppen SU(2) und SU(3) von S. Sato (Univ. Tokio), G. Schierholz (Univ. Hamburg), M. J. Teper (DESY) und Ishikawa (Univ. New York) ergaben für GM mit S = 0, S = 2 die Masse ≈ 1 bzw. 1,5 bis 2 GeV/c². Die Gitter-Eich-Theorie ist eine neue Methode zur Berechnung von Eigenschaften der Elementarteilchen. Ganz grob angedeutet handelt es sich dabei um aufeinanderfolgende numerische Approximationen der Zielgröße in den Punkten eines Gitters, das bei schrittweiser Verfeinerung immer mehr dem kontinuierlichen Zustand nähert. K. G. Kreutz (Cornell Univ.) hat das neue Verfahren auf Hadronen, Quarks und GM angewandt. Er fand, daß sowohl die Konfinierung der Quarks in Hadronen als auch die asymptotische Freiheit der Quarks Konsequenzen der Theorie sind.

Die Halbwertszeit von GM dürfte bei 10^{-25} s liegen. Das schließt direkte Beobachtungen für immer aus. Der einzige Weg, GM zu identifizieren, ist ein indirekter, der sich auf solche Zerfallsprodukte stützt, die bei der Desintegration von Hadronen nicht entstehen können. Das erste Indiz für einen

stattgehabten GM-Zerfall ist das stark gehäufte Auftreten der Tochterteilchen in dem für GM in Betracht kommenden Massenbereich (Resonanz zwischen 1 und 2 GeV/c²). Ferner muß das zerfallene Teilchen Quantenzahlen besitzen, die man keinem Hadron zuordnen kann. Im Zuge des Zerfalls von Psi-Partikeln scheint im Hinblick auf die Quantenzahlen als GM-Kriterium auch hin und wieder eher ein GM entstehen zu können als bei anderen Reaktionen.

Zerfallsprodukte von GM mit S = 0, P = -1 sind

a) $\eta\pi\pi$, b) $K\bar{K}\pi$, c) $\gamma\gamma$.

Der Prozeß a) tritt auch sonst häufig auf, eignet sich somit schlecht für den GM-Nachweis. Der Prozeß b) ist ein „guter“ Prozeß, er könnte sogar schon einmal beobachtet worden sein. Der Prozeß c) ereignet sich nur selten beim Hadronenzerfall.

Daher sind die besten Ergebnisse bei Psi-Zerfällen zu erwarten. Im oben genannten Artikel „Gluonium?“ wurde über das Ereignis im Jahre 1981 berichtet, dessen Deutung als GM-bedingt auf schwachen Beinen stand, weil das E-Meson mit 1,42 GeV/c² fast dieselbe Masse hat wie das gesuchte GM mit 1,44 GeV/c². Was damals der Mark-II-Detektor nicht ganz schaffte, hat nun der Kristallkugel-Detektor in SLAC nachgeholt. Die fragliche Partikel hat genau 1,44 GeV/c² Masse. Außerdem ergaben sich die „richtigen“ GM-Quantenzahlen, nämlich S = 0, P = -1. (E hat hingegen S = 1, P = +1.)

Der SLAC-Kristallkugel-Detektor scheint noch in einem anderen Fall fündig geworden zu sein. Er registrierte den Zerfall eines Teilchens der Masse 1,67 GeV/c² (in Übereinstimmung mit den Berechnungen der Gitter-Eich-Theorie). Die Zerfallsprodukte sind zwei η -Mesonen und vier Photonen. Das spricht zugunsten eines Tensor-GM mit S = 2. Leider fiel auch ein bitterer Tropfen in den Wein, es traten viel weniger 4-Photon-Emissionen auf als vorausgesagt.

Dafür hat der Mark-II-Detektor neulich Psi-Zerfälle in zwei ρ^0 -Mesonen gemeldet, die ebenfalls entstehen können, wenn Psi zunächst in GM und dieses danach in $\rho^0\rho^0$ übergeht. Wahrscheinlich hat man da ein Tensor-GM erwischt mit S = 2.

Nachstehend noch eine Übersicht, bei welchen Quantenzahltripeln S, P, C sich die $q\bar{q}$ -Zustände von den GM-Zuständen (in denen GM aus zwei oder mehr g aufgebaut ist) unterscheiden (ja) oder nicht unterscheiden (nein). 0 bedeutet unmögliche Zustände.

S	P	C	Gluonium mit	
			2 Gluonen	mehr als 2 Gluonen
0	+1	+1	nein	nein
0	+1	-1	0	ja
0	-1	+1	nein	nein
0	-1	-1	nein	ja, $1,4 \pm_{0,4}^{10,8}$ GeV/c ²
1	+1	+1	0	nein
1	+1	-1	0	nein
1	-1	+1	0	ja, $2,36 \pm_{0,27}^{0,21}$ GeV/c ²
1	-1	-1	0	nein
2	+1	+1	nein	nein
2	+1	-1	0	ja
2	-1	+1	nein	nein
2	-1	-1	0	nein

Abschließend noch eine nicht uninteressante Bemerkung. In S = 0 GM halten sich die Gluonen am wahrscheinlichsten in einem sphärischen Gebiet um den Massenmittelpunkt von GM auf. Hingegen bevorzugen die Gluonen in Tensor-GM (S = 2) ein toroidales Gebiet um den Massenmittelpunkt.

LITERATUR:

1. Scient. Am., Juli 1981, S. 57, Glueballs.
2. Wiss. Nachr., April 1982, S. 41, Gluonium?
3. Scient. Am., Mai 1982, S. 42, E. B. Kloom, G. J. Feldman, Quarkonium.
4. Scient. Am., Nov. 1982, S. 122, K. Ishikawa, Glueballs.

Sind Quarks und Leptonen wirklich punktförmig?

Die Nachricht von der Entdeckung der W-Bosonen, den Vermittlern der Schwachen Wechselwirkung, hat vermutlich in einigen an diesen Dingen interessierten Menschen die Frage assoziiert, ob die Gebilde der dzt. einfachsten Komplexitätsstufe, nämlich **Quarks** und **Leptonen**, tatsächlich innerlich struk-

turlos, d. h. punktförmig sind, wie nach den bisherigen experimentellen Erfahrungen angenommen werden muß. Deshalb scheint es gerechtfertigt, das Thema in unserer Zeitschrift neuerlich aufzugreifen, obwohl es schon in Nr. 57 (Sept. 1981, S. 40, „Sind auch Quarks und Leptonen strukturiert?“) zur Sprache gekommen war. Die Aktualität des Problems wird auch durch den am Schluß zitierten Artikel in der Zeitschrift „Scient. American“ unterstrichen, weil er beweist, daß sich nach wie vor Physiker mit solchen Fragen beschäftigen.

Die Geschichte der Physik ist durch das allmähliche Vordringen der Erkenntnis zu immer tiefer liegenden Ebenen der materiellen Strukturelemente geprägt. Die oberste dieser Ebenen mit **Atomen und Molekülen** als den „letzten“ Trägern der stofflichen Erscheinungen ahnte – was die Atome betrifft – schon Demokrit, postulierte Dalton und erschloß Becquerel konkret. Die Entdeckung des Elektrons, ferner die Radioaktivität sowie die Streuversuche von Rutherford lehrten, daß die Auffassung der Atome als kleine Kügelchen zu sehr vereinfacht ist, die nächste Ebene war betreten, die Materie erschien in **Elektronen und Atomkerne** aufgelöst. Der radioaktive Zerfall entkleidete schließlich sogar die Atomkerne ihres elementaren Charakters. Mit der 1932 erfolgten Entdeckung von **Neutron und Positron**, ferner mit der Identifikation hunderter **instabiler** sogenannter **Elementarteilchen** in den folgenden Jahrzehnten war die Physik in die dritte Ebene der materiellen Konstituenten hinabgestiegen. Die zunehmende Strukturauflösung war jedoch noch nicht zu Ende. Im Jahre 1962 stellten M. Gell-Mann und G. Zweig die damals noch völlig spektakuläre **Quarkhypothese** auf. Sie begegnete am Anfang zurückhaltender Skepsis, bestätigte sich aber im Laufe der Zeit glänzend theoretisch und experimentell, obwohl es scheint, daß man nie individuelle Quarks absondern wird können. Alle Partikeln mit Ausnahme der Leptonen (Elektron, Myon, Tau-Lepton, deren Neutrinos sowie die zugeordneten Antiteilchen) bauen sich aus Quarks bzw. Antiquarks auf. (Die Mediatoren der Starken, Schwachen und Elektromagnetischen Wechselwirkung, nämlich Photonen, W^\pm , Z^0 , Gluonen, sind nicht als Bausteine, sondern, wenn der Vergleich erlaubt ist, eher als „Mörtel“ im Weltgebäude anzusprechen.) Quarks und Leptonen sind also die Repräsentanten der vierten Ebene, die der menschlichen Erkenntnis nun offenliegt.

Das ist der gegenwärtige Stand der Dinge. Wir verfügen über keinerlei experimentelle Befunde, die auf größere Tiefen hinweisen würden. Dennoch läßt die Erfahrung der sukzessiven Enttarnung der „Einheiten“ zu „Vielheiten“ den Gedanken reifen, es könnten noch weitere Substrukturen existieren. Das ist gut, haben doch derartige zunächst rein spekulative Extrapolationen in der Vergangenheit zu bedeutenden Fortschritten in der Naturerkenntnis geführt (aber auch in Sackgassen, was nicht gelehrt werden darf).

Warum werden Substrukturen erwogen?

Es gibt einen schwerwiegenden Grund, der die Existenz einfacherer Strukturelemente nahelegt. Die Anzahl der Quarks, Leptonen, ihrer Antiteilchen und des „Mörtels“, der sie aneinander bindet, ist noch immer zu groß, um sie als letzte Unterteilungen erscheinen zu lassen. 12 Leptonen, 8 Gluonen, 5 (wahrscheinlich 6) Quarks, ihre Antiquarks, alles in drei Farbzuständen, dazu noch Photon, W^\pm , Z^0 und das Higgsteilchen, ist doch ein bißchen viel!

Ein anderer Grund, an der Ursprünglichkeit der Leptonen und Quarks zu zweifeln, ist das reaktiv identische Verhalten der Partikeln innerhalb der **drei Teilchenfamilien**, die deutlich zu unterscheiden sind. Die beigefügte Tabelle enthält in jeder Zeile die Teilchen einer Familie, geordnet nach wachsender elektrischer Ladungszahl Q in Vielfachen der Protonladung:

Q	-1	-2/3	-1/3	0	+1/3	+2/3	+1
Elektronfamilie:	e^-	$\bar{\nu}_e$	d	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	\bar{s}	u	e^+
Myonfamilie:	μ^-	$\bar{\nu}_\mu$	s	$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	\bar{c}	c	μ^+
Taufamilie:	τ^-	$\bar{\nu}_\tau$	b	$\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$	\bar{b}	t	τ^+

Die Welt, in der wir leben, ist aus den Elementen der e-Familie aufgebaut. Sie könnte ebensogut aus den Konstituenten der μ^- - oder der τ^- -Familie bestehen, nur wäre sie dann kurzlebiger. Die **Unterscheidung** würde sich – soviel wir heute wissen – ausschließlich auf die **Partikelmassen** beschränken. Es ist kein Grund bekannt, weshalb eine zur bestehenden analoge Welt physikalisch nicht möglich wäre. (Wir können ja durch Energiezufuhr jederzeit Schnitte aus diesen beiden anderen Welten produzieren.) Warum besorgt die Natur „dasselbe“ in dreifacher Ausfertigung? Kein Mensch weiß, wie die beobachteten Massenwerte zustande kommen, obwohl danach

schon einige Jahrzehnte lang mit Scharfsinn geforscht wird. Als Beispiel einige Massenverhältnisse (der Index bezeichnet das Teilchen):

$$m_e = 206,8 \cdot m_e, \quad m_s \approx 20 \cdot m_d, \quad m_p = 0(?), \\ m_t = 3491,6 \cdot m_e, \quad m_b \approx 600 \cdot m_d, \quad m_w \approx 87 \cdot m_p, \\ (s = \text{strange-Quark, } b = \text{bottom-Quark, } d = \text{down-Quark, } p = \text{Proton, } e = \text{Elektron}).$$

Man ist ferner keineswegs sicher, ob nicht noch andere Teilchenfamilien (vielfach wird dafür der Terminus „Teilchengeneration“ verwendet) existieren, die wegen der großen Massen ihrer Partikeln in den bestehenden Beschleunigern nicht erzeugt werden können.

Die auffällige **Rolle der Zahl 3** ist ebenfalls ungeklärt: 3 Teilchenfamilien, die Dritteladungen der Quarks (aber nur 1, 2, 3 Drittel, nicht $4/3$ oder $7/3$ u. ä.), 3 Farbladungen und – sieht man von der im Mikrobereich kaum in Erscheinung tretenden Gravitation ab – 3 Wechselwirkungen (St., Schw., Elmgn.). Lediglich bei den Wechselwirkungen zeichnet sich in Form der Vereinheitlichungstheorien ein bedeutender Fortschritt ab (jüngst durch den Nachweis des W-Bosons glänzend gestützt), der leider auch nicht erklärt, weshalb durch **spontanes Symmetriebrechen** die im extremen Energienregime einheitliche Art der Wechselwirkung ausgerechnet in 3 Spielarten aufspaltet.

Subteilchen-Hypothesen

Genau so, wie die Newtonsche Mechanik durch die relativistische nicht aufgehoben, sondern als ausgezeichnete Näherung der Einsteinschen Version bei kleinen Geschwindigkeiten gültig geblieben ist, ebenso würde das heute anerkannte **Standard-Modell** des Mikrogesehens (seine Prognosen decken sich z. T. bis auf 10 Dezimalen mit den Meßwerten, und das bis in Bereiche von 10^{-18} m Ausdehnung!) bei Erweiterung durch Substrukturen wahrscheinlich als gut brauchbare Approximation der Wirklichkeit erhalten bleiben und benutzt werden.

Der Ausbau des Standard-Modells kann wohl nur in der Weise Erfolg bringen, daß man Quarks und Leptonen aus einfacheren Konstituenten aufgebaut annimmt. Sie werden von einigen Autoren **Präquarks** genannt, sie repräsentieren die fünfte Ebene im Abstieg zu grundlegenden Trägern des Weltgeschehens. Ihre Anzahl müßte sich natürlich stark verkleinern, u. U. durch den Nachweis, daß Verschiedenes oft Anregungszustand desselben ist.

Die Anzahl der Vorschläge für Modelle von Substrukturen der Quarks und Leptonen geht in die Dutzende. Das ist durchaus akzeptabel, man muß eben die Fühler nach allen Richtungen ausstrecken, um vielleicht in einer auf die Goldader zu stoßen. Ohne experimentelle Anhaltspunkte ist man auf theoretische Spekulationen angewiesen! Daß das höchst erfolgreich sein kann, lehrt das Beispiel der Allg. Relativitätstheorie, die Einstein durch reines Nachdenken schuf. Jedes der entworfenen Modelle hat seine Meriten, enthält aber auch Schwierigkeiten, so daß keines befriedigt. Solches Theoretisieren erfolgt überdies mit dem Bewußtsein, daß es sich als überflüssig herausstellen könnte, falls Leptonen und Quarks tatsächlich punktförmige Wesenheiten wären, aber das weiß man ja noch nicht.

Wir wollen nun zwei der hypothetischen Vorschläge besprechen und beginnen mit dem **Rischnonen-Modell** von **Haim Harari** (Weizmann Inst., Israel), das, wie schon eingangs erwähnt, in Nr. 57 der Wiss. Nachr. skizziert wurde. Deshalb möge die kurze Rekapitulation genügen.

a) Das **Rischnonen-Modell** begnügt sich mit den Teilchen T, V (vom hebr. **Tohu Vavohu** = formlos, leer) und ihren Antiteilchen \bar{T}, \bar{V} . Die elektrischen Ladungszahlen sind $+1/3$ für T, $-1/3$ für \bar{T} und Null für V und für \bar{V} . Ladungszahlen sind $+1/3$ für T, $-1/3$ für \bar{T} und Null für V und für \bar{V} .

Quarks sind **Rischnonentripel**, Antiquarks sind **Antirischnonentripel**, wobei verschiedene Reihenfolgen derselben Rischnonen unterschiedliche Quarks bzw. Leptonen darstellen.

Beispiele dazu sind

$$\begin{aligned} \overline{TTT} &= e^+, & \overline{TTT} &= e^-, \\ \overline{VVV} &= \nu_e, & \overline{VVV} &= \bar{\nu}_e, \\ \overline{TTV} &= u, & \overline{VVT} &= d, \\ \overline{VTT} &= \bar{u} & & \text{usw.} \end{aligned}$$

Das sind 2^3 Variationen mit Wiederholung der beiden Elemente T, V und ebensoviele von \bar{T}, \bar{V} , also insgesamt 16 in Übereinstimmung mit den 16 Partikeln einer Teilchenfamilie. Die Teilchen der Elektron-Familie werden als im Grundzustand, die der zwei anderen Familien als in angeregten Zuständen befindlich angesehen. Die Darstellung der drei Familien benötigt somit keine zusätzlichen Partikeln.

Was die Farbladung betrifft, so kann jedes T jede der drei Farbladungen, jedes V jede der drei Antifarbladungen annehmen. Die farblosen Tripel sind Leptonen, die farbigen sind

Quarks. Die Tripel mit gebrochener elektrischer Ladungszahl sind Quarks.

Das Modell erklärt nicht, weshalb stets 0, $\pm 1/3$, $\pm 2/3$, $\pm 3/3$ elektrische Elementarladungen, aber nie $5/3$ oder etwa $-4/3$ auftreten.

b) Das **Preon-Modell** von **C. Pati** (Univ. of Maryland, USA) und **A. Salam** (Inst. f. theor. Physik, Triest) war das erste Subteilchenmodell, aufgestellt im Jahre 1974. Die Subteilchen, **Preonen** genannt, verteilen sich auf drei Artengruppen: Die Gruppen der **Flavonen**, der **Chromonen** und der **Somonen**. Es werden postuliert

2 Flavonen als Träger der zwei **elektrischen** Ladungsarten,

4 Chromonen als Träger der drei **Farbladungsarten**, dazu noch ein **farbloser** Chromon,

3 Somonen als Träger der Eigenschaft, welche die Zugehörigkeit eines Quarks oder Leptons zu einer der eingangs erwähnten Generationen bestimmt.

Quarks wie Leptonen sind stets aus je einem Flavon, Chromon oder Somon aufgebaut zu denken. Allerdings ist noch eine Zusatzforderung zu erfüllen, weil gewisse Partikeln wie etwa u und ν_e oder d und e^- durch übereinstimmende Preontripel dargestellt sind.

Als Ausweg müssen einem Preon mehrere Eigenschaften zugebilligt werden, was gegen das Ausgangskonzept verstößt. Das Modell versagt auch bei der Erklärung, weshalb nicht auch 3 Personen der selben Artengruppe reale Teilchen erzeugen können. Aus diesen Gründen haben verschiedene Physiker das Pati-Salam-Modell Modifikationen unterworfen, ohne sämtliche – auch die hier nicht genannten – Schwierigkeiten auszuräumen.

Mit der Realisierung der den Standardteilchen (Leptonen, Quarks) anhaftenden Quantenzahlen durch geeignete Kombinationen der Quantenzahlen der Subteilchen (Preonen) ist es nicht getan, auch wenn einige, im Rahmen des Standardmodells nicht herleitbare Sachverhalte begründet werden können. Denn die ebenso wichtige Frage der **Dynamik der Prequarks** innerhalb der Standardteilchen muß in die Modelldiskussion einbezogen werden.

Die Prequarks sind in den Standardteilchen, die sie aufbauen, aneinander gebunden. Das legt nahe, diese Bindungskräfte einer weiteren fundamentalen Wechselwirkung zuzuschreiben. Das geschah, sie erhielt den Namen **Hyperfarbe**. Natürlich erregt das Einführen einer fünften Naturkraft Unbehagen, verstößt man doch auch dadurch gegen das angestrebte Ziel der Reduktion auf einfachere Strukturen. Zum Glück könnte es aber auch sein, daß sich starke, schwache und elektromagnetische Wechselwirkungen aus dem Hyperfarbkonzept herleiten lassen. Dazu existieren sogar historische Parallelen.

Ursprünglich galten die elektrischen, die magnetischen und die Kohäsionskräfte als selbständige, voneinander unabhängige Erscheinungen. Doch stellte sich der Magnetismus als relativistischer Bewegungseffekt elektrischer Ladungsträger heraus, und die Kohäsion entpuppte sich als van-der-Waals-Kraft, d. h. als Folgeerscheinung des Zusammenwirkens positiv und negativ geladener Objekte, falls sie zwar getrennt, aber doch in enger Nachbarschaft angeordnet sind. (Bsp.: Hüllenelektronen und Atomkerne benachbarter Atome oder Moleküle.)

Ähnliches gilt für die Kernkraft, wie die Starke Wechselwirkung ursprünglich genannt wurde, als sie noch auf den Austausch virtueller Pionen u. a. Mesonen zwischen den Kernbausteinen zurückgeführt wurde. Später fand man jedoch heraus, daß den Kräften zwischen den Kernbausteinen in Wahrheit der Austausch virtueller Gluonen zwischen den Quarks zugrunde liegt. Die Kernkräfte im alten Sinn sind ebenso ein Residualeffekt der fundamentalen Starke Wechselwirkung zwischen den Quarks, als es die van-der-Waals-Kräfte bzgl. der elektrischen Ladungen sind!

Vielleicht leiten sich die dzt. als fundamental eingestuft Wechselwirkungen in analoger Weise aus der Hyperfarb-Wechselwirkung her? Dann wäre dem Bestreben nach größerer Einfachheit Rechnung getragen.

Leider tritt noch eine andere gravierende Schwierigkeit auf, die der Unschärferelation $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ entspringt. Auf je kleinerem Raum (Δx) Objekte zusammengedrängt sind, desto größeren Spielraum hat ihr Impuls (Δp), also auch ihre kinetische Energie. Zur Ruhmasse eines Teilchens tritt das relativistische Massenäquivalent der kinetischen Energie seiner in Bewegung begriffenen inneren Konstituenten. Bei Atomen beträgt dieses Äquivalent der Bewegungsenergie der Hüllenelektronen und des Kerns als ganzem nur einige eV, ist also gänzlich unerheblich im Vergleich zur Atommasse. Die Bewegung der Kernbausteine (Protonen, Neutronen) im Kernvolumen von ca. 10^5 mal kleineren Durchmesser ist schon ausgiebiger. Das

Massenäquivalent dieser kinetischen Energie macht etwa 1% der Atommasse aus, ist also durchaus meßbar, wenn auch immer noch bescheiden. Quarks, die Bausteine des Nukleons, sind auf noch engerem Raum zusammengedrängt als die Kernbausteine im Kernvolumen. Dementsprechend größer ist das Massenäquivalent ihrer Bewegungsenergie. Es ist, wie eine einfache Rechnung lehrt, bereits von der Größenordnung des Nukleons, d. h. von Proton bzw. Neutron. Die Anregungszustände des Nukleons (nämlich die anderen Hadronen) sind mit Zusatzenergien ausgestattet, welche die Teilchenmasse bis auf das Doppelte steigern.

Wären die Standardteilchen aus Preonen aufgebaut, dann bewegten sich diese auf noch kleinerem Raum als die Quarks in den Nukleonen. Ihre kinetische Energie wäre dann von der Größenordnung 100 GeV, was dem Massenäquivalent von mehr als 100 Protonenmassen entspricht. Andererseits sind die aus den Prequarks zusammengesetzten Gebilde, also Quarks und Leptonen, mit weitem Abstand massenärmer. Manche Physiker sehen darin ein Faktum, das der Möglichkeit innerer Strukturen der Standardteilchen widerspricht. Zwar könnte das Argument dadurch entkräftet werden, daß bei der Bildung der Standardpartikeln eine derart große Bindungsenergie der Prequarks abgeführt wird, daß nur die beobachteten kleinen Massen übrigbleiben. Man denke an den auf ähnliche Weise verursachten Massendefekt der Atomkerne. Angesichts der Größe der abzuführenden Bindungsenergie ist diese Version ziemlich unwahrscheinlich.

Es besteht jedoch eine Möglichkeit, die Massendiskrepanz zu erklären. Falls nämlich die Prequarks die Ruhmasse Null hätten, würden sie sich wie die Photonen mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Das bedeutet u. a., daß der Schraubungssinn, der durch ihren Spin und ihre Bewegungsrichtung definiert ist, nicht verändert werden kann. (Das ist bei massiven Partikeln durchaus möglich, denn: Ihre Geschwindigkeit v ist kleiner als c . Für einen langsameren Beobachter entfernen sie sich von ihm und erscheinen ihm, sagen wir als rechtsschraubend. Für den rascheren Beobachter nähern sie sich ihm, erscheinen daher als linksschraubend, weil der Spin davon nicht betroffen ist. Im ersten Fall ist die Schraubensinn-Invarianz ein symmetrischer Zustand, im zweiten Fall nicht. Es könnte nun sein, daß das Zusammentreten der Prequarks bei der Bildung der Standardteilchen die Symmetrie spontan gebrochen wird, wobei Massenänderungen möglich sind. Wie der Symmetrieverlust zustande kommen könnte, ist natürlich dzt. völlig unbekannt, da man ja nicht einmal weiß, ob die Standardteilchen nicht doch strukturlos sind.

Nur das Experiment kann weiterhelfen. Dazu sind Beschleuniger im Tera-eV-Bereich nötig, denn die Überprüfung der Mikroverhaltensweisen auf kleinere Distanzen als den dzt. minimalen von 10^{-18} m wird erst dann die erforderlichen Hinweise geben. Das liegt bereits in Greifweite, weil die fortgesetzten CERN-Experimente eine genügend große Anzahl von W-Bosonen erwarten lassen, die dann auch gewisse Schlüsse oder zumindest Hinweise auf die hier erörterte Problematik zu geben versprechen.

Auch die Einrichtungen, mit denen die Stabilität des Protons getestet wird – vorläufig noch ohne Ertrag –, dürften zu Aussagen über die Strukturen von Standardteilchen führen.

LITERATUR:

Scient. Am., April 1983, S. 48, H. Hanari, The Structure of Quarks and Leptons.

Stochastische Kühlung

In jedem Teilchenstrahl, der in einem Speicherring zirkuliert, haben die Partikeln wohl sehr wenig verschiedene, aber doch nicht so wenig verschiedene Impulse, wie es für eine möglichst hohe Ausbeute bei den Kollisionen in der Wechselwirkungszone wünschenswert wäre. Denkt man sich einen Beobachter B mit dem Mittelwert der Teilchengeschwindigkeiten mitbewegt, so erscheinen ihm die Relativbewegungen der anderen Partikeln, wenn auf ihn bezogen, wie die Bewegungen der Gasmoleküle einem im Labor ruhenden Beobachter. Je stärker die Impulsschwankungen sind, für desto „heißer“ beurteilt B den Strahl, wenn er die Terminologie der Wärmelehre benützt. **Strahlkühlung** bedeutet somit das Bestreben, die Teilchengeschwindigkeiten soweit als möglich einander anzugleichen.

Die Methode der **Strahlkühlung durch Elektronen** wurde bereits in den Wiss. Nachr. (Nr. 45, S. 29, Electron-Cooling) besprochen. Durch Einschub von Elektronen in den Strahl positiver Ladungsträger (meist Protonen) bewirken die gegenseitigen Coulomb-Kräfte eine merkliche Angleichung der longitudinalen wie auch der transversalen Geschwindigkeitskomponenten der positiv geladenen Objekte. Da sich bei dieser Kühl-

methode Schwierigkeiten ergaben, faßen die CERN-Physiker die Methode der sogenannten **stochastischen Kühlung** für den Betrieb des Proton-Antiproton-Colliders in Genf ins Auge, die sich der ersten gegenüber als überlegen erwies und deshalb dort angewendet wird. Die stochastische Kühlung geht folgendermaßen vor sich.

An einer Stelle A des Speicherrings sind Elektroden eingebaut, die mit den Mitteln der Elektronik die Ladungsverteilung im Strahl zu einem bestimmten Zeitpunkt erkunden. Sie stehen mit dem Kickermagneten in Kommunikation, welcher an der zu A diametral gelegenen Stelle C des Ringes angebracht ist. Stellen die Elektroden bei A eine ungünstige Ladungsverteilung fest – d. h. einen „heißen“ Strahl –, so richten sie einen Korrekturbefehl entlang dem Durchmesser AC des Speicherringes an den Kickermagnet in C. Die Anweisung erreicht den Strahl bei C früher, als dort die Teilchen ankommen, die bei A abgefühlt wurden, weil sie den längeren Weg, nämlich $AC \cdot \pi$, zurücklegen müssen, ehe sie in C ankommen. Bei der Passage der Stelle C erfahren sie durch den Magneten die strahlkühlende Korrektur ihres Geschwindigkeitsprofils.

Dieses Spiel wiederholt sich und verbessert die Fokussierung des Strahls in der Wechselwirkungszone. Das ist besonders für die Speicherung der Antiprotonen von Nutzen, vor allem auch, weil sie schwieriger zu erzeugen und zu speichern sind als Protonen.

LITERATUR:

Physics Today, Februar 1982, S. 11, BMS, CERN-SPS Now Running as 540 GeV-pp-Collider.

Mit ^3He auf $100 \mu\text{K}$ vorgestoßen

Für das Erreichen sehr tiefer Temperaturen eignet sich in besonders guter Weise Helium. Das probateste Mittel ist die Entmagnetisierung der Kernspins, nachdem das He auf konventionellere Art gekühlt und die Kernspins in geordnetem Orientierungszustand „mitgenommen“ wurden. Seit zwei Jahren verwendet man zu diesem Zweck verdünnte Lösungen von ^3He in ^4He . Die Entmagnetisierung von beigefügten Cu-Kernen erweist sich dabei als sehr wirksam. Tatsächlich erreichte man im Labor auf diese Weise $0,4 \text{ mK}$. Das war den Physikern zu mager, und sie stellten Versuche mit anderen ^3He -Konzentrationen in ^4He an. Dabei stellte sich heraus, daß die Kopplung der Spins der Lösungen an Metalle am engsten ausfällt, wenn statt verdünnter Lösung reines ^3He verwendet wird.

Vordringlich ist die Verhinderung des Einkerns von Streuwärme ins Helium, die zum Teil über den Wärmepfad Metall \rightarrow Helium in die abzukühlende Probe gelangt. Als Gegenmittel wurde eine Doppelzelle benützt. Die innere Zelle, gefüllt mit He, befand sich im größeren Volumen der äußeren Zelle. Die Aufgabe der letzteren bestand in der Überwachung des thermischen Zustandes der inneren Zelle. Das Kühlmittel – im konkreten Fall Kupfer – wurde durch Immersion des fein zerteilten Metalls im Helium in möglichst guten Kontakt mit dem Helium gebracht, weil so eine besonders große Kontaktfläche dargeboten wird.

Bei der Temperaturmessung mußte auch das Thermometer gekühlt werden, was sich als besonders schwierig herausstellte. Die Sachlage wurde noch durch den Umstand verschärft, daß keine Fixpunkte der Temperatur bekannt waren, an denen das Thermometer geeicht hätte werden können. (Unter „normalen“ Laborbedingungen wird beispielsweise der Tripelpunkt des Wassers als Fixpunkt verwendet.) Auch deshalb hat man reines ^3He vorgezogen, denn der Übergang dieses He-Isotops in den supraleitenden Zustand bei niedrigem Druck ist feststellbar, er erfolgt in der Nähe von 1 mK .

Im Dezember 1982 konnte der Platindraht, das benützte Silber-Sinter-Thermometer und die B-Phase von ^3He bei $0,3 \text{ bar}$ Druck (Draht und Thermometer in die Flüssigkeit getaucht) auf etwa $130 \mu\text{K}$ gekühlt werden. Die Flüssigkeit scheint jedoch noch kälter gewesen zu sein.

Zur Gewährleistung des guten thermischen Kontaktes mit dem Pt-Draht wurden feines Pt-Pulver, vermenget mit isolierendem Material zwecks Ausschaltung von Wirbelströmen, aber auch im Ag-Sinter verankerte Drähte verwendet. In der inneren Zelle vibrierte ein Viskometer in Form einer Halbkreis-Drahtschleife aus Tantal von $0,124 \text{ mm}$ Durchmesser und 4 mm Länge im Volumen $10 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$, eingebettet in ein 14-mT -Magnetfeld. Bei Durchfluß von Wechselstrom vibrierte der Draht. Seine Schwingungsamplitude ergab sich aus der Wechselspannung, die durch die Bewegung induziert wurde. Je nach der Temperatur und ^3He -Phase bedingten Viskosität der Flüssigkeit

äußert sich dies in Frequenzänderungen der Drahtschwingungen, die ihrerseits die Stromstärke beeinflussen. Daraus ergibt sich indirekt die Temperatur des ^3He .

LITERATUR:

Nature, 7. 4. 1983, S. 695, A. M. Guénault et al., Colling Liquid ^3He to Around $100 \mu\text{K}$.

9 Phasen von Wassereis

Nicht nur Blut, auch Wasser ist ein besond'rer Saft! Nach unseren Erfahrungen mit den Zuständen auf anderen Monden und Planeten hätte ohne Wasser kein Leben auf der Erde entstehen können. Welche Entwicklung es genommen hätte, falls Wasser nicht bei $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ die größte Dichte besäße, ist kaum abzuschätzen. Dieser Eigenschaft verdanken wir das Gefrieren der Flüsse, Seen und Ozeane von oben her, weil Eis auf Wasser schwimmt und so die Lebewesen in den Gewässern der höheren Breiten im Winter am Leben bleiben. Wasser ist überdies das billigste, verbreitetste Lösungsmittel, ermöglicht doch die Struktur der Wassermoleküle diesen, sich zwischen die Bausteine vieler fester Stoffe zu schieben und damit deren Bindungskräfte unwirksam zu machen.

Das Wassermolekül hat die Form eines weit gespreizten Buchstabens V, dessen Schenkel den Winkel 104° einschließen. An der Spitze des V sitzt das O-Atom, an den freien Enden der Schenkel je ein H-Atom. Richtiger müßte man sagen ein O^{2-} -Ion bzw. je ein H^+ -Ion, denn die Elektronen der beiden H-Atome sind zwecks Vervollständigung der L-Schale der O-Hülle zur Edelgaskonfiguration in dessen Elektronenhülle einbezogen. Dadurch ist das Wassermolekül elektrisch polarisiert, was das oben erwähnte Lösungsvermögen bewirkt.

Wenn Wasser gefriert, vernetzen sich seine Moleküle unter normalen Umständen in solcher Weise, daß sie ein etwas größeres Volumen als in der flüssigen Phase einnehmen. Insgesamt sind nicht weniger als neun Wassereisphasen bekannt. Mit Eis I wird die uns vertraute Eismodifikation bezeichnet, Eis II bis Eis IX sind die Namen der anderen Phasen, deren Dichte die des Wassers bis zu 50% übertreffen kann. Voraussetzung für das Entstehen von Eis II bis IX sind neben hohen Drücken auch genügend tiefe Temperaturen.

Über die Phasen II bis IX ist noch wenig bekannt. Die theoretischen Aussagen widersprechen den Laborbeobachtungen, dies um so stärker, je weiter man sich von den Normalbedingungen entfernt. Am LLL (Lawrence-Livermore-Lab.) in Kalifornien beschäftigt man sich eingehend mit dem Problem. Dort wurden auch die Diskrepanzen zwischen theoretischer Prognose und experimenteller Erfahrung festgestellt.

So sollte Eis bei $-78 \text{ }^\circ\text{C}$ und 155 bar zu fließen beginnen (ohne flüssig zu sein!). Das trat aber erst bei 207 bar ein. Bei $-115 \text{ }^\circ\text{C}$ hätte der das Fließen auslösende Druck 310 bar betragen sollen, mußte aber auf 827 bar erhöht werden, ehe das Eis genügend plastisch wurde. Eis wird unter massivem Druck und sehr tiefer Temperatur bis zu dreimal härter als Eis I.

Man darf gespannt sein, was die Fortsetzung der Versuche an weiteren Fakten und an Vertiefungen des theoretischen Verständnisses bringen wird.

Die harten Eisphasen sind auch von astrophysikalischer Bedeutung. Einige Jupitermonde sind, wie aus den Fotos der Jupitersonden hervorgeht, mit Eis bedeckt, das von Meteoriteneinschlägen durch lokales Zerstoren der bedeckenden Gesteinsschicht freigelegt wurde.

In der Tiefe der Monde ist der Druck hoch genug, um Eis I in die härteren Phasen überzuführen. Die Härte vermindert die Plastizität und damit das Aufsteigen zur Oberfläche, verbunden mit Wärmeabtransport aus den Kerngebieten der „Wassermonde“. Die Folge: Das harte Eis schmilzt mangels Wärmeabfuhr nahe der Kernzone, in großer Tiefe müßte daher eine Schicht flüssigen Wassers existieren.

Um das Verhalten der harten Eisphasen besser zu erforschen, beabsichtigen W. Durham und sein Team, am LLL Eis bis auf $-196 \text{ }^\circ\text{C}$ ($=77 \text{ K}$) abzukühlen und es Drücken bis zu 6 kbar zu unterwerfen.

LITERATUR:

Sterne und Weltraum, April 1983, S. 178, W. Baier, Hartes Eis in Jupitermonden.

Messungen der Polwanderungen

Die Rotationsachse der Erde führt nicht nur die Präzessions- und die Nutationsbewegung aus, ihre räumliche Orientierung unterliegt auch noch anderen Einflüssen, die in den Schwan-

kungen der Koordinaten der Erdpole sowie in geringfügigen, irregulären Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit ihren quantitativen Ausdruck finden. Die Präzision im Verfolgen dieser **Polwanderungen** hängt entscheidend von der Güte der Meßgeräte ab. Durch den Einsatz der Laser- und Radartechnik waren neue Wege beschreibbar geworden, die in vielversprechender Weise die Güte der Meßergebnisse zu steigern vermögen.

Die Internationale Astronomische Union sowie die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik haben in enger Zusammenarbeit das Projekt MERIT ins Leben gerufen, das die Aufgabe verfolgt, auf nationaler und globaler Basis mit Hilfe der neuen Techniken genauere Aufschlüsse als bisher zu erhalten. Die ersten Ergebnisse rechtfertigen diese Hoffnung, sie gründen sich auf eine 400tägige Beobachtungszeit vom November 1980 bis Dezember 1981. Die nachstehend skizzierten Methoden wurden und werden angewendet.

a) Die mehrere Tausend Kilometer voneinander entfernten Antennen des **VLBI-Systems (Very Long Base Interferometry)** erhalten infolge der unterschiedlichen Positionen die von den aktiven (extragalaktischen) und passiven (Satelliten, Mond als Reflektoren) Quellen einlangenden Signale zu etwas verschiedenen Zeitpunkten. Schwankungen in der Achsenrichtung der Erde und der Winkelgeschwindigkeit ihrer Eigenrotation beeinflussen in auswertbarer Weise die Ankunftszeiten. Aus den Zeitunterschieden folgt daraus die jeweilige Polposition koordinatenmäßig. U. a. haben zwei Antennen in Europa und drei in den USA während der Monate September, Oktober des Jahres 1980 simultan derartige Messungen vorgenommen.

b) Der **Lageos-Satellit** hat eine gut bekannte Umlaufbahn um die Erde, er eignet sich daher für die Anwendung der **SLR-Methode (Satellite Laser Ranging)**. Die Bodenstation sendet kurze Radiopulse zum Satelliten, der sie wieder zur Erde reflektiert, wo sie die sogenannten **Tracking-Stationen** empfangen. Aus den Ankunftszeiten der Radarechos ergeben sich sehr genaue Einblicke in den Verlauf der Polwanderungen. Bestimmt werden x- und y-Koordinaten der Durchstoßpunkte der Erdoberfläche durch die Erdoberfläche.

c) Die **LLR-Methode (Lunar Laser Ranging)** verwendet die Radarechos vom Mond, auf dem seinerzeit der Retroreflektor aufgestellt wurde. Er sendet den einlangenden Radiostrahl gut gebündelt zur Erde zurück. Die Messungen hat das MacDonald Observatory, Univ. of Texas, durchgeführt, während man am **MIT (Massachusetts Inst. of Technology)** die anfallenden Daten analysiert. Die Beobachtungen erfolgten an 50 Tagen während eines Zeitraumes von 400 Tagen.

Die gegenwärtig erzielte Genauigkeit ist beeindruckend: Die Standardabweichung der **Abszisse** des jeweiligen Polortes beträgt nicht mehr als **20 cm!**

Aus dem Verlauf der Polwanderungen hofft man, die physikalischen Ursachen der Irregularitäten aufzudecken.

LITERATUR:

Nature, 7. 4. 1983, S. 509, W. E. Carter et al., Comparison of Earth Rotation as Inferred from Radiointerferometric, Laser Ranging and Astrometric Observations.

Petra Schulz

Die angenehme Physik beim Paukenschlag

So richtig auf die Pauke hauen kann ein Musiker und trotzdem dabei einen angenehmen Klang verbreiten. Das geschieht jedem Orchesterstück, bei dem Kesselpauken mitspielen. Der amerikanische Physiker Thomas D. Rossing von der Northern Illinois University ist dem Geheimnis des Paukenwohlklangs nachgegangen, berichtete „Spektrum der Wissenschaft“ Anfang des Jahres.

Er fand heraus, daß sich die Atome im Trommelfell einer Pauke nicht ideal verhalten, sich also nicht wie artige Kinder benehmen. Werden die Teilchen zum Schwingen und damit gleichzeitig zum Musizieren aufgefordert, tanzen einige als Störenfriede aus der Reihe. Statt Schall produzieren sie lieber Wärme oder hauen den Luftmolekülen über Gebühr auf den Kopf, so daß auch weit entfernte Moleküle etwas von dem Schlag zu spüren bekommen. Dank dieser stets vorhandenen unruhigen Gesellen entstehen harmonische Töne, deren Frequenzen sich etwa wie zwei zu drei zu vier zu fünf zu sechs verhalten.

Rossing und Mitarbeiter haben diese verschiedenen Frequenzen sogar sichtbar machen können, indem sie das Trommelfell mit Pulver bestreut haben. Die Forscher erhielten auf diese Weise schöne, symmetrische Bilder, die Weihnachts-

schmuck ähnelten. Die Muster bildeten sich, weil die Pulverkörnchen von den Schwingungen des Trommelfells mitgerissen wurden. An den Stellen der Membran, wo die trommelnden Teilchen ruhten, lag am Ende kein Pulverstaub mehr.

Die Versuche zeigten: Die Teilchen in der Trommelfellmembran führen zweierlei Schwingungen (Moden) aus, die man sich am besten als ein Ballett von tanzenden Teilchen vorstellen kann. Zirkularmoden (Kreiswellen) entstehen, wenn eine kreisförmig aufgestellte Tänzergruppe rhythmisch von innen nach außen läuft. Je nach Paukenschlag haben sich ein, zwei, drei oder mehrere Tänzerkreise ringförmig umeinander (konzentrisch) aufgestellt. Jeder einzelne Kreis schreitet dann nur bis zum nächsten Reigen und kehrt dann wieder um.

Das Gegenstück bilden die Radialmoden. Hierbei haben sich die Ballett-Tänzer gleichmäßig über den federnden Tanzboden verteilt. Sie haben die Aufgabe, auf- und abwärts zu hüpfen. An Hand des Paukenanschlages wissen sie, wie sie sich zu bewegen haben. Die Tanzgruppe teilt sich entweder wie eine Torte in zwei Hälften, vier Viertel, sechs Sechstel oder acht Achtel und so weiter auf. Die einzelnen Tortenstücke hopsen abwechselnd aufwärts und abwärts und danach in die umgekehrte Richtung.

Zirkular- und Radialmoden können auch gleichzeitig auftreten. Einen Ton nehmen wir wahr, weil die tanzenden Teilchen auch noch Luftmoleküle mitreißen. Die Trommel einer tschingdarassabum-machenden Straßenkapelle dagegen, die fälschlicherweise ebenfalls Pauke genannt wird, vermittelt keine harmonischen Töne, sondern nur ein undefinierbares Tongewirr.

LITERATUR:

Spektrum der Wissenschaft, Jänner 1983, S. 56-65.

Kernkraftwerke Ende 1982

Der Anteil der kommerziellen Kernreaktoren an der Versorgung der Menschheit mit elektrischer Energie hat im Jahre 1982 gegenüber 1981 eine **Steigerung von 8% auf 9%** erfahren. Die aus Kernreaktoren gewonnene elektrische Leistung betrug Ende 1982 global **105,8 GW**. Der wachsende Einsatz von Kernkraftwerken ist u. a. auch daran zu erkennen, daß zum letztgenannten Zeitpunkt bereits 6 Staaten mehr als ein Viertel ihrer elektrischen Leistung nuklearen Prozessen entnehmen, und zwar beträgt der Anteil in

Frankreich	40 %
Schweden	36 %
Finnland	35,8%
der Schweiz	28,1%
Belgien	25,4%

Von der UdSSR liegen keine Daten vor, die USA besitzen zwar die meisten kommerziellen Reaktoren, aber wegen der Größe des Landes kommen diese für nur 13% der Versorgung mit elektrischer Energie auf.

Die Anzahl der Ende 1982 in Betrieb stehenden Kernkraftwerke beträgt in

USA	72
UdSSR	37
Frankreich	32
Großbritannien	32
Japan	25
BRD	15
andere Länder zusammen	54
globale Summe	279

d. s. 8 mehr als 1981.

In Frankreich sollen bis zum Jahre 2000 sogar 85% der elektrischen Energie aus Kernkraftwerken stammen. Die übrigen Energieträger werden dann in erster Linie zum Auffangen von Spitzenbelastungen herangezogen werden.

Im Jahre 1982 standen in **24 Staaten Kernreaktoren in Betrieb**, in **17 Ländern bestanden feste Pläne** zur Errichtung von Kernkraftwerken. Ende 1982 waren

163 Reaktoren im Bau,
13 bestellt und
172 geplant.

China will in Shanghai bis 1988 zwei Druckwasserreaktoren von je 300 MW elektrischer Leistung bauen lassen.

In Südamerika verfügt **Brasilien** über bereits arbeitende Reaktoren.

Japan und **Indien** besitzen kommerziell betriebene Wiederaufbereitungsanlagen.

In **Südkorea** läuft ein Programm für schnelle Brüter.

LITERATUR:

Scient. Am., Juli 1983, S. 58, Reactor Power.

Der Meteorit, der vom Mond kam

Die Herkunft der Meteoriten ist ein Problem, dem man schon seit langem nachgeht, ohne es trotz Einsatz der verschiedensten hochmodernen Geräte lösen zu können. Zwar steht ziemlich fest, daß sie dem Sonnensystem angehören. Das wird aus dem Vergleich der meteoritischen, irdischen und lunaren Isotopenverhältnisse geschlossen. Aber dezidiert zu sagen: „Dieser Stein stammt von dem Planeten oder jenem Mond“, dürfte sich noch niemand erlauben. Zwar wurden schon wiederholt konkrete Außerungen dieser Art vorgebracht, aber alle riefen alsbald gewichtige Zweifel hervor, so daß alles offen blieb.

Nun stieß man jedoch im Eis der Antarktis auf einen Meteoriten, von dem nahezu mit Gewißheit gesagt werden darf, er stamme vom Erdenmond! Im Artikel „Aminosäuren in Meteoriten“ (Wiss. Nachr., Nr. 63, S. 41) wurde berichtet, daß gewisse Gebiete der Antarktis, die sogenannten **blauen Eisfelder**, reichhaltige Fundgruben für Meteoriten sind. Dort fanden Geologen im Jänner 1982 u. a. einen Steinmeteoriten von 31 g Masse, der sich von den übrigen Steinmeteoriten stark unterscheidet. Schon der äußere Anblick lenkte die Aufmerksamkeit der Experten auf das Objekt. Er ist mit einer glasigen, grünlichen Kruste bedeckt, die Flußbrillen zeigt, wie sie beim Erhitzen während des Fluges in der Atmosphäre durch das abschmelzende Material entstehen. Unter der Kruste ist der Stein staubgrau.

Das ungewöhnliche Aussehen veranlaßte eingehende Untersuchungen. Im Mikroskop verriet die betrachteten dünnen Plättchen, daß der Meteorit eine **Breccie** ist, d. i. ein zusammengebackenes Gemisch von Staubkörnern und Steinfragmenten. Breccien können bei Kollisionen zwischen Asteroiden entstehen, wie man bei vielen anderen meteoritischen Breccien annimmt. Unser Stein enthält jedoch Späne, die größtenteils aus **Anorthosit** (ein Silikat mit viel Ca und Al) bestehen. Das Mineral ist auf der Erde nicht beheimatet, wohl aber in den Hochländern des Mondes. Die Ähnlichkeit des antarktischen Meteoriten mit den anorthositischen Mondsteinen ist so groß, daß sogar Fachleute Schwierigkeiten hätten, unseren Stein in einer Kollektion lunarer Proben zu identifizieren!

Von den bereits laufenden chemischen Analysen sind zwei bereits beendet. Auch sie sprechen für die lunare Herkunft. Ferner zeugen die Isotopenverhältnisse bei den Elementen O und Mn dafür.

Als weitere Prüfung ist der vorhandene Anteil des Isotops ^{26}Al zu bestimmen. Daraus erhofft man Auskunft über die Zeitdauer, in der der Stein der kosmischen Strahlung ausgesetzt gewesen war, bei der das Isotop ^{26}Al entsteht. Stellt sich diese Zeit als so kurz heraus, wie der Schleudervorgang zur Erde dauert (der Meteorit kann nur aus tiefen Mondstellen kommen, weil nur so die hiezu nötige Explosionswirkung ausreicht), fehlt also ^{26}Al in der Probe, dann wäre die lunare Herkunft gewiß. (Auch in den Stein eingeschlossene Edelgase könnten die Abkunft vom Mond bezeugen.) Die Halbwertszeit von ^{26}Al ist 730 000 Jahre. Das Gleichgewicht zwischen Neubildung durch Reaktionen mit der kosmischen Strahlung und dem Zerfall des Radionuklids ist nach 10 Halbwertszeiten hergestellt. Sollte die Untersuchung ergeben, daß das Gleichgewicht schon eingetreten ist, dann wäre der lunare Ursprung auszuschließen. Da nach dem heutigen Wissensstand unser Mond der einzige Träger von Anorthosit im ganzen Planetensystem zu sein scheint, müßte diese Auffassung revidiert und die Suche nach anderen Anorthositträgern im Sonnensystem aufgenommen werden. Man wird ja sehen!

Nebenbei wäre noch kurz zu berichten, daß bei den sogenannten SNC-Meteoriten (benannt nach den Anfangsbuchstaben ihrer mineralischen Konstituenten) ein gewisser Verdacht besteht, sie könnten vom Mars gekommen sein. Doch ist es schwer vorstellbar, wie das ansehnliche Schwerefeld des Roten Planeten überwinden werden könnte.

LITERATUR:

Sky and Tel., Februar 1983, S. 122, A. Chaikim, A Stone's Throw from the Planets.

Unsichtbare kosmische Materie

Bis vor nicht allzulanger Zeit brachten uns das Licht ausführliche, die Gravitation im Vergleich dazu eher spärliche Nachrichten über die außerirdische Materie. Absorptionslinien in den

Spektren von Sternen und Galaxien zeigten wegen der anders wohl kaum erklärbaren Abweichungen ihrer Dopplerverschiebungen gegenüber jenen der Emissionslinien die Existenz nicht-leuchtender Materie in der Sehnlinie zu den emittierenden Objekten an. Die Keplergesetze informierten über einige wichtige Eigenschaften von Doppelsternen, insbesondere von den Bedeckungsveränderlichen. Auch die wellenförmige Gestalt der Bahnen einiger Sterne (Sirius!) wies auf das Vorhandensein eines unsichtbaren Begleiters hin.

IR-, UV-, Radio- und Röntgenastronomie machten zusätzlich viele optisch nicht wahrnehmbare Himmelskörper der Erforschung zugänglich, falls diese nur irgendeine, genügend kräftige elektromagnetische Strahlung, d. h. Licht im weitesten Sinne, aussenden. Trotzdem wird auch auf diese Weise sicher nicht alle stellare und interstellare Materie erfaßt. Mancher Sternfreund mag sich deshalb schon die Frage vorgelegt haben, ob nicht die dzt. betriebene Himmelskunde nur einen Teil des kosmischen Geschehens zu erkunden vermag. Könnten doch erkaltete Sterne und – falls vorhanden – dunkle Planeten sowie unbemerkte Gasansammlungen oder Staubwolken die Weiten des Weltalls bevölkern, ohne uns ihr Dasein zu verraten.

Dazu gesellt sich die Frage, ob das Universum offen oder geschlossen ist, d. h., ob die Gravitation der kosmischen Materie ausreicht, die Expansion des Kosmos zu stoppen oder ob sie der Flucht ins Unendliche niemals Einhalt gebieten können wird. Entscheidend ist hierfür die mittlere materielle Dichte ρ im Universum. Der kritische Wert ρ_0 beträgt $5 \cdot 10^{-30} \text{ g/cm}^3 = 5 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$. Größere Dichte würde die Expansion beenden, geringere nie. Nach unserem jetzigen, auf – im allgemeinsten Sinne – leuchtende Materie gestützten Wissen beträgt die mittlere Dichte nur etwa $7,5 \cdot 10^{-32} \text{ g/cm}^3$ (das sind drei H-Atome pro m^3 !), liegt also um schwach zwei Größenordnungen (genauer um den Faktor 70) unter dem kritischen Wert.

Andererseits bestehen Anzeichen, daß in den Galaxien, den maßgeblichsten Konzentrationen kosmischer Massen, mehr Materie enthalten sein muß, als aus den optischen Informationen hervorgeht. Zur Behebung der Schwierigkeiten hat man sich Verschiedenes ausgedacht. So könnten Neutrinos eine von Null verschiedenen Ruhemasse besitzen, sich also mit Unterlichtgeschwindigkeit bewegen, und bei Kollisionen mit Photonen so viel an Geschwindigkeit einbüßen, daß ihr gravitativer Einfluß durch Galaxien möglich wäre. (S. Wiss. Nachr. Nr. 55, Jänner 1981, S. 35, Neutrinooszillationen?) Ja, man dachte sogar an ultrakalte (d. h. energiearme) Photonen, die durch spontanen Bruch von Symmetrien in Zustände mit von Null verschiedener Ruhemasse aufspalten und analog zu den Neutrinos die galaktische Materie vermehren könnten. (S. Wiss. Nachr. Nr. 57, Sept. 1981, S. 41, Eine erregende Vision!)

Verlässlichen Aufschluß über die Masse einer materiellen Ansammlung A gewinnt man aus der Geschwindigkeit, mit der sich ein Körper K unter dem Zwang der Schwerkraft um A bewegt. Die Kreisgeschwindigkeit v im Abstand r vom Zentrum Z der Ansammlung A erhält man durch Gleichsetzen von Schwerkraft und Zentripetalkraft

$$mv^2/2 = GmM/r^2, \quad v = \sqrt{GM/r},$$

wobei m, M die Massen von K bzw. A bedeuten. Die Formel bleibt exakt richtig, wenn A sphärisch Gestalt und konstante Dichte hat. Sie bleibt aber auch richtig, falls die Bahn von K im Inneren von A verläuft. Allerdings sind dann M, v bzw. durch M, v, zu ersetzen. M, ist die Masse jener Teile von A, die von Z keinen größeren Abstand als r haben. (Die unbehinderte Bewegung im Inneren von A ist durchaus möglich, wenn A körnige, weitmaschige Struktur hat. Die Sterne in einer Galaxie sind als „Körner“ aufzufassen, die in so großen gegenseitigen Distanzen angeordnet sind, daß Sternkollisionen zu den unwahrscheinlichsten Ereignissen gehören.)

Für konstante Massendichte wächst M, wie r^3 , also wächst v, proportional zu r

$$v_r = r \cdot \sqrt{G_0 \pi / 3} = r \cdot q.$$

Betrachtet man die Helligkeitsverteilung in einer Spiralgalaxie als repräsentativen Indikator der Massenverteilung, dann müßte wegen der nach außen abnehmenden Helligkeit der Galaxien auch die Dichte radial nach außen sinken und v, bei wachsendem r hinter dem Sollwert $r \cdot q$ zurückbleiben.

Zur Verdeutlichung betrachten wir besonders einfache Fälle.

1) A sei eine Kugel vom Radius R von konstanter Dichte ρ .

II) A sei eine Kugel vom Radius R, deren Massendichte vom Wert ρ_0 im Zentrum Z linear nach außen auf den Wert Null an der Kugeloberfläche abnimmt: $\rho_R = 0$.

Wir wollen nun v_r in Abhängigkeit von r rechnerisch und graphisch darstellen.

Fall I: $\rho_r = \rho_0 = \text{konst.}$

a) $0 \leq r \leq R$: $M_r = 4r^3 \pi \rho_0 / 3$,

$$v_r = \sqrt{GM_r/r} = 2r \cdot \sqrt{G\pi\rho_0/3}$$

b) $r = R$: $v_r = 2R \cdot \sqrt{G\pi\rho_0/3}$

c) $R \leq r$: $v_r = \sqrt{GM_R/r} = (2R/\sqrt{r}) \cdot \sqrt{G\pi\rho_0 R/3}$

Um den wesentlichen Verlauf des Funktionsgraphen deutlich zur Geltung zu bringen, setzen wir $\sqrt{G\pi\rho_0/3} = 1$, $R = 1$ und erhalten

$$v_r = \begin{cases} 2r & 0 \leq r \leq 1 \\ 2/\sqrt{r} & 1 \leq r \end{cases}$$

mit dem in Abb. 3a dargestellten Funktionsbild.

Fall II: $\rho_r = \rho_0 - (r\rho_0/R)$.

a) $0 \leq r \leq R$: $M_r = \frac{4\pi\rho_0}{3} \int_0^r r^2 \cdot dr \cdot (1 - \frac{r}{R}) = \frac{\pi\rho_0}{9R} r^3 (4R - 3r)$

$$v_r = \sqrt{GM_r/r} = r\sqrt{4R - 3r} \cdot \sqrt{G\pi\rho_0/9R}$$

b) $r = R$: $v_R = R \cdot \sqrt{G\pi\rho_0/9}$

c) $R \leq r$: $v_r = \sqrt{GM_R/r} = (R/\sqrt{r}) \cdot \sqrt{G\pi\rho_0 \cdot R}$

Mit $\sqrt{G\pi\rho_0 R} = 1$, $R = 1$, ergibt sich

$$v_r = \begin{cases} r\sqrt{4-3r} & 0 \leq r \leq 1 \\ 1/\sqrt{r} & 1 \leq r \end{cases}$$

Den zugehörigen Graphen zeigt Abb. 3b.

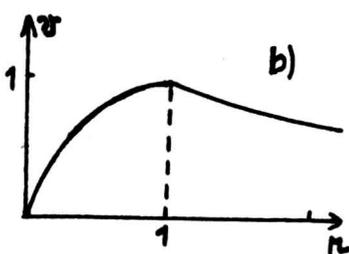
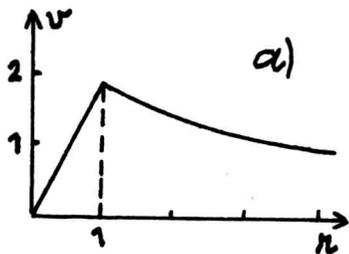


Abb. 3

Bekanntlich rotieren die Objekte unserer Milchstraße um die Milchstraßenachse, die normal zur Scheibe des Sternsystems verläuft. Dasselbe gilt für die Spiralgalaxien und bietet die Möglichkeit, über das Ausmaß an dunkler Materie Auskunft zu erhalten. Auch kleinere Systeme wie etwa Kugelsternhaufen besitzen Drehimpuls, so daß derselbe Weg auch bei ihnen gangbar wird.

Der Dopplereffekt setzt uns in die Lage, die Bahngeschwindigkeiten der Sterne in verschiedenen Abständen zur Drehachse eines Kugelhaufens oder einer Galaxie zu messen. Das geht am leichtesten bei Galaxien, die von der Kante zu sehen sind, wenn also die Sehlinie senkrecht zur Rotationsachse orientiert ist. Beträgt die der kosmischen Expansion zuzuschreibende Geschwindigkeit des Massenzentrums des Sternsystems V , und ist die größte beobachtete Bahngeschwindigkeit eines Sterns relativ zu Z gleich v_{max} , dann pendelt die Geschwindigkeit der anderen Sterne, entsprechend ihren Achsenabständen, zwischen $V - v_{\text{max}}$ und $V + v_{\text{max}}$. Die beiden Schranken sind in der Bewegungsphase für uns realisiert, in der sich die achsenfernten Sterne direkt auf uns zu bzw. direkt von uns weg bewegen. Im ersten Fall sind die Spektrallinien gegenüber jenen aus der Systemmitte stammenden nach Blau, im zweiten Fall nach Rot verschoben.

Orientiert man den Spalt des Spektrometers parallel zur Kante der Galaxie, dann ist das eintreffende Licht in der einen Spalthälfte nach Blau, in der anderen nach Rot verschoben u. zw. beides umso stärker, je mehr das Quellgebiet vom Zentrum Z der Galaxie absteht. Die Spektrallinien verlaufen daher etwas schräg zum Spalt, wie in Abb. 4 angedeutet. Die in die Figur eingetragenen, zur λ -Achse senkrechten Linien können von Hintergrundsternen stammen, die schräge Linie gehört zur Galaxie.

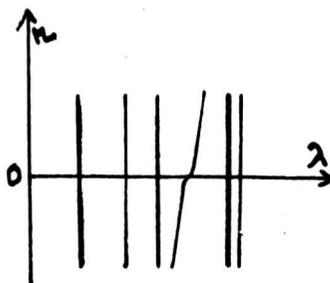


Abb. 4

Jeder Punkt der schrägen Linie verrät die Drehgeschwindigkeit der Sterne im Abstand r von der Systemmitte, denn die Spaltmitte ist ja auf das Systemzentrum ausgerichtet.

Wird der Spalt hingegen senkrecht zur Kante der Galaxie eingestellt, dann bewegen sich die nunmehr sichtbaren Teile des Sternsystems senkrecht zur Sehlinie und erleiden keine relative Dopplerverschiebung bzgl. der des Systems. Die schräge Spektrallinie ist also ein v - r -Diagramm der beobachteten Galaxie. Und das ist der springende Punkt.

Wäre nämlich nur leuchtende Materie vorhanden, müßte das v - r -Diagramm so verlaufen, wie es dieser Massenverteilung entspricht. Galaxien und Kugelhaufen werden von Z nach außen hin lichtschwächer, also müßte auch die Drehgeschwindigkeit nach außen hin etwa in der Weise abnehmen, wie es der einfachste Fall einer linearen radialen Dichteabnahme in Abb. 1b zeigt.

Ist jedoch nichtleuchtende Materie vorhanden, dann hat das v - r -Diagramm eine andere Form. Nach anfänglich fast geradlinigem Verlauf senkt es sich weniger ab, als wenn dunkle Materie fehlen würde.

Die Dinge liegen natürlich mathematisch bedeutend schwieriger, schon wegen der meist fehlenden Kugelsymmetrie. Aber im Prinzip erhält man durch Auflösen der Gleichung für v_r (siehe Fall II; i. a. ist die Gleichung erheblich komplizierter und bedarf des Einsatzes leistungsfähiger Computer) nach M_r die gesamte Masse des Systems innerhalb des Zentralabstandes r und damit auch die vollständige Systemmasse M_R . Voraussetzung ist natürlich das Vorliegen ausreichender Beobachtungsdaten.

Die Autorin des unten angegebenen Scient. Am. Artikels, Vera C. Rubin, hat in Zusammenarbeit mit W. K. Ford jr., N. Thonnard und D. Burstein in den letzten 7 Jahren auf die oben geschilderte Art die dunkle Materie in einer Reihe von Galaxien nicht nur identifiziert, sondern auch, so gut es ging, quantifiziert. Von entscheidender Hilfe war der Einsatz von CCD-Sensoren, ohne die der zumeist nur winzige Effekt nicht nachgewiesen hätte werden können. Das Wichtigste: Keine dunkle Materie kann sich diesem Zugriff entziehen. Das Licht der beobachteten Galaxien stammt aus Wolken von leuchtendem Wasserstoff und Helium in der Umgebung heißer Sterne. (Wegen der großen Distanz sind

Einzelsterne für die Untersuchungen zu lichtschwach.) Ferner erzeugen auch Beimengungen von ionisiertem Stickstoff und Schwefel erkennbare Linien.

Die Forschergruppe hatte schon im Jahre 1983 an die 60 Spiralgalaxien untersucht, davon je 20 der drei mit Sa, Sb, Sc bezeichneten Typen. Arbeitsgeräte waren zumeist die 4-m-Fernrohre des Kitt Peak Nat. Obs. in Arizona und des Inner-amerikanischen Obs. Cerro Tololo in Chile, in geringerem Maße das 2,5-m-Teleskop des Las Campanas Obs. in Chile. Die Expositionen der besonders vorpräparierten Fotoplatten dauerten 2 bis 3 Stunden. (Ohne Plattenvorbehandlung und ohne Bildverstärker hätte man 20 bis 60 Stunden belichten müssen.)

Von jeder Galaxie machte man zwei Aufnahmen, eine mit dem Spektrometerspalt parallel zur großen Achse, die andere senkrecht zu ihr, also in Richtung der viel kürzeren kleinen Achse, das System war ja so ausgewählt worden, daß wir es von der Kante her sehen. Diese Galaxien erscheinen als sehr langgestreckte Ellipsen mit einer Ausbuchtung rings um ihr Zentrum. Bezugssystem für den Dopplereffekt sind die unverschobenen OH-Linien aus der Erdatmosphäre. Als Radius der Galaxie gilt der Zentralabstand, in dem der letzte Lichtschimmer verschwindet (d. s. 25" pro Bogensekundenquadrat für den 1,2-m-Schmidtspiegel auf dem Mt. Palomar). Die Distanz der Galaxien liefert die Hubble-Beziehung. Die Hubble-Konstante wurde mit 50 km/s/Mpc angesetzt.

Gäbe es in den betrachteten Galaxien keine dunkle Materie, dann müßten die Kreisgeschwindigkeiten von einem bestimmten $r = R$ an wie $1/\sqrt{r}$ (s. Abb. 1a, 1b) abnehmen. Das ist aber nicht der Fall, vielmehr verlaufen die Diagrammkurven nach steilem Anstieg nahe dem galaktischen Zentrum entweder ziemlich waagrecht (natürlich schwach gewellt) oder sogar schwach ansteigend. Dieses Verhalten ist der überzeugende Beweis für die Existenz beträchtlicher Mengen dunkler Materie. M. a. W.: **Die Verteilung der Helligkeit im sichtbaren Bereich stimmt nicht mit der wahren Massenverteilung in den untersuchten Galaxien überein!**

Die Massen innerhalb des sichtbaren Teiles der vom Rubin-Team beobachteten Galaxien schwanken zwischen $6 \cdot 10^9$ und $2 \cdot 10^{12}$ Sonnenmassen.

Was außerhalb des sichtbaren Teils noch an dunkler Materie vorhanden ist, kann vorläufig nicht bestimmt werden. Nach den Befunden enthalten gleich dichte Schalen in einer Galaxie gleich viel Materie. Die Volumina gleich dicker Schalen verhalten sich wie die Quadrate ihrer Radien, also muß die Dichte wie $1/r^2$ abnehmen, damit Massengleichheit herrscht.

Das ungefähre Gleichbleiben der Kreisgeschwindigkeit nach dem Anstieg nahe dem Zentrum ist so zu deuten, daß die Spiralgalaxien sphärische Halos besitzen, die weit über den optisch wahrnehmbaren Teil hinausreichen. Die mittlere Dichte der Halopopulationen ist natürlich sehr gering, dennoch übertrifft sie die Dichte im intergalaktischen Raum um Faktoren zwischen 100 und 1000.

Dem Halo fällt überdies die Aufgabe zu, den scheibenförmigen Teil einer Spiralgalaxie (der die stärkste Sternkonzentration enthält) zu stabilisieren, wie J. P. Ostriker und P. J. E. Peebles nachgewiesen haben.

Neben dem sichtbaren Licht strahlen die Wasserstoffwolken in den galaktischen Scheiben die 21 cm Radiowellen aus. Aus ihrer Dopplerverschiebung erhält man die Rotationsgeschwindigkeit des jeweils angepeilten Teils des Gases, das ja an der Drehbewegung des Systems ebenso wie die Sterne teilhat. Das Auflösungsvermögen der zu diesem Zweck eingesetzten Radiointerferometer ist besser als das der größten optischen Fernrohre, die so gewonnenen Daten aufschlußreicher. Auch sie lehren, daß die Geschwindigkeiten des neutralen Wasserstoffs in großen Zentralabständen weit außerhalb der sichtbaren Teile der Galaxien nach einem geringfügigen Abfall von ca. 20 km/s einigermaßen unverändert hoch bleiben. Leider sind die Astronomen noch nicht imstande, genauere Angaben über die dortige Verteilung dunkler Materie zu gewinnen.

Auch die Milchstraße ist weiter ausgedehnt, als man noch vor kurzem annahm. Innerhalb des Zentralabstandes der Sonne – ihre Bahngeschwindigkeit bzgl. des Milchstraßenzentrums liegt zwischen 220 und 260 km/s, der Bahnradius ist 10 Mpc – liegen etwa 10^{11} Sonnenmassen. Da man jedoch den Radius der Milchstraße mit ca. 100 kpc ansetzen muß, dürfte die Gesamtmasse der Milchstraße an die 10^{12} Sonnenmassen betragen. Die Milchstraße ist damit eines der umfassendsten Sternsysteme im Universum. Auch dieses Faktum ergab sich aus Geschwindigkeitsmessungen von Sternen und H-Wolken, die vom galaktischen Zentrum weiter als die Sonne abstehen.

Analoge Messungen an Kugelhaufen im Halo der Milchstraße, deren Zentralabstände 30 und 60 kpc betragen, bestätigen die Existenz dunkler Materie. Auch die gravitativ bedingte Bewegung der als Satelliten-Galaxien zu betrachtende Magellanschen Wolken um die Milchstraße erlaubt Schlüsse auf die galaktische Gesamtmasse. Allerdings sind diese Messungen noch mit großen Unsicherheiten behaftet.

Während die lokale Massendichte ρ mit wachsendem Zentralabstand r langsam fällt, sinkt die lokale Blau-Leuchtdichte L sehr rasch. Das Verhältnis $\lambda = \rho/L$ nimmt daher mit r zu. Setzt man für die Sonne $\lambda = 1$ fest, dann beträgt λ nahe dem galaktischen Zentrum 2 oder 3, steigt jedoch gegen den sichtbaren Milchstraßenrand auf 10 bis 20.

Damit das Weltall geschlossen wäre, müßte etwa 70mal mehr dunkle als leuchtende Materie vorhanden sein, entsprechend dem λ -Wert 700. Nichts dergleichen ist der Fall. Bei Doppelgalaxien und kleineren Galaxienhaufen findet man $\lambda = 50$ bis 100 u. zw. aus der Analyse der gegenseitigen Bewegungen. Bei großen Galaxienhaufen ist λ sogar größer als 100.

Es besteht der Verdacht, die mittlere Massendichte im Universum könnte dem kritischen Wert $\rho_{kr} = 5 \cdot 10^{-30}$ g/cm³ nahekommen, statt davon stark abzuweichen.

Die offenen Fragen sind ein mächtiger Ansporn für die Astronomen, noch wirksamere Geräte zu bauen und neue Beobachtungsmethoden zu entwickeln, von denen wir weiter fundamentale Informationen erwarten dürfen.

Lit.: Scient. Am., Juni 1983, V. C. Rubin, Dark Matter in Spiral Galaxies.

10 000 km zwischen Fernrohr und Beobachter

Ein bekanntes Bild zeigt Gauß mit der Haube auf dem Kopf, die er bei winterlicher Kälte in der ungeheizten Sternwarte von Göttingen trug. Denn Fernrohr und Kuppelraum müssen dieselbe Temperatur wie die Außenluft haben, damit keine thermisch bedingten Verzerrungen am Instrument die Bildinformation verfälschen. Es ist das Schicksal aller beobachtenden Astronomen, auch in kalten Nächten tätig sein zu müssen, ohne sich anders als durch warme Kleidung schützen zu können.

Die Standorte der Observatorien werden zwecks möglichst weitgehender Ausschaltung von Luftunruhe und -absorption sorgfältig ausgewählt. Sie fallen deshalb manchmal in Gegenden, die schwer und auch nicht billig zu erreichen sind. So befindet sich das britische 3,6-m-IR-Teleskop (UKIRT = United Kingdom Infrared Telescope) in ca. 4000 m Seehöhe auf dem Mauna Kea, Hawaii, was kostspielige Flugreisen der britischen Astronomen erfordert.

Himmelsbeobachtungen via Satellit sind seit Jahren wertvolle Informationsquellen, weil die moderne Nachrichtentechnik dies erlaubt. Also, sagte man sich, müßte es auch möglich sein, daß der Astronom in einem warmen Zimmer des Edingburgh-Observatoriums sitzt und auf dem Fernsehschirm wahrnimmt, was er beim unmittelbaren Blick durch das 10 000 km entfernte UKIRT auf dem Mauna Kea sehen würde.

Auf der Tucson-Tagung, Arizona, im März 1982 sprach sich M. Tarengi für diese Art der bequemen, billigen Fernbeobachtung aus, und schon ein halbes Jahr später, am 6. Sept. 1982, wurde der Wunsch verwirklicht. M. Stewart, tätig am Roy. Edinburgh Obs., ermittelte im schottischen Kontrollraum die scheinbare Helligkeit des Sterns HR 8824 und untersuchte dessen Spektrum, als ob sich beides durch das UKIRT dem direkten Blick darbieten würde. Bei dem Hawaii-Schottland-Experiment wurde die Verbindung zwischen UKIRT und Edinburgh durch das internationale Computer-Satelliten-Telefon hergestellt, was die Übertragung der Signale allerdings um einige Sekunden verzögerte. Außerdem war die Übertragung über den Ozean hinweg achtmal langsamer als der Datenfluß des UKIRT zu der in der Hawaii-Ortschaft Sila eingerichteten Kontrollstation. Schon der erste Versuch war ein voller Erfolg!

Außer **Komfortgewinn** und **Kostenreduktion** bietet die Fernbeobachtung noch zwei weitere Vorteile, nämlich die bessere **Nutzung der Beobachtungszeit** (stellen sich am Standort des Teleskops günstigere atmosphärische Bedingungen ein, so kann dies von dort sofort an die weltweit verstreuten Beobachtungskandidaten durchgegeben werden, so daß sie gleich die günstige Gelegenheit ergreifen können) und **bessere Wartung** des Fernrohrs (der Heimatuniversität steht ein größeres, effizienteres Reparaturteam zur Verfügung, als es beim

Fernrohr beschäftigt werden kann, welches ersteres ohne Verzug Anweisungen und Ratschläge an das Wartungsteam der Teleskopanlage übermitteln kann).

Schon am 26. Oktober, also drei Wochen nach dem Hawaii-Edinburgh-Experiment, funktionierte ein gleichartiger Versuch zwischen dem Kitt-Peak-Teleskop in Arizona und dem Greenwich Observatory in England. Beobachtungsgegenstand war die Galaxie NGC 1275 im Sternbild Perseus, die simultan mit den UV-Satelliten Explorer beobachtet wurde. Ebenso untersuchte man das berühmte Binärsystem SS 433 (s. Wiss. N., Nr. 52, Jänner 1980, S. 34, SS 433 spielt verrückt) und eine sehr distante Galaxie.

Es ist geplant, alsbald simultane Beobachtungen interessierender Objekte mit zwei Teleskopen und zwei unabhängig tätigen Astronomen aufzunehmen. Ferner sind Bemühungen im Gange, akustische, optische und digitale Informationen über eine einzige Telefonleitung zu übertragen, was eine zusätzliche Verbilligung nach sich zöge.

Auch das MPI für Physik und Astrophysik in Garching bei München soll in der geschilderten Art an das Europäische Süd-Observatorium (= ESO) in La Silla, Chile, gekoppelt werden.

LITERATUR:

Sky and Tel., April, 1983, S. 310, L. J. Robinson, Absentee Astronomy.

Neuer Anlauf zur Suche nach Leben im Kosmos

Die Bemühungen um Kommunikation mit denkenden Lebewesen außerhalb unseres Planeten gehen bis auf **Gauß** zurück. Er schlug in der Zeit um 1820 vor, in Sibirien einem riesigen Weizenfeld die Form eines rechtwinkligen Dreiecks zu geben und dessen Seiten durch dicht mit parallel verlaufenden Reihen von Nadelbäumen bepflanzten Streifen zu kennzeichnen. Form und der auffallende Farbkontrast zwischen hellem Weizen und dunklen Bäumen könnten, so meinte Gauß, allfällig vorhandene intelligente Bewohner anderer Planeten auf die Existenz menschlichen Lebens aufmerksam machen.

20 Jahre später hing **Josef v. Littrow**, damals **Direktor** der Wiener Sternwarte, ähnlichen Gedanken wie Gauß nach. Sein Vorschlag: Man grabe in der Sahara einen großen Ringkanal, fülle ihn mit Wasser, schichte Erdöl darüber und zünde es an. Der Feuerring würde, so Littrow, extraterrestrischen Wesen Kunde von den Bewohnern der Erde geben.

Im Jahre 1869 dachte der Franzose **Charles Cros** daran, mit großen, an vielen Punkten Europas aufgestellten Spiegeln das Sonnenlicht auf den Planeten Mars zu fokussieren und auf diese Weise instände zu sein, in den Sand der Marsoberfläche das Muster der Sterne des Großen Bären einbrennen zu können. Das müßte den Bewohnern anderer Planeten bei der Betrachtung aus der Ferne auffallen und sie intelligente Erzeuger des Abbildes vermuten lassen.

Der Physiker **Nicola Tesla** schritt im Jahre 1899 sogar zur Tat. Nahe seinem Labor in Kalifornien veranlaßte er den Bau einer riesigen Spule von 22 m Durchmesser und die Errichtung eines 60 m hohen Mastes, gekrönt von einer großen Kugelform. Er leitete starke Wechselströme in die Spule und in den Erdboden, in der Meinung, damit das Magnetfeld der Erde so sehr zu verstärken, daß das emittierte elektromagnetische Signal von außerirdischen Wesen bemerkt werden könnte. Das war natürlich nicht der Fall, wohl aber begannen im Umkreis von 40 km die Glühlampen zu leuchten.

Die Aussichtslosigkeit dieser Vorschläge samt dem Unternehmen von Tesla ist uns erst heute voll bewußt, da die Erkundungen der Planeten und ihrer Monde durch Raummissionen die Wahrscheinlichkeit extraterrestrischen Lebens im Sonnensystem als äußerst gering, von intelligentem Leben als Null erwiesen haben. Doch vorher war die Ansicht, Mars könnte bewohnt sein, weit verbreitet, und zwar wegen einer beim Übersetzen entstandenen Mißdeutung des Wortes *canaletti* in Schiaparellis Schilderung gewisser veränderlicher Oberflächenstrukturen auf dem Roten Planeten. Die Verbindung mit Lebewesen in anderen Planetensystemen erschien, seit Bessel die Parallaxe des Fixsterns 61 Cygni gemessen hatte, als absolut undurchführbar.

Erst mit der Einführung radioastronomischer Methoden besteht – wenn auch nur sehr schwach – Aussicht, Kommunikationen über einige Dutzend Lichtjahre hinweg herzustellen, falls dort sonnenähnliche Sterne von Planetensystemen umgeben sind und der eine oder andere ihrer Begleiter überhaupt bewohnt ist.

Die ersten ernsteren Versuche, Signale aus dem Weltraum zu empfangen, wurden in Form des **Projektes OZMA** im Jahre 1960 von **Frank Drake** ins Leben gerufen. Ein Jahr vorher hatten **G. Cocconi** und **P. Morrison** darauf hingewiesen, daß die Linien des Wasserstoffs und des Hydroxyls (1,420 bzw. 1,612, 1,665, 1,667, 1,720 GHz) besonders gut für die Kontaktversuche zwischen verschiedenen Zivilisationen im Kosmos geeignet seien. Natürlich darf man sich nicht auf diese Frequenzen (aus dem „Wasserloch“, wie man scherzhaft zu sagen pflegt) beschränken, und da lag der Haken. Wollte man nämlich die auf den Radiobereich von 1 bis 10 GHz entfallenden 300 Mio. Frequenzen sukzessive „abhören“, indem man 1 Minute der Aufmerksamkeit für jede Frequenz verwendet, so wäre ein solches Programm erst in 570 Jahren beendet! Man darf sich ja nicht auf die Signale aus dem Wasserloch beschränken. Nach 570 Jahren wäre aber erst **eine** Raumposition **einer** möglichen Nachrichtenquelle untersucht, die übrigen potentiellen Quellen umfassen etwa eine Million sonnenähnlicher Sterne im Umkreis von 1000 Lj. um die Sonne.

Zu alledem kam die Skepsis gegen das Unternehmen als solches, das auch von manchen Astronomen für wissenschaftlich nicht seriös gehalten wurde, eine Einstellung, die sich leider auf die geldgebenden USA-Behörden fortpflanzte, die unter dem Zwang zu budgetären Restriktionen für abratende Meinungen besonders hellhörig waren.

Aber die Astronomen, die das Unternehmen für seriös und wichtig hielten, allen voran **Karl Sagan**, gaben nicht auf. Zu ihnen stießen auch andere Gelehrte, solche, die ihre ursprünglich ablehnende Haltung revidiert hatten, und jene mit verstärkter Kraft, die schon immer von der Wichtigkeit des Programms überzeugt waren. So wurde schließlich der maßgebliche Saulus unter den US-Senatoren zum Paulus, das neue **Projekt SETI** (= Search for Extraterrestrial Intelligence) anerkannt, die Mittel für seine Verwirklichung begannen zu fließen. Im Oktober 1982 erhielt die NASA 1,5 Mio. Dollar, um SETI zum Leben zu erwecken. Das geschah in einem feierlichen Akt am 7. März 1983, als Sagan ein den SETI-Leuten zur Verfügung gestelltes, bereits eingemottetes Radioteleskop von 25 m Antennendurchmesser einweihte, indem er eine Sektflasche dagegen schleuderte.

Anderweitige finanzielle Unterstützung kam von der Planetary Society. Als das Projekt 1981 spruchreif geworden war, trieb die Gesellschaft binnen 3 Wochen 10 000 Dollar auf. Dann überwies sie 30 000 Dollar als Starthilfe und genehmigte einen ständigen Jahreszuschuß von 20 000 Dollar, um den für einen langen Zeitraum vorgesehenen Arbeiten eine gewisse materielle Grundlage zu geben. Schließlich beschloß die IAO (Intern. Astron. Union) im Jahre 1982 die Bildung einer eigenen Kommission mit dem Titel „**Suche nach extraterrestrischem Leben**“ (es ist dies die 51. Kommission innerhalb der IAU), die allen Erscheinungsformen des Lebens, nicht nur des vernunftbegabten, nachzugehen hat. Man könnte ihr deshalb den Titel **Bioastronomie** geben.

Die Forschung benötigt primär Radioteleskope. Das schon oben genannte, zu neuem Leben erweckte 25-m-Teleskop steht SETI uneingeschränkt zur Verfügung. Außerdem dürfen das **Deep Space Network (DSN)** der NASA, die 300-m-Anlage von Arecibo, Puerto Rico, das 63-m-Teleskop in Goldstone, Kalif., und das australische Gerät in Tidbinbilla benützt werden, natürlich nur in den Zeiten, in denen die Fernrohre nicht für andere Zwecke eingesetzt sind. Die Zuteilung von Beobachtungszeiten an SETI ist eine recht ungeliebte Aufgabe für die Leiter der Observatorien, zumal es bei SETI, im Gegensatz zu den anderen Einsatzziele, überhaupt fraglich ist, ob jemals Ergebnisse zustande kommen werden. (Dem Hat Creek Obs. ist hoch anzurechnen, daß es schon im Jahre 1982 ganze 35 Beobachtungstage den SETI-Leuten zur Verfügung gestellt hat!) Im schlimmsten Fall muß Beobachtungszeit auf „parasitärer“ Basis herausgeschunden werden. D. h., man erhält von der Leitung eines Observatoriums die Erlaubnis, in den Beobachtungspausen das Teleskop – aber mit unveränderter Winkel- und Frequenzeinstellung – zu benützen.

Wesentlich für die Effizienz der SETI-Arbeit ist das möglichst rasche Abtasten a) der in Betracht kommenden Frequenzbänder sowie b) des Himmels in möglichst vielen, möglichst kleinen Sternfeldern. Dazu sind Hochleistungs-Spektralanalysatoren erforderlich. Die NASA plant ein Gerät mit 74 000 Kanälen von 1 Hz Breite, die simultan Daten ausgeben. Außerdem wird man auch noch Bänder von 32 bzw. 1024 Hz Breite nehmen, um den Himmel nach unscharf abstrahlenden Quellen zu überwachen. Das Gerät befindet sich bereits an der Stanford Univ. in Entwicklung. Die Tests sind für die Zeit von 1983 bis 1988 vorgesehen, und zwar a) mit den Antennen des DSN der NASA

und b) dem Teleskop in Arecibo. Überdies besteht begründete Hoffnung, 8 Mio (!) simultane Sammelkanäle aufzubauen.

Auch Prof. Horowitz (Harvard Univ.) baut einen Spektralanalysator, dessen Frequenzstufen mit 0,03 Hz Breite besonders fein sind. Das gibt 65 536 Kanäle für 2 kHz. Die Frequenzstufen sind deshalb so eng, weil monochromatische Wellen über 1000 Lj. Distanz auf 0,03 Hz verbreitert werden. Das Gerät bietet überdies den nicht zu unterschätzenden Vorteil, zwischen verschiedenen Observatorien hin- und hertransportiert werden zu können. Ferner schaltet es die von der Rotation und Bahnbewegung um die Sonne rührende Dopplerverschiebung aus. (Ob das aber auch die anderen Zivilisationen tun werden?)

Horowitz wird pro Tag Sternfelder von 30° Deklinationsbreite beobachten. Binnen 6 Monaten läßt sich so der Himmelsstreifen zwischen den Deklinationen -30° und +60° abtasten. Dann wird auf einen anderen Frequenzabschnitt geschaltet, und das Halbjahresspiel beginnt von neuem.

Während große Anstrengungen notwendig waren, geeignete Geräte zu schaffen und ausreichende Beobachtungsstellen und -zeiten sicherzustellen, ganz zu schweigen von den Finanzierungsnöten, herrscht nicht der geringste Mangel an qualifizierten Bewerbern für die Aufnahme in die SETI-Kommission der IAU. Im Gegenteil, bereits Mitte 1983 hatten sich mehr als 200 Personen für diese Tätigkeit gemeldet, darunter – was besonders erfreulich ist – namhafte Gelehrte.

Sobald alle in Entwicklung bzw. im Bau befindlichen Geräte fertiggestellt sowie auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft sein werden, steht ihrem Einsatz in den vorgesehenen Arbeitsprogrammen nichts mehr im Wege.

Die Beobachtung ist in zwei Abschnitten geplant. In einem Abschnitt soll drei Jahre lang der gesamte Himmel im Frequenzbereich 1 bis 10 GHz abgesucht werden. In der anderen Programmhälfte sind kleinere Frequenzstufen von nur 1 Hz Breite vorgesehen. Das muß natürlich mit der Beschränkung auf ein engeres Frequenzband, nämlich jenes von 1 bis 3 GHz, bezahlt werden. Das ist kein Nachteil, denn es sollen auf diese Weise die ca. 800 sonnenähnlichen Fixsterne innerhalb der zur Sonne konzentrischen Kugel von 80 Lj. Radius überwacht werden.

Ob das Unternehmen SETI zu irgendwelchen Erfolgen führen wird, kann kein Mensch vorhersagen. Die Enthusiasten glauben es, die Zweifler bestreiten es. Aber auch wenn zwar kein intelligentes, jedoch existierendes Leben auf anderen Himmelskörpern festgestellt würde, wäre dies eine Erkenntnis von weittragender Bedeutung!

LITERATUR:

Sky and Tel., Mai 1983, S. 411, J. K. Beatty, The New, Improved SETI.

Die kosmische Röntgen-Hintergrundstrahlung

Zu den bedeutendsten Entdeckungen der Astronomie in diesem Jahrhundert gehört zweifelsohne die isotrope Mikrowellenstrahlung, die Penzias und Wilkinson im Jahre 1965 festgestellt haben. Sie wird auch als 2,7 K-Strahlung bezeichnet. Diese das Weltall durchflutende Strahlung gab den Ausschlag, sich vom Steady-state-Modell des Universums, vertreten durch Fred Hoyle, abzuwenden und der Urknall-Theorie weltweit den Vordruck zu geben.

Um so überraschender ist es, daß auch die Existenz einer isotropen kosmischen Röntgenstrahlung nachgewiesen werden konnte. Da Röntgenstrahlen infolge der Absorption in der Lufthülle nicht den Erdboden erreichen, wurden Beobachtungen im Röntgenbereich erst möglich, als dafür sehr hoch fliegende Ballons, Raketen und Raumsonden zur Verfügung standen.

Die ersten Versuche, Röntgenastronomie zu betreiben, fielen in die Zeit am Ende des Zweiten Weltkrieges, als mit Hilfe erbeuteter deutscher V2-Raketen – sie wurden mit reichlich primitiven Röntgendetektoren ausgestattet – die ersten Informationen über das noch unerforschte Gebiet eintrafen. Trotz der nur wenige Minuten des Aufenthaltes der Raketen in genügender Höhe brachten sie gleich einen bemerkenswerten Erfolg heim: Unsere Sonne ist ein Röntgenstern! Ihre Röntgenemission beträgt etwa nur das 10^{-6} fache der Leistung im visuellen Gebiet. Das ist verständlich, weil die Sonnenphotosphäre viel heißer sein müßte, um die kräftigste Abstrahlung so weit gegen den kurzwelligen Abschnitt des Spektrums zu verschieben, daß sie mehr Röntgenlicht aussendet. Da die Sonne ein „normaler“ Stern ist, also auch die anderen „normalen“ Sterne

ähnliche Anteile an Röntgenwellen emittieren dürften, erschien es aussichtslos, Röntgensignale von anderen Sternen zu erwarten, wie nahe sie auch der Sonne sein mögen. Trotzdem schritten R. Giacconi et al. (Am. Science and Engineering, Inc.) daran, weitere Studien des Röntgenhimmels anzustellen. Im Jahre 1964 schossen sie eine Rakete mit einem in der Zwischenzeit stark verbesserten Röntgendetektor (der schon als Röntgenteleskop angesprochen werden durfte) hoch. Und wieder brachte das Unternehmen zwei spektakuläre Entdeckungen.

1. Man fand die äußerst kräftige individuelle **Röntgenquelle Sco X-1**, von der zwar nur das 10^{-6} fache der solaren Röntgenemission bei uns ankommt, die jedoch angesichts der Distanz, aus der sie kommt, unerhört intensiv ist. Wäre nämlich die Sonne im Abstand des nächsten Fixsterns gelegen, würde ihr Röntgenoutput um den Faktor $4 \cdot 10^{10}$ geringer ausfallen!

2. Während des kurzen Aufenthaltes oberhalb der Atmosphäre tastete der Detektor einen Großteil der Himmelskugel ab und registrierte eine aus allen Richtungen mit höchstens um weniger als 1% differierender Stärke, also isotrop einfallende Röntgenstrahlung. Damit erfuhr man schon 3 Jahre vor der Entdeckung des Mikrowellenhintergrundes (Isotropie mit 0,03%) von der Existenz des **Röntgenhintergrundes** (=RH). Seither wandte sich größte Aufmerksamkeit diesem Phänomen zu. Die endgültige Klärung steht aber noch aus.

Eines ist sicher: Die Quelle (oder die Quellen) der Strahlung muß extrem weit entfernt sein. Wäre sie nahe gelegen, so ist es schwer vorstellbar, daß unser Planetensystem alleits von röntgenemittierender Materie umgeben sei, ohne daß sie sich auch anderweitig verriete, zumal Reaktionen mit Röntgenemission einen hohen Energieumsatz erfordern.

Befände sich die Quelle in mittleren Abständen zur Sonne, d. h. in der Milchstraße oder in nahen Galaxien, dann wäre die hohe Isotropie unverständlich. Infolge der unterschiedlichen Distanzen der verursachenden Galaxien wären nämlich die Flußdichten ihrer Röntgenstrahlung unterschiedlich, also auf keinen Fall isotrop verteilt.

Also entsteht der RH in extremen Abständen, etwa dort, wo sich die Quasare größtenteils befinden.

Ehe wir näher die Ursachen des RH besprechen, noch eine Bemerkung über die Prozesse, die, wie die Quelle Sco X-1, einen ungewöhnlich hohen Röntgenoutput haben. Er kann dadurch entstehen, daß in engen Binärsystemen Materie vom einen Partner zum anderen, kompakten (Weißen Zwerg, Neutronenstern, Schwarzes Loch) strömt und dort mit riesigen Geschwindigkeiten einfällt, so daß ein „heißer Fleck“ in der Einfallzone entsteht, dessen Temperatur ihn zur kräftigen Röntgenemission befähigt. Heute sind schon einige 100 diskrete Röntgenquellen bekannt.

Bremsstrahlung aus dem intergalaktischen Medium

Eine einfache Aufklärung des RH wäre die Interpretation als **Bremsstrahlung** bei den nahen Begegnungen von Elektronen und Protonen im **intergalaktischen Medium**. Beide Partikeln werden dabei infolge der Coulombanziehung langsamer und emittieren Photonen, deren Wellenlänge ungefähr dem Bremsweg entspricht. Die Frage ist nur, ob der intergalaktische Raum ziemlich gleichmäßig mit einem genügend heißen Plasma erfüllt ist, in dem die Teilchen die für Röntgenemission erforderlichen großen Geschwindigkeiten erreichen.

Die Wellenlänge des RH liegt zwischen 0,1 und 1 nm. Ein Plasma, das in diesem Bereich emittiert, müßte 10 bis 500 Mio. Kelvin heiß sein. Obwohl das Vorkommen von interstellarem Gas in der Milchstraße längst erwiesen ist, fehlen direkte Hinweise auf ein intergalaktisches Plasma.

Das interstellare Gas ist der Rohstoff, aus dem auch heute noch Sterne entstehen. Vermutlich sind die Galaxien aus intergalaktischem Gas hervorgegangen, ein Vorgang, der längst beendet zu sein scheint. Es ist unwahrscheinlich, das intergalaktische Plasma wäre bei diesen Vorgängen restlos aufgebraucht worden. Es könnte also auch heute noch vorhanden sein, und zwar keineswegs kühl, denn dann müßte es das durchgehende Sternenlicht teilweise absorbieren, das in Form von Absorptionslinien in Erscheinung träte. Sie gibt es aber nicht.

Natürlich wird die Frage laut, ob sich das heiße Plasma nicht schon längst so stark abgekühlt haben müßte, daß Röntgen-Bremsstrahlung unmöglich wäre. Infolge der ungewöhnlich geringen Dichte kann eine derartige Abkühlung auch in Zeiträumen vergleichbar mit dem jetzigen Weltalter nicht vor sich gehen, wie die Rechnung nachweist. Die Bremsstrahlung führt nämlich nur wenig Energie ab. (Man überlege: Die mittlere Geschwindigkeit von Protonen in einem 10 Mio.-K-Plasma beträgt

600 km/s. Befindet sich nur ein H-Kern in 1 cm^3 des intergalaktischen Raumes — diese Zahl gilt für den interstellaren Raum, ist also viel zu hoch angesetzt —, dann erfolgen sukzessive Stöße mit Elektronen im Mittel nur alle $1\frac{1}{3}$ Jahre, falls man als Radius des Wirkungsquerschnittes $0,1 \text{ nm}$ annimmt.) Andere Kühlmechanismen sind unbekannt.

Wohl wurde das Vorhandensein eines röntgenemittierenden Plasmas in den Raumteilen festgestellt, die von Galaxienhaufen eingenommen werden, nicht aber außerhalb derselben. Genauere Analysen ergaben, daß dieses heiße Plasma den einzelnen Mitgliedern des jeweiligen Haufens entströmt.

Kurz zusammengefaßt: Es gibt sowohl Argumente zugunsten des Entstehens des RH im heißen intergalaktischen Plasma als auch andere, die dagegen sprechen.

Extrem distante Punktquellen des RH

Eine andere Erklärung des RH besteht in der Annahme sehr, sehr vieler Punktquellen in kosmologischen Distanzen, die nicht mehr in Einzelobjekte aufgelöst werden können. Derartige diskrete Quellen sind sicher keine Galaxienhaufen, weil deren oben erwähnte diffuse Röntgenstrahlung nach den an allen einer Beobachtung zugänglichen Objekten gewonnenen Erfahrungen zu gering ist, um den Hintergrund hervorzuheben. Auch dürfte die Verteilungsdichte der Haufen im Universum zu klein sein, wenn man die beobachtbare Dichte auch für extreme Abstände extrapoliert.

Bleiben noch **Quasare** als potentielle Quellen übrig, denn diese Himmelskörper emittieren auch im Röntgenbereich des Spektrums kräftig und sind von uns meist einige Mrd. Lj. entfernt. Ihre bei uns jetzt einlangende Strahlung stammt aus der frühesten Zeit des Weltalls, da dieses noch sehr heiß war. (Die geringe Anzahl relativ „naher“ Quasare bedeutet, daß sie Durchgangsstadien in der Entwicklung der Galaxien gewesen sein könnten, Stadien, die offenbar heute nicht mehr durchlaufen werden.) Es gibt Quasare, die im Röntgenbereich allein an die 1000mal mehr Leistung abstrahlen als unsere gesamte Galaxis im sichtbaren Spektralabschnitt.

Der Einstein-Satellit, mit einem für solche Geräte hervorragend fokussierenden Röntgenteleskop ausgerüstet, stellte unter einigen hundert Quasaren eine große Anzahl kräftiger Röntgenstrahler fest. Aufgrund dieser Befunde und bei Beachtung der einschlägigen optischen Beobachtungen sind Quasare als Quellen des RH ernsthaft in Erwägung zu ziehen.

Trotz der Einblicke in die Röntgenaktivität der Quasare, die der Einstein-Satellit gewährt hat, erlauben die so gewonnenen statistischen Daten noch keine Extrapolation, aus der das Ausmaß des Quasarbeitrages zu RH zuverlässig hervorgehen könnte. Auch ist das (wohl schon erstaunlich gute) Auflösungsvermögen des Röntgengerätes an Bord der Einstein-Sonde noch zu schwach, um genaue Vergleiche mit den optischen Positionen der schwächsten und der wegen ihrer Entfernung noch unentdeckten Quasare zuzulassen. Deshalb steht an der Spitze der in der nächsten Dekade neu zu entwickelnden röntgenastronomischen Geräte bzw. Projekte das Unternehmen **AXAF** (= **Advanced X-Ray Astrophysics Facility**). Die Liste der Vorschläge an die NASA stellten Astronomen der Harvard-Universität unter der Leitung von G. B. Field zusammen.

Daß die Hoffnungen bezüglich AXAF berechtigt sind, geht u. a. aus folgendem interessanten Umstand hervor. Beim genauen Studium der Röntgenbilder vom Einstein-Satelliten bemerkte man neben den jeweils angepeilten Röntgenquellen noch einige äußerst schwache andere, die bis dahin unbeachtet geblieben waren und in keinem Zusammenhang mit jenen stehen. Leider reichte die Röntgenfokussierung des Detektors im Satelliten nicht aus (Auflösung 2 Bogenminuten), diese „zufällig“ angetroffenen Röntgenquellen auch optisch zu identifizieren. Auf den Fotos der betreffenden Sternfelder sieht man zwar auch einige äußerst lichtschwache Objekte, aber ob sie mit den „zufälligen“ Röntgenquellen (zRQ) eines Wesens sind, ist derzeit noch unentscheidbar. AXAF könnte die Dinge klären.

Nach diesen Feststellungen fertigte man neuerlich optische Spektrogramme der Sterne in den betreffenden Himmelsfeldern (u. zw. mit dem 2,1-m-Spiegel des Kitt Peak N. Obs., dem 3-m-Shane-Fernrohr des Lock Obs. und dem 4-m-Spiegel des Cerro Tololo Obs. in Chile) an. Nicht vergeblich, denn es waren zwei verschiedene Objektarten zu erkennen. Die meisten Sterne zeigten die bei normalen Sternen üblichen Absorptionslinien (sie entstehen in den oberen, kühleren Photosphärenschichten). Aber fast immer war auch ein Objekt mit starken Emissionslinien von H, He, C u. a. Elementen vorhanden. Ist das allein schon ein Anzeichen für die Zugehörigkeit zu einer anderen Klasse von Himmelskörpern, so bestärkt die zusätzlich auftretende starke Rotverschiebung dieser Emissionslinien den Verdacht, die Objekte könnten die optischen Erschei-

nungsformen der zRQ sein, zumal bei verlängerter Röntgen-Exposition der Einsteinsonde mehr und mehr dieser Gebilde erkennbar werden.

Ob die zRQ maßgeblich am RH beteiligt sind, wird noch herauszufinden sein. Manches spricht dafür. Während die anderen Quasare auf Grund ihrer Radiostrahlung, ihres Blauexzesses und der großen Rotverschiebung ihrer Spektrallinien als Sonderklasse von Himmelskörpern entdeckt wurden, haben sich die zRQ durch die von ihnen ausgehende Röntgenstrahlung verraten. Im sichtbaren Bereich emittieren die zRQ zehnfach weniger Licht als die anderen Quasare. Die Ursachen sind unbekannt.

Der Aufklärung des Zusammenhanges zwischen zRQ und RH steht noch anderes hindernd im Wege. Man kennt nicht den Einfluß der evolutionär bedingten Effekte auf die Intensität und die spektrale Verteilung der Abstrahlung. Das Licht von sehr weit entfernten bzw. von näher gelegenen Quasaren ist zu verschiedenen Zeiten, also auch während unterschiedlicher Entwicklungszustände, also von verschiedenen Populationen abgegeben worden.

Noch fehlen Kriterien, die zu entscheiden erlauben, ob Röntgenstrahlung von heißem Plasma oder von einer winkelmäßig unauflosbar dicht angeordneten Menge von Quasaren stammt. Bereits vorliegende Messungen, nach denen der RH eher der Emission aus einem 500 Mio.-K-Plasma gleicht, sprechen gegen die Dominanz der zRQ-Strahlung. Außerdem unterscheiden sich die Spektren der uns schon früher bekannten Quasare vom RH. Aber es könnte durchaus sein, daß an den zRQ-Orten andere Emissionsbedingungen herrschen (Evolutionseffekt).

Somit bleibt es uns nicht erspart, viele weitere Beobachtungen mit noch empfindlicheren Instrumenten abzuwarten, ehe es gelingen wird, das Dunkel zu erhellen, das den RH noch umgibt.

Aber gerade die offenen Fragen, welche uns die Natur ständig von neuem stellt, sind das Salz der Forschung, die Quelle der Faszination für alle, die sich damit beschäftigen dürfen!

LITERATUR:

Scient. Am., Jänner 1983, S. 94, B. Margon, The Origin of the Cosmic X-Ray Background.

Linzer AMS beim CERN

Eine Gruppe von Schülern des Bundesgymnasiums für Berufstätige in Linz hat in der Zeit vom 12. bis 15. Mai mit ihren Physiklehrern eine Exkursion nach Genf zu den Anlagen des CERN unternommen. CERN ist das Europäische Kernforschungszentrum, das von 13 Mitgliedsstaaten, darunter auch Österreich, finanziert wird. Auf einen Einwohner eines jeden Mitgliedsstaates entfällt pro Jahr ein Betrag von ca. 20 Schilling.

Die Abfahrt erfolgte am 12. Mai um Mitternacht mit dem Autobus, die Fahrt ging über Feldkirch—Zürich—Bern. Nach der Ankunft um 14 Uhr blieb noch Zeit für eine Stadtrundfahrt, bei der wir von einem von seiner Vaterstadt begeisterten Genfer Professor ausgezeichnet geführt wurden. Die Stadt ist durch ihre herrliche Lage am See, durch die Nähe der Berge und wegen der Harmonie von alten Stadtteilen mit moderner Architektur von besonderem Reiz. So war der erste Tag ziemlich anstrengend verlaufen, und wir begannen, uns schon früh am Abend davon und auch für den kommenden Tag auszuruhen.

Der CERN-Besuch begann am Freitag um 9 Uhr. Das Hauptreferat des Tages hielt zu Beginn Dozent C. M. Fabjan. Er schilderte uns die aufregende Geschichte der Elementarteilchenphysik, wobei sich eine dem Wunsch des Vortragenden entsprechende lebhaft entwickelte. Die Ziele des CERN-Forschungsprogramms beziehen sich einerseits auf die Untersuchung der Frage, aus welchen Bestandteilen unsere Welt besteht, und andererseits, welcher Art die Kräfte sind, mit denen diese Teilchen aufeinander einwirken.

Analog zum Periodensystem der Elemente (Mendelejew und Meyer, 1869) entstand ein „Periodensystem“ der Elementarteilchen, das heute 12*) Teilchen umfaßt, darunter die berühmten Quarks, aus denen die Bestandteile der Atomkerne (Protonen und Neutronen) aufgebaut sind. Man ist derzeit der Meinung, daß man Quarks nicht einzeln beobachten wird können, da sie im Proton bzw. Neutron zu stark aneinander gebunden sind. Weiters ergibt sich die paradoxe Tatsache, daß ein freies Quark mindestens 20fache Protonenmasse haben müßte, also ein freier Bestandteil eines Protons wesentlich schwerer als dieses selbst wäre. Dies ist eine Folge der von A. Einstein in seiner speziellen Relativitätstheorie postulierten Äqui-

*) Antiteilchen, Farbeigenschaften, Gluonen, W^+ , Z^0 sind in der Zahl nicht inbegriffen!

valenz von Energie und Masse. Im Jänner 1983 gelang im CERN nach monatelangen Versuchen der erste Nachweis von Teilchen (intermediäre Bosonen, W^+ und W^-) die von einer neuen Theorie über die Kräfte zwischen Elementarteilchen schon lange vorhergesagt wurden. Bis jetzt wies man ca. 100 dieser Teilchen nach – wieder ein großer Triumph der Teilchenphysik!

Wie werden nun diese Versuche im CERN gemacht? Will man die Bestandteile eines Gesteins erkennen, so zerschlägt man es und erhält dadurch immer kleinere und kleinere Teile. Ähnlich macht man es in der Teilchenphysik. Man schießt Atomkerne oder deren Teile mit großer Wucht aufeinander und erwartet dabei zunächst immer kleinere und kleinere Splitter. Da zeigt sich etwas Überraschendes: Die in den Teilchen stekende Energie verwandelt sich in neue Teilchen, die wesentlich schwerer sein können als die ursprünglichen. Es hat sich Energie in Masse verwandelt.

Es ist sonderbar: Gerade zur Beschleunigung der kleinsten Materieteilchen braucht man die räumlich größten Anlagen. So wie für ein Auto die Beschleunigungsstrecke mit der Höhe der gewünschten Geschwindigkeit länger wird, wächst auch bei Protonen, die man bis über 99,9% der Lichtgeschwindigkeit (300 000 km/sec) beschleunigt, der Beschleunigungsweg. Die Beschleunigung erfolgt daher in einem unterirdischen Ringtunnel von etwa 6 km Umfang, der während eines Experiments hunderttausendmal durchlaufen wird. Tonnschwere Magnete zwingen den Protonenstrahl, die Kreisbahn präzise einzuhalten. Da der Tunnel 30 Meter unter der Erde liegt, kann der Boden darüber land- und forstwirtschaftlich genutzt werden.

Beim UA 1-Experiment werden Schwärme von Protonen und Antiprotonen, die fast mit Lichtgeschwindigkeit gegeneinanderlaufen, zu Zusammenstößen gebracht. Dabei entstehen neue Teilchen. Zur Erfassung dieser Ereignisse dienen technisch hochentwickelte Nachweisgeräte, die mittels Computer in der Lage sind, aus einer Unzahl von Ereignissen die interessierenden auszuwählen. Auf TV-Geräten erhält man von den Kollisionseignissen zum Teil räumliche Farbbilder, die neben der darin enthaltenen physikalischen Information außerdem noch sehr schön anzusehen sind – das ist das TV-Krimiprogramm der CERN-Physiker.

Obwohl die derzeit im 6-km-Tunnel stattfindenden Experimente noch lange nicht abgeschlossen sind, baut man bereits an einer Beschleunigungsanlage für Elektronen mit ca. 30 km Umfang. Dieser Tunnel soll etwa 1989 in Betrieb genommen werden.

Rein theoretische Forschung aus geistigem Interesse hat schon immer auch zu neuen technischen Anwendungen geführt; es ist sicher, daß auch die im CERN betriebene Grundlagenforschung nach den Urbausteinen der Welt einmal auch technische Veränderungen möglich machen wird.

Weitere wichtige Referate bzw. Besichtigungen haben sich auf die Computer im CERN und das EHS (European Hybrid Spectrometer) bezogen. Das österreichische EHS-Projekt-Team wird von G. Neuhofer geleitet. Er zeigte uns Nachweisgeräte wie Blaskammern, Driftkammern und Szintillationszähler, von denen ein einzelnes in einem Turnsaal kaum untergebracht werden könnte.

Am Samstag vormittag wurde uns unter anderem die riesige Halle für die Myonenforschung gezeigt. Jeder Mensch wird ständig von Myonen durchdrungen, die durch die kosmische Höhenstrahlung entstehen und selbst in die Tiefe von Bergwerkstollen noch eindringen können.

Unsere Gruppe wurde an beiden Tagen von sechs österreichischen Wissenschaftlern geführt, denen man ihre Begeisterung an dem großartigen Forschungsvorhaben deutlich anmerkte und die sich mit liebenswürdiger Geduld bemühten, uns die Geheimnisse dieser gigantischen Anlagen zu erklären.

Die landschaftlich schöne Fahrt, das Kennenlernen einer ganz besonderen Weltstadt und die Besichtigung der Anlagen des CERN, bei der man das Gefühl hatte, bei einem großen wissenschaftlichen Ereignis dabeigewesen zu sein, ergeben eine positive Bilanz der Exkursion, die endgültig am Sonntag um etwa 4 Uhr morgens vor dem Schulgebäude der AMS in der Spitelsee endete.

Der Bericht wurde von Schülern und Lehrern der AMS gemeinsam verfaßt.

Schüler: Heinz ANZINGER, Andreas HAFERL,
Alfred HOLZER.

Lehrer: Dr. Otto VOGL, Dr. Herbert HAMETNER.

Mitteilungen der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft

Forschungstätigkeit am Inst. für Experimentalphysik
der Karl-Franzens-Universität, Graz
(F. Aussenegg*)

Der Schwerpunkt der Forschungstätigkeit an Instituten wie dem unseren liegt nicht mehr im Auffinden neuer Naturgesetze, sondern im Erkennen und Verstehen der Wirkung an sich bekannter Naturgesetze in nicht mehr einfach überschaubaren, jedoch den realen Gegebenheiten in der Natur besser entsprechenden Systemen. Sowohl bei der Entwicklung der dazu notwendigen und meist sehr aufwendigen Meßmethoden als auch bei der Interpretation der Ergebnisse wird vorhandenes physikalisches Wissen angewandt. So gesehen wird an allen vier wissenschaftlichen Abteilungen unseres Institutes angewandte Physik betrieben.

Forschungsschwerpunkt der Abteilung für Halbleiterphysik ist das Studium elektrischer Eigenschaften von Halbleitern, wie z. B. einkristallinem Silizium. Halbleiterbauelemente spielen in der gesamten Elektronik eine entscheidende Rolle. Der physikalische Grund dafür ist die Tatsache, daß durch Einbringen relativ geringer Konzentrationen von Fremdatomen in halbleitendes Material sich dessen charakteristische Parameter, wie etwa der elektrische Widerstand, um Größenordnungen ändern können. Bei der Herstellung von elektronischen Bauelementen ist man daher auf die Kenntnis der Wirkungen absichtlich oder unabsichtlich in den Halbleiter eingebrachter Fremdstoffen angewiesen. Diese Fremdstoffe, nach Einbau in die Halbleiterkristalle als Störstellen bezeichnet, werden in unserem Institut mittels verschiedener Methoden (Hall-Effekt, Elektronenspinresonanz, Photoleitung) hinsichtlich der Art des Einbaues sowie hinsichtlich ihrer Wirkung auf das elektrische Verhalten des betreffenden Halbleiters untersucht. Speziell der Einbau von Eisen, Chrom, Mangan und Gold in Silizium-Halbleitermaterial wurde bereits studiert, und es konnte die Kenntnis vom Verhalten dieser Elemente als Störstellen in Silizium entscheidend erweitert werden.

In der Abteilung für Angewandte Physik werden in erster Linie Untersuchungen an und mit Quantenmagnetometern durchgeführt. Im Rahmen des gegenwärtig laufenden Forschungsvorhabens soll die Frage geklärt werden, wie sich ferromagnetische Stoffe bei extrem niedrigen magnetischen Feldern ($1/1000$ des erdmagnetischen Feldes) verhalten. Die Proben werden aber nicht wie sonst üblich bei der Temperatur des flüssigen Heliums (-270°C) untersucht, sondern in dem technisch wesentlich leichter zugänglichen Bereich zwischen der Temperatur des flüssigen Stickstoffes und der Zimmertemperatur. Zweck der Untersuchungen ist es, Mineralien aufzufinden, die in diesem Temperatur- und Feldstärkenbereich optimale Eigenschaften im Hinblick auf meßtechnische Anwendungen besitzen. Darüber hinaus verfügt man über die Erfahrung, extrem kurze, aber intensive Röntgenpulse herstellen zu können. Mit Hilfe solcher Röntgenpulse wurden Untersuchungen der Realstruktur von Quarz durchgeführt.

Mit Hilfe spezieller Lasersysteme ist es heute möglich, ultrakurze Lichtpulse von nur 10^{-12} s zu erzeugen. Optische Pulse dieser Kürze werden in der Abteilung für Elektrooptik und Kurzzeitphysik zur Erforschung der Umstrukturierung bestimmter organischer Moleküle nach Lichtabsorption verwendet. Im Konkreten werden Moleküle untersucht, die als Lichtempfänger im Sehsystem von höheren Tieren und des Menschen wirken. Man weiß heute, daß die in wenigen Pikosekunden ablaufenden Umstrukturierungen dieser Moleküle der erste Schritt einer Kette biochemischer Reaktionen ist, durch welchen die Information der erfolgten Lichtabsorption zum Sehnerv übertragen wird. Zur Erzeugung der Lichtpulse stehen zwei „passiv-modengekoppelte“ Festkörperlaser eigener Konstruktion zur Verfügung. Es sind dies die einzigen Laser in Österreich, die bei nur 6 ps Pulsdauer 10^{10} Watt Spitzenleistung produzieren.

* o. Prof. Dr. F. Aussenegg, Univ. Graz.

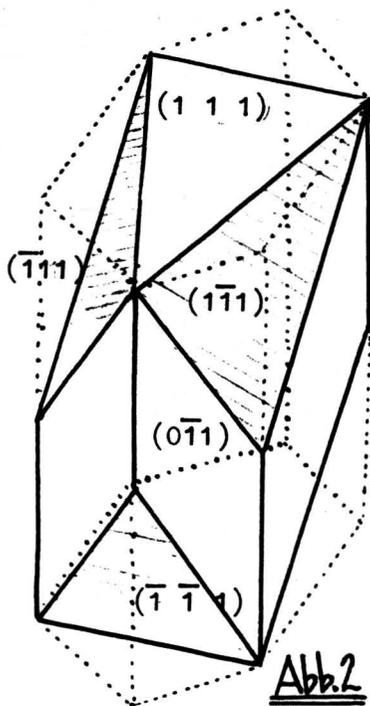
Die Bearbeitung von Fragestellungen aus der medizinischen bzw. biologischen Praxis mit Hilfe experimental-physikalischer Methoden ist eine der Aufgaben der Abteilung für Biophysik. Einen Schwerpunkt bildet dabei der Problemkreis der Harnsteinerkrankungen des Menschen. Versuche zur chemischen Steinauflösung brachten bisher nur Teilerfolge. Es ist daher interessant, physikalische Methoden zur Zerstörung eines Harnkonkretments zu entwickeln, wobei der Eingriff unblutig sein und nur wenig Zeit erfordern soll. Durch kleine elektrische Durchbrüche in der Körperhöhle in unmittelbarer Nähe des Steines werden in der dort vorhandenen Flüssigkeit einergie-reiche Stoßwellen erzeugt, die zur Zerstörung des Steines in wenigen Minuten führen. Es wurde auch ein Verfahren entwickelt, bei dem die Stoßwellen außerhalb des Körpers erzeugt und über einen Schallwellenleiter dem Harnstein zugeführt werden. Eine intensive Zusammenarbeit mit anderen Grazer Universitätsinstituten führte zur Entwicklung einer Harnleitersonde, mit deren Hilfe die Steinerzösterung unter Sicht durchgeführt werden kann. Im Bestreben, die Patientenbelastung weiter zu reduzieren, werden neue Verfahren erprobt. Mit Hilfe eines leistungsfähigen Lasersystems wird der optisch induzierte Durchbruch im flüssigen Medium untersucht. Ziel dieser Experimente ist es, eine Harnleitersonde zu entwickeln, bei der die Zerstörung der Steine durch Laserpulse bewirkt werden soll.

Kurznachrichten

Der Kristallbau der Magnetite in magnetischen Bakterien. Seit der Entdeckung magnetischer Bakterien durch Blackmore (s. Wiss. Nachr., Nr. 48, Sept. 1978, S. 40, „Magnetische Bakterien“, und Nr. 52, Jänner 1980, S. 36, „Neues über magnetische Bakterien“) beschäftigt sich die Forschung mit diesen ungewöhnlichen Lebewesen, wobei die Beschaffenheit der in ihnen linear angeordneten magnetischen Partikeln im Vordergrund des Interesses steht. In jüngster Zeit benützten japanische Gelehrte bei diesen Arbeiten hochauflösende Feldelektronen-Mikroskope, um über die Natur des Kristallgefüges der Teilchen nähere Aufschlüsse zu erhalten (Central Research Lab., Hitachi Ltd., Kokubunji, Tokio, sowie Nat. Inst. für Physiological Sciences, Okazaki). Die Kristalle – es ist so gut wie sicher, daß sie Magnetite sind – treten in zwei Modifikationen auf:

a) Die eine Gitterart formt hexagonale Prismen, bei denen die Deckflächen an je dreien ihrer Ecken abgeschrägt sind. (In der Abb. 2 erkennt man diese Flächen an der Schraffierung.)

b) Ferner schloß man aus dem Beugungsspektrum auf die zweite Kristallform, welche die Ebenen (220), (311) aufweist.



Die Elektronen des Mikroskops wurden mit 125 keV beschleunigt, wobei elektronenholographische Methoden zur Anwendung kamen. Die Teilchen brachte man durch Einwirken eines äußeren Magnetfeldes zunächst in reines Wasser und deponierte sie danach in einem 10 nm starken Kohlenstofffilm. (Lit.: Nature, 31. 3. 1983, S. 411, T. Matsuda et al., Morphology and Structure of Biogenetic Magnetite Particles.)

Großer Periodensprung des Vela-Pulsars. Schon beim Krebsnebel-Pulsar beobachtete man sprunghafte Änderungen der Rotationsperiode und deutet sie als eine Art Sternbeben, die Spannungen in der Objektkruste lösen, die sich infolge der Energieabstrahlung ausbilden. Nun wurde auch beim Vela-Pulsar ein solches Phänomen von Astronomen der Univ. von Tasmanien in Hobart des CSIRO in Neusüdwales registriert. Im Intervall vom 10. Oktober 1981, 23⁵⁰ Weltzeit, und 19¹⁵ Weltzeit des 11. Oktobers 1981 bemerkte man in der NASA Deep Space Station in Tidbinbilla, Australien, die Abnahme der Periode um 102 ns. Das ist ein relativ großer Betrag. Die Forscher benützten eine 26-m-Antenne bei 2,295 GHz. (Lit.: Nature, 24. 3. 1983, S. 315, P. M. McCulloch et al., Daily Observations of a Large Period Jump of the Vela Pulsar.)

Eine neue Klasse organischer Supraleiter. Die Suche nach organischen Supraleitern – sie erfolgt weitgehend unter dem Aspekt, auf Supraleiter mit wesentlich höheren Übergangstemperaturen zu stoßen als den derzeit beobachteten – hat insofern einen Schritt vorwärts getan, als man auf eine bisher unbekannte Familie organischer Supraleiter gestoßen ist. Die Formel der Substanz lautet (TMTSeF)_x, in der das Klammersymbol für Tetramethyltetraselenafulvalen und das Zeichen X für PF₆ oder TaF₆ oder ReO₄ oder ClO₄ stehen. Die chemische Verbindung wird nahe 1 K supraleitend, falls der Druck den kritischen Wert von 1 bis 12 kbar übersteigt. Drucksteigerung führt zur Erniedrigung der Übergangstemperatur gemäß $dT_c/dp \approx 0,3$ K/kbar. Der Grund für dieses Verhalten ist noch unbekannt. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 24. 1. 1983, S. 270, S. S. P. Parkin et al., Superconductivity in a New Family of Organic Conductors.)

Erstmals Quasarmasse bestimmt. Das Objekt MR 2251-178 ist eine Galaxie zusammen mit dem in sie eingebetteten Quasar. Die Astronomen J. Bergeron, M. Denefeld vom Pariser Inst. f. Astrophysik, A. Boksenberg vom Royal Greenwich Obs. und M. Tarenghi von der ESO (Europ. Südoobs. in Chile) vermochten auf Grund eingehender Beobachtungen und der daraus gezogenen Schlüsse die Masse des Systems mit etwa 10^{12} Sonnenmassen anzugeben. Die Galaxie befindet sich in 1,2 Mrd. Lj. Distanz (bei zugrunde gelegter Hubble-Konstante $50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}/\text{Mpc}$). Im sichtbaren Bereich variiert die Helligkeit in Abständen von 1 Monat bis zu 1 Jahr. Als Röntgenquelle ist das System ca. 10mal stärker als die Emission der Milchstraße im gesamten Spektrum. Auch die Röntgenstrahlung schwankt um den Faktor 10. In der Phase der intensivsten Röntgenemission übertrifft diese die Abstrahlung aller übrigen Wellenlängen um das Dreifache. Der Radiooutput ist im Gegensatz dazu nur mäßig, er kommt von einem punktförmigen Herd.

Im optischen Spektrum treten verbotene Linien von OII auf, die aus einer riesigen Wolke verdünnten Gases stammen (die Konzentration nimmt nach außen ab), die den Quasar bis zu Abständen von 550 000 Lj. umgibt und um ihn rotiert. Aus den Dopplerverschiebungen in den verschiedenen Teilen der Gas-hülle ergibt sich die Massensumme von Galaxie plus Quasar. (Lit.: Sky and Tel., Juni 1983, S. 503, MR 2251-178, A Quasar Weighs in.)

Buchbesprechung

BASIC-Physikprogramme Mikrocomputer. Th. Duenbostl, Th. Oudin. Verlag Hölder-Pichler-Tempsky, Wien 1983.

Der vorliegende Band aus der Reihe Lernbox bringt in exemplarischer Form die Umsetzung von fünfzehn Problemen aus der Physik (AHS-Oberstufe) in Programme, die in der leicht anwendbaren Computersprache BASIC geschrieben sind. Der Bogen reicht von der Zusammensetzung von Kräften über Wurf- und Satellitenbewegungen, Amplitudenmodulation und Optik zur Relativitätstheorie. Die Darstellung ist sehr durchdacht und gut gelungen: Nach einer kurzen Beschreibung des physikalischen Problems wird die Umsetzung in ein Programm beschrieben, darauf folgen Flußdiagramme und Programmliste sowie der Ausdruck von Musterbeispielen. Die Programme selbst sind gut gegliedert und mit ausreichenden Kommentaren versehen. Dabei wird stark von Graphik als Darstellungsmittel der Resultate Gebrauch gemacht. Obwohl die Graphikfähigkeit und der BASIC-Dialekt des Sharp-Pocketcomputers PC 1500 verwendet wurden, lassen sich die Programme leicht auf andere Mikrocomputer, insbesondere Bildschirmcomputer mit hochauflösender Graphik, übertragen.

Die Verfasser zeigen, daß ohne aufwendige Mathematik durch die Verwendung eines in BASIC programmierbaren Rechners interessante Probleme für die Schule zugänglich werden.

Ein gelungenes Buch, das die Relevanz des neuen Mediums Mikrocomputer für den Unterricht unterstreicht und sicherlich mithelfen wird, den Einsatz des Mikrocomputers im Physikunterricht zu fördern.

H. Kühnelt

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

SOWJETUNION

WIRTSCHAFTSTATISTIK

GROWTH RATES
% Change Over Previous Year

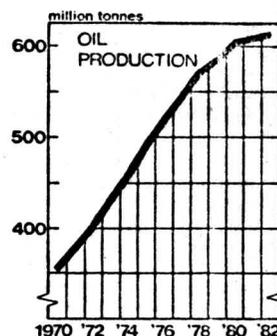
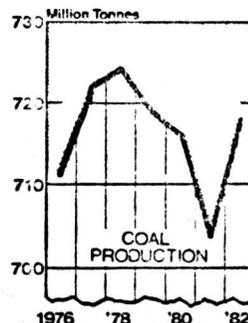
	1978	1979	1980	1981	1982
National income	4.0	2.0	3.8	3.2	2.6
Industrial production	4.8	3.4	3.6	3.4	2.8
Labour productivity					
Industry	3.6	2.4	2.6	2.7	2.1
Agriculture	5.0	-4.0	-1.0	-2.0	6.0
Construction	2.0	1.0	1.2	2.0	2.0
Real per cap. income	3.0	3.0	3.5	3.3	0.1
Wages and salaries	3.0	2.2	3.2	2.1	2.8
Foreign trade t/over	10.4	14.0	14.0	17.0	8.4

Source: Official Statistics

NATURAL GAS PRODUCTION
bn cu. m.

1950	5.8
1960	45.3
1970	197.9
1979	407.0
1980	435.0
1981	465.0
1982	501.0

Sources: IEA, Official Statistics



FOOD AND CONSUMER GOODS OUTPUT

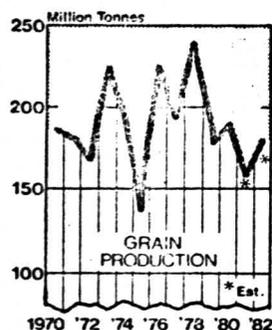
	1980	1981	1982
Meat tonnes m.	15.1	15.2	15.2
Dairy products	25.3	25.7	26.4
Leather footwear pairs m.	744	739	730
Cars and vans, units 000	1,327	1,324	1,307
TV sets units, m.	7.5	8.2	8.3
Washing machines, m.	3.8	3.9	4.0
Motor cycles, m.	1.09	1.1	1.1

Source: Official Statistics

OIL PRODUCTION
1,000 b/d 1982

USSR	12,200
U.S.	8,655
Saudi Arabia	6,484
Mexico	2,734
UK	2,050
China	2,020
Iran	1,896
Venezuela	1,826

Source: Oil & Gas Journal



FOOD IMPORTS FROM NON CPEs
(U.S.\$m)

Year	Total	Grain	Other	Food imports % of	
				Total imp.*	Energy exp.
1972	1,535	889	646	26.6	145.3
1975	4,322	2,528	1,794	24.6	830
1976	4,756	2,935	1,821	25.7	69.9
1977	3,803	1,457	2,346	20.6	46.9
1978	4,267	2,429	1,838	20.8	48.9
1979	6,540	3,538	3,002	26.0	45.7
1980	9,713	5,276	4,437	30.3	50.0
1981	13,469	7,559	5,910	37.7	65.6
1982	13,900	7,700	6,200	37.1	60.0

* Imports from and exports to non-CEPs. † Ind. sorghum.

Source: Wharton Econometrics

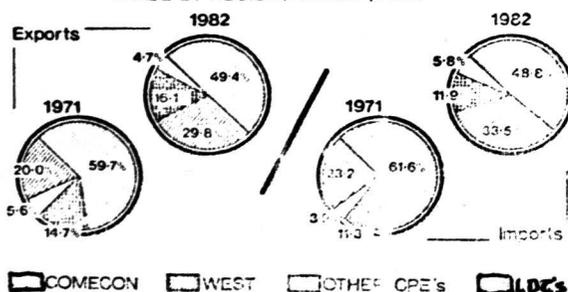
OUTPUT OF INDUSTRIAL PRODUCTS
(million tonnes unless stated)

	1980	1981	1982
Electricity kWh/bn	1,295	1,325	1,366
Crude oil	603	609	613
Natural gas cu m. bn	435	465	501
Coal	716	704	718
Crude steel	148	149	147
Steel pites	18.2	18.3	17.9
Synthetic resins and plastics	3.6	4.1	4.1
Chem. fibres	1.2	1.2	1.2
Metal cutting machine tools Rbn	1,919	2,045	2,068
Instruments, automation Rbn	5.4	5.6	4.8

Source: Oil & Gas Journal

Trade

TRADE BY REGION, Current prices



TRADE BY AREA
(Rbn current prices)

	Turnover	Exports	Imports
Comecon	1981: 52.2 1982: 58.7	28.6 31.2	23.6 27.5
Other CPE's	1981: 5.7 1982: 6.3	2.6 3.0	3.1 3.3
Industrial	1981: 35.3 1982: 37.7	17.2 18.8	18.1 18.9
Developing	1981: 16.5 1982: 16.9	8.7 10.2	7.8 6.7
Total	1981: 109.7 1982: 119.6	57.1 63.2	52.6 56.4

USSR'S TOP TRADING PARTNERS, 1982

	Turnover % share	Balance Roubles m.
GDR	10.2	643.4
Czech.	8.2	315.6
Bulgaria	7.7	596.5
Poland	7.4	715.9
W.-Germany*)	5.8	1,152.3
Cuba	4.9	422.3
Finland	4.5	- 217.0
Yugoslavia	4.4	- 312.0
Italy	3.4	1,598.8
Japan	3.1	-2,169.2

*) Inkl. W.-Berlin

Source: Vneshnyaya Torgovlya

Die Grundlagen der Exportförderung in Österreich

Fast alle Industriestaaten verfügen heute über spezielle Exportförderungssysteme. Das österreichische zählt zu den am weitesten ausgebauten und wirksamsten Systemen der Welt. Die Exportförderung (Garantie und Finanzierung) wird derzeit für fast die Hälfte der Exporte in Anspruch genommen, die Exportfinanzierung allein für mehr als ein Viertel. Die Attraktivität der österreichischen Exportförderung liegt nicht in der Subvention, sondern in der günstigen Gestaltung sowie der Befreiung von wirtschaftspolitischen Restriktionen.

Diffizile Problemstellung

Probleme im Zusammenhang mit der Exportförderung ergeben sich vor allem aus unerwarteten Umschichtungen zwischen spezieller und „allgemeiner“ Exportfinanzierung, weil sie die wirtschaftspolitischen Zielsetzungen in anderen Bereichen beeinträchtigen können. Das war zuletzt 1980/81 zugunsten der speziellen sowie 1982 zugunsten der allgemeinen Exportfinanzierung der Fall. Ursache dieser Vorgänge ist, daß sich die Exportfinanzierung in einem Spannungsfeld zwischen der internationalen und der nationalen Finanzierung befindet, die zeitweise gegensätzliche Anforderungen stellen.

Zahlreiche Finanzierungsverfahren

Die kostengünstige Versicherung der Exportrisiken ist bereits an sich ein Instrument der Exportförderung; sie ist überdies der erste Schritt zu einer günstigen Exportfinanzierung.

Träger der Exportversicherung ist in Österreich der Staat, der sich zur praktischen Abwicklung der Österreichischen Kontrollbank als Bevollmächtigter bedient. Der größte Bedarf an geförderter Exportfinanzierung besteht in der Ausfuhr von Investitionsgütern und Anlagen sowie in der Bereitstellung kostengünstiger Mittel für kleine und mittlere Unternehmen. In Österreich stehen folgende Finanzierungsverfahren zur Verfügung: Kredite der Österreichischen Exportfonds GesmbH; Exportwechselkredite mit Bundesbürgschaft und Rediskontzusage der Österreichischen Nationalbank; Exportwechselkredite mit Bundesbürgschaft und Finanzierungszusage der Österreichischen Kontrollbank; Kontrollbank-Exportfinanzierungsverfahren.

Die Exportförderung wurde in den vergangenen zehn Jahren stark ausgeweitet. Die Bruttoumsätze der Exportversicherung und Exportfinanzierung stiegen zwischen 1973 und 1982 auf mehr als das Zehnfache (von 8 auf 88 Milliarden Schilling bzw. von 5 auf 53 Milliarden Schilling), die Exporte haben sich in dieser Zeit nur verdreifacht. 1980 und 1981 wurde die geförderte Exportfinanzierung netto um jeweils 30 Milliarden Schilling ausgeweitet, 1982 nur um knapp 6 Milliarden Schilling. Über 90 Prozent des Finanzierungsbestandes entfallen auf das Kontrollbankverfahren, etwa 5 Prozent auf OeNB-Kredite und etwa 3 Prozent auf die Exportfonds. Das durchschnittliche Zahlungsziel der versicherten Exportkredite erreicht knapp vier Jahre. Die durchschnittliche Laufzeit der aus dem Kontrollbankverfahren finanzierten Kredite kann auf fünf Jahre veranschlagt werden.

Vorwiegend für Maschinen

Die Exportförderung wird vor allem für Exporte in Entwicklungsländer und Oststaaten in Anspruch genommen. Von den durch die Kontrollbank finanzierten Exportförderungen entfallen etwa 40 Prozent auf Entwicklungsländer (davon über ein Drittel auf die OPEC), weitere 40 bis 50 Prozent auf die Oststaaten. Die Exportförderung wird vor allem für die Ausfuhr von Investitionsgütern und Maschinen benötigt: Durch Exportgarantien werden etwa zwei Drittel des Maschinenexports, aber nur etwa 10 Prozent der Ausfuhr sonstiger Fertigwaren gedeckt.

Quelle: Informationen aus der Wirtschaft, Nr. 9/16. 9. 1983; Wien.

Vergl. auch Monatsberichte des öst. Inst. f. Wirtschaftsforschung 7/1983 und 8/1983.

Angebotsorientierte oder nachfrageorientierte Wirtschaftspolitik

Wirtschaftspolitik wird in der Makroökonomie definiert als die Summe jener ökonomischen, sozialen und politischen beziehungsweise ethischen Entscheidungen, die auf die Ordnung und Gestaltung der gesamten sozioökonomischen Verhältnisse, Erscheinungen und Vorgänge in einer Volkswirtschaft abgestellt sind.

Bis heute streiten die Ökonomen darüber, ob staatliche Wirtschaftspolitik sinnvoll ist, um ökonomische Abläufe in eine gewünschte Richtung zu steuern.

Lange Zeit herrschte bei den westlichen marktwirtschaftlich orientierten Industriestaaten die Sicht vor, daß der Staat nur einen stabilen ordnungspolitischen Rahmen für die Unternehmer zu setzen habe, die Marktwirtschaft im übrigen jedoch zur Selbstregulierung fähig sei. Vollbeschäftigung und gerechte Einkommensverteilung würden sich vollkommen automatisch einstellen. Die Gegenposition dazu wurde von jenen Ökonomen eingenommen, die in den vielen und relativ regelmäßig sich einstellenden ökonomischen Krisen der kapitalistischen Entwicklung (Weltwirtschaftskrise) keine Zufallsereignisse sehen wollten, sondern daraus die Notwendigkeit ableiteten, daß marktwirtschaftliche Prozesse durch staatliche Interventionen zu steuern sind. Diese sogenannte „Nachfragepolitik“, deren geistiger Vater J. M. Keynes¹⁾ war, wurde nach dem Zweiten Weltkrieg in fast allen westlichen Industriestaaten angewendet und trug somit nicht unerheblich zum wirtschaftlichen Aufschwung in den fünfziger und sechziger Jahren bei.

Krise des Wohlfahrtsstaates?

In den siebziger Jahren (Zäsur, erste Ölkrise) jedoch konnten konjunkturelle Impulse allein mit einer nachfrageorientierten Wirtschaftspolitik immer schwieriger erzielt werden, da der staatlichen Kreditaufnahme immer mehr Grenzen gesetzt wurden. Der Wohlfahrtsstaat erwuchs aus der Vorstellung, daß eine staatlich fein dosiert gesteuerte Automatik die Güter hervorbringt, die verteilt werden. Die eigentlichen Kräfte, die die wirtschaftlichen Wohltaten ermöglichen, wie Produktivität und die realen Austauschverhältnisse von Gütern und Arbeitsleistungen, traten immer mehr in den Hintergrund. Das Problem der Inflation war durch das traditionelle keynesianische Modell nur schwer in den Griff zu bekommen.

Inflation, so hat sich gezeigt, erhöht das Risiko der Fehleinschätzung künftiger Entwicklungen.

Die Menschen hatten sehr bald gelernt, die inflationären Ergebnisse einer nachfrageorientierten Wirtschaftspolitik in ihre Überlegungen miteinzubeziehen, so daß diese unwirksam wurden. Zunächst waren es die „Monetaristen“, die Anfang der siebziger Jahre auf die Gefahren von Inflation und Beschäftigungspolitik durch Nachfragebelebung hinwiesen. Ihr wirtschaftspolitisches Gegenkonzept sieht in einer auf Inflationsbekämpfung ausgerichteten Geldpolitik (stabiles Geldmengenwachstum) und in den selbstregulierenden Kräften der Märkte ein „Allheilmittel“.

Selbstheilungskräfte

Den eigentlichen Gegensatz zur Nachfragepolitik bildet aber eine **angebotsorientierte Wirtschaftspolitik** (supply-side-economics), die sich als radikal-monetaristische Variante einer neuen „klassischen Makroökonomie“ definieren läßt. Darunter versteht man im weitesten Sinne alle Maßnahmen zum Abbau dirigistischer Eingriffe in das privatwirtschaftliche Geschehen. Diese konservativen Ökonomen glaubten dabei, wie die Monetaristen, an die Selbstheilungskraft der Märkte. Der Staat ist ohnehin völlig machtlos, eine systematische Stabilisierungs- und Beschäftigungspolitik zu ermöglichen. Vielmehr soll er darauf achten, die Entwicklung der Produktionsfaktoren zu stärken; das heißt die privaten Investitionen zu steigern, die sich über einen wachsenden Kapitalstock positiv auf die Beschäftigung auswirken.

¹⁾ Sein Hauptwerk erschien 1936 mit dem Titel „Allgemeine Theorie der Beschäftigung, des Zinses und des Geldes“.

PHYSIKALISCHE BLÄTTER, 12 Hefte, DM 94,- plus Porto, Physik Verlag, D-6940 **Weinheim** / Bergstr., Postf. 1260.

STERNE UND WELTRAUM, 12 Hefte, DM 79,- plus Porto, Verlag Sterne und Weltraum, Dr. H. Vehrenberg, Postfach 140 365, D-4000 Düsseldorf 14.

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

Aulis Verlag Deubner & Co. KG, 5 Köln 1, Antwerpener Straße 6-12: **PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN**, 3 Teile: Physik, Chemie, Biologie, je 12 Hefte jährlich, Preis pro Teil DM 51,60 jährlich, für Studenten und Referendare DM 46,80, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte, Dozenten und Studenten an Hauptschulen, höheren Schulen und Pädagog. Hochschulen.

NATURWISSENSCHAFTEN IM UNTERRICHT, 2 Teile: Physik/Chemie und Biologie, je 12 Hefte jährlich, Preis pro Teil DM 45,- jährlich, für Studenten DM 40,20, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt-, Real- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Hochschulen.

GEOGRAPHIE IM UNTERRICHT, 12 Hefte jährlich, DM 54,-, Studenten DM 49,20, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Akademien.

CHEMIE IN UNSERER ZEIT, 6 Hefte, DM 34,- plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 **Weinheim** / Bergstraße, Postfach 1260.

Österreichische Chemie-Zeitschrift, Organ der Ges. Österr. Chemiker mit Nachrichten über Kurse u. Vorträge für AHS-Lehrer. Erscheint 11mal im Jahr. Bezugspreis inkl. Porto u. MwSt. S 560,-. Für AHS- u. BHS-Lehrer S 400,-, für Studenten S 337,-.

PHYSIK IN UNSERER ZEIT, 6 Hefte, DM 34,- plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 **Weinheim** / Bergstraße, Postfach 1260.

GEOGRAPHISCHE RUNDSCHAU, 12 Hefte, Einzelheft DM 8,- zuzüglich DM 1,- Versandkosten. Abonnementpreis DM 6,50 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.

Im Mittelpunkt der angebotsorientierten Wirtschaftspolitik steht aber nicht nur die Förderung des gesamtwirtschaftlichen Angebotes, sondern primär dienen all diese Maßnahmen zur Bekämpfung der Inflationsrate.

Dabei vertreten die Angebotspolitiker im Gegensatz zu den Monetaristen die Auffassung, daß es nicht genüge, für eine Verstärkung des Geldmengenwachstums zu sorgen, um Geldwertstabilität zu erreichen. Es müßten darüber hinaus restriktive fiskalpolitische Maßnahmen gesetzt werden. Eine Verlagerung der Ressourcen vom Staatssektor hin zum privaten Sektor erhöhe die gesamtwirtschaftliche Produktivität und löse schließlich Effekte aus, die die Inflation eindämmen. Die Angebotspolitiker folgen damit dem klassischen Saisons Gesetz, wonach das Angebot sich seine eigene Nachfrage schafft. Arbeitslosigkeit kann nur dadurch abgebaut werden, indem das Produktions- und Arbeitsplatzpotential verstärkt gefördert wird. Die Voraussetzung dazu bildet aber ein höheres Wirtschaftswachstum.

Durch den Investitionsvorgang und die Produktion neuer Produkte wird so viel Einkommen geschaffen, daß die durch den Investitionsvorgang geschaffenen Kapazitäten auslastbar sind. Die Voraussetzung dazu ist, daß das zusätzliche Einkommen in die Nachfrage fließt.

Jedoch ist es in der Praxis fraglich, ob die durch Angebotspolitik gesteigerten autonomen Investitionen tatsächlich im nachhinein ihre eigene Nachfrage schaffen können.

Welche Maßnahmen stehen nun im Vordergrund einer angebotsorientierten Wirtschaftspolitik?

Maßnahmenkatalog

Folgende spezifische Maßnahmen werden von den Angebotspolitikern angestrebt:

- Reduzierung der öffentlichen Defizite.
 - Trotz der Eindämmung der Staatsausgaben sind Ausgaben mit dem Ziel einer Investitionsbelegung zu erhöhen.
 - Arbeitereinkommensteuersenkung mit dem Ziel einer Verbesserung der Arbeitsmoral.
 - Umstrukturierung der Steuerlast, das heißt weg von den direkten Steuern, die auf den Einkommen lasten, hin zu den indirekten Steuern, die den Konsum treffen.
 - Liberalisierung der Abschreibemöglichkeiten für Investitionsgüter und eine Gewinnsteuersenkung; insbesondere sind jene Steuern, die auf dem durch Investitionen und die Übernahme von Risiko erzielten Einkommen lasten, zu vermindern.
 - dabei sind insbesondere die gewinnabhängigen Steuern, wie Gewerbesteuer und Vermögensteuer, abzubauen.
 - Durch die Steuersenkung soll ein verstärkter Sparanreiz geschaffen werden, der sich wiederum positiv auf das Investitionsverhalten der Unternehmer auswirkt, da eine erhöhte Ersparnisbildung niedrigere Zinskosten mit sich bringt.
- Die von der angebotsorientierten Wirtschaftspolitik geforderte Steuersenkung bewirkt langfristig eine erwünschte zusätzliche Konsumnachfrage. Um inflationären Tendenzen und Verdrängungseffekten („crowding out“) entgegenzuwirken, ist es notwendig, die zusätzliche Nachfrage durch eine Staatsausgabensenkung zu kompensieren.

Ob es einer angebotsorientierten Wirtschaftspolitik gelingen wird, Arbeitslosigkeit, Inflation und geringes Wirtschaftswachstum besser bekämpfen zu können als eine Nachfragepolitik, wird die Zukunft weisen. Die bisherigen Erfahrungen im angelsächsischen Raum lassen aber zweifeln, daß durch eine „angebotsorientierte Wirtschaftspolitik“ die Probleme der achtziger Jahre gelöst werden können.

Quelle: Wirtschaft für alle 7-8/83; Wien.