Karlheinz Lohs

# Militärchemische und Rüstungsaltlasten in Deutschland<sup>1</sup>

#### 1. Vorbemerkung

In diesen Tagen erscheint das Sondergutachten "Altlasten II" des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, welches zum Januar des Jahres 1995 fertiggestellt wurde. (1) Als Mitbeteiligter an diesem Sondergutachten kann ich für mich in Anspruch nehmen, die derzeitige Altlastensituation in Deutschland hinreichend gut zu kennen. In besonderem Maße trifft dies auf das Gebiet der militärischen Altlasten und Rüstungsaltlasten zu, die in schicksalhafter Weise seit 1955 mein Berufsleben geprägt haben. Damals erhielt ich die Aufgabe, die Vernichtung der auf dem Territorium der DDR noch vorhandenen Reste chemischer Munition und chemischer Kampfstoffe aus beiden Weltkriegen wissenschaftlich-technisch zu leiten. Dies tat ich bis Ende 1961; danach ging diese Aufgabe an den inzwischen aufgebauten Chemischen Dienst der Nationalen Volksarmee (NVA) der DDR über. Einige meiner Mitarbeiter und ich wurden vom Institut für Verfahrenstechnik in der organischen Chemie, Leipzig, der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin übernommen. Akademiemitglied Eberhard Leibnitz übertrug mir den Aufbau einer Abteilung für chemische Toxikologie, aus welcher dann die selbständige Forschungsstelle für chemische Toxikologie der Akademie hervorging und deren Direktor ich bis zur Schließung der Akademie gewesen bin.

Die praktischen Erfahrungen aus den Jahren 1955 bis 1961 im Umgang mit extrem giftigen Substanzen des militärischen Wahnsinns führten dazu, daß ich neben meiner Akademietätigkeit über Jahre hin als Berater bei den Genfer Verhandlungen des Abrüstungsausschusses mitwirkte, wenn dort die Thematik des angestrebten (1993 verwirklichten) Chemiewaffenabkommens zur Diskussion stand. Zu eben dieser Thematik bin ich als zeitweiliger Vorsitzender des Internationalen Abrüstungsausschusses der WFSW (World Federation of Scientific Workers), Sitz Lon-

Vortrag gehalten vor der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 20. April 1995

don, der Internationalen Pugwash-Bewegung sowie über 20 Jahre als Berater, davon 10 Jahre, d.h. 2 Wahlperioden, als Mitglied des Governing Board des SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute) und im Friedensrat der DDR tätig gewesen.

Alle diese gesammelten Erfahrungen kamen mir in meiner Tätigkeit nach der "Abwicklung" der o.g. Forschungsstelle als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Firma LOBBE GmbH in Iserlohn, einem führenden Unternehmen der Entsorgungs- und Sanierungsbranche Deutschlands, zugute; dort habe ich bis zum Eintritt ins Rentnerdasein am 1.9.1994 neben zivilen Altlastproblemen auch wieder mit militärischen Altlasten zu tun gehabt, da die LOBBE GmbH u.a. auch auf den ehemaligen Liegenschaften der Sowjet-Armee tätig war (und ist).

Man möge aus diesem Sachverhalt ersehen, daß die nachfolgenden Darlegungen unmittelbar praxisbezogen sind. Ein Teil der Erfahrungen ist von mir sowohl vor wie auch nach der Wende in Fachpublikationen niedergelegt. (2)

Soweit diese Vorbemerkungen, die im Blick auf die später einmal von Wissenschaftshistorikern (mit einer dann hoffentlich tages- und parteipolitisch ungetrübten Betrachtungsweise!) zeigen mögen, wie sehr über Jahrzehnte hinweg in der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin - der späteren Akademie der Wissenschaften der DDR - ganz in der Leibnizschen Tradition Theorie und Praxis verflochten waren sowie die "Pflicht als Forderung des Tages" (Goethe!) auf das Gemeinwohl orientiert gewesen ist.

### 2. Genereller Überblick

Der Raumordnungsbericht 1991 der Bundesregierung enthält eine auf Daten von Preuß und Wiegandt aufbauende Übersichtskarte der Altstandorte der Rüstungsindustrie vor 1948, d.h. vor der Installierung der späteren zwei deutschen Teilstaaten (siehe Anhang). Ohne hier dieses Bild in seinen Einzelheiten zu erläutern (es sei auf die Originalpublikation verwiesen), ist es allein schon aus der bloßen Ansicht der das gesamte Land über deckenden rüstungsrelevanten Anlagen und militärischen Liegenschaften höchst eindrucksvoll, welches Vernichtungspotential sich in einer solchen Landkarte widerspiegelt.

Inzwischen ist vom Umweltbundesamt (UBA) in Berlin eine fünfbändige Dokumentation veröffentlicht worden; sie gibt eine Darstellung über die in den alten wie in den neuen Bundesländern aus der Kriegszeit sowie als Resultat der Besatzungsmächte und späteren Gaststreitkräfte vorhandenen und noch zu entsorgenden militärischen Liegenschaften. In diesem Zusammenhang werden auch die Rüstungsaltstandorte sowie militärischen und in Sonderheit militärchemischen Altlasten (gleichbedeutend mit einer schrittweisen Sanierung der betreffenden Areale im Sinne einer Revitalisierung weiträumiger Gebiete) nahezu lückenlos aufgelistet. (3)

Für Deutschland insgesamt betrug 1991 die Gesamtfläche der militärischen Liegenschaften 1 Million Hektar (d.h. 2,8 % des deutschen Territoriums). Auf die Gaststreitkräfte der NATO-Staaten USA, Großbritannien, Frankreich und Kanada entfielen ca. 200.000 ha, die Westgruppe der sowjetischen Truppen besaß mit 1026 Liegenschaften ca. 256.000 ha, die NVA mit 2300 Liegenschaften 240.000 ha, und die damalige Bundeswehr verfügte über ca. 7000 Liegenschaften mit 253.000 ha. Zählt man hierzu noch die bis zum 31.12.1993 erfaßten Altlastverdachtsflächen vormaliger ziviler Industrienutzung hinzu, so kommt das Umweltbundesamt auf die Zahl von 138.722 derartiger erfaßter Flächen (wobei amtlicherseits davon ausgegangen wird, daß nach weiteren, derzeit noch laufenden Erhebungen, sich diese Zahl um mehr als 100.000 Flächen erhöhen kann; die Schätzungen des UBA liegen bei an nähernd 250.000 Altlastverdachtsflächen; hiervon liegen etwa 80.000 in den neuen Bundesländern). Einige Daten hierzu sind im Anhang zu finden. Auf Einzelheiten dieser Problematik kann hier nicht näher eingegangen werden. aber die volkswirtschaftliche Dimension bedarf wohl kaum einer weiteren Kommentierung. Nachfolgend sei die Thematik auf die militärchemischen und Rüstungsaltlasten eingeengt, die uns zwei Weltkriege und über 40 Jahre Kalter Krieg hinterlassen haben.

## 3. Militärchemische und Rüstungsaltlasten

"Der Krieg endet nicht am Tag des letzten Schusses", so hatte ich einen Artikel betitelt, welcher in einem der letzten Hefte der langjährigen Hauszeitschrift der Akademie, dem "spectrum", 1991 erschien. (4) Eine solche Feststellung wurde (und wird bis auf den heutigen Tag) in ihrer Tragweite verkannt oder auch "nur" verdrängt.

In der Wiederaufbau-Euphorie nach dem Zweiten Weltkrieg hatte die Erinnerung an Bomben und Granaten keinen Platz. Dies dann schon gar nicht, weil - wie im Fall chemischer Kampfstoffe Gifte als Waffen nicht zum Einsatz kamen sowie kaum Informationen über die Standorte der Produktions-, Lager- und Erprobungsstätten in der Bevölkerung vorhanden waren. Konkretes Wissen blieb nur auf die vergleichsweise geringe Zahl von Personen begrenzt, die in derartigen Stätten tätig gewesen sind.

Unter den militärchemischen Altlasten sind an erster Stelle die chemischen Kampfstoffe zu nennen, das heißt synthetische Gifte, die in Kombination mit militärischen Einsatzmitteln (Bomben, Granaten, Raketen, Minen, Sprühgeräten etc.) als chemische Waffen definiert werden. Nach dem heutigen Völkerrechtsverständnis gehören sie in die Kategorie der Massenvernichtungsmittel (neben biologischen und atomaren Waffen). Der Begriff "chemische Waffe" reicht jedoch über die chemischen Kampfstoffe hinaus, denn auch Brandmittel (z. B. Napalm) sowie Sabotagegifte und spezielle Mittel der Umweltkriegführung (z. B. Totalherbizide) werden in der Militärliteratur dazu gerechnet.<sup>2</sup> An die Öffentlichkeit dringen Nachrichten über solches "Erbe" der Militärs meist dann, wenn bei Bauarbeiten Fliegerbomben oder Artilleriegranaten als Blindgänger gefunden werden oder wenn Unglücksfälle mit solcher Fundmunition auftreten; meist bleiben aber für die Medien selbst Todesfälle nur Tagesmeldungen mit regionalem Charakter. Daß noch Tausende Tonnen von Sprengstoffen den Boden ebenso wie das Wasser und damit die Menschen bedrohen, aber daneben zusätzlich auch Reste von chemischen Kampfstoffen als "Zeitbomben" im Boden und in unvollkommen demontierten Anlagen ein schwer kalkulierbares Gefährdungspotential darstellen, dies ist nach wie vor unzureichend bekannt.

Hinzu kommt in unseren Tagen, daß mit dem 1993 in Paris nach jahrzehntelangen, zähen Verhandlungen zustande gekommenen Chemiewaffenabkommen - über welches noch nachfolgend einige Anmerkungen erforderlich sind - die Illusion genährt wird, daß nun das Problem eines chemischen Krieges endgültig erledigt sei.

Unter Rüstungsaltlasten versteht die Bundesregierung alle Boden-, Wasser- und Luftverunreinigungen durch Chemikalien aus konventionellen und chemischen Kampfstoffen. Hierbei handelt es sich besonders um:

Definition:

<sup>-</sup> chemische Kampfstoffe

<sup>-</sup> Brand-, Nebel- und Rauchstoffe.

<sup>-</sup> Chemikalien, die den KS zur Erreichung takt. Erfordernisse zugesetzt wurden,

<sup>-</sup> Sprengstoffe, Pulver und Treibmittel,

<sup>-</sup> produktionsbedingte Vor-, Zwischen- und Abfallprodukte

<sup>-</sup> Rückstände aus der Vernichtung konventioneller und chemischer Kampfmittel

Um die derzeitige Situation richtig zu verstehen, sind einige Darlegungen zum geschichtlichen Hintergrund chemischer Waffen angebracht.

Schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zeichnete sich mit dem Entstehen der chemischen Großindustrie auch die Möglichkeit der Entwicklung chemischer Kampfstoffe und damit entsprechender Waffen ab. 1868 fand auf der Konferenz von St. Petersburg das Verbot von Giftwaffen in einer entsprechenden Erklärung zwar erstmals Erwähnung, aber ein ausdrückliches völkerrechtlich relevantes Giftverbot wurde erst durch die Haager Landkriegsverordnung vom 29. Juli 1899 festgelegt und 1907 in den Artikeln 22 und 23 präzisiert. Danach haben die Kriegführenden kein unbeschränktes Recht in der Wahl der Mittel zur Schädigung des Feindes. Trotz dieser Landkriegsordnung wurde der Ausbruch des chemischen Krieges nicht verhindert; er begann am 22. April 1915 mit dem Einsatz des Chlorgases durch die kaiserlich-deutschen Truppen. Damit war das Zeitalter der modernen Massenvernichtungsmittel eröffnet.

### 4. Altlastrelevante chemische Kampfstoffe

Nach übereinstimmender Auffassung in der internationalen Fachliteratur sind die nachfolgend beschriebenen chemischen Kampfstoffe von herausragender militärischer Bedeutung; sie müssen daher im Zusammenhang mit der risikoreichen Sanierung von Altlasten aus ehemaligen Rüstungsbetrieben sowie von militärisch genutzten Territorien besonders beachtet werden.

Wenden wir uns zuerst den militärisch relevanten Nervengiften zu, die zu den bedeutendsten chemischen Kampfstoffen zählen. Der Begriff "Nervengift" ist unter toxikologischen Aspekten sehr weit zu fassen. Die militärische Einordnung der Wirkung weicht dabei von der zivilen toxikologisch-medizinischen Einordnung ab und folgt mehr den militärhistorischen Umständen ihres stattgefundenen oder geplanten Einsatzes.

Die mit Abstand gefährlichsten Nervengifte gehören zur Gruppe substituierter organischer Phosphorsäurederivate, insbesondere substituierte Ester der Phosphorsäuren und der Phosphonsäuren. Zu den bekanntesten Vertretern gehören das Tabun (Dimethylaminozyanphosphorsäureethylester), das Sarin (Methylfluorphosphonsäureisopropylester) und das Soman (Methylfluorphosphonsäurepinakolylester), die vor und während des 2. Weltkrieges in Deutschland entwickelt worden waren. Tabun und Sarin wurden damals bereits großtechnisch produziert; Soman befand

sich noch im Erprobungsstadium. VX ist erst nach 1960 in die Militärarsenale der Großmächte aufgenommen worden. Es ist nicht auszuschließen, daß inzwischen auch Entwicklungsländer sich in den Besitz der extrem giftigen VX-Kampfstoffe gebracht haben. Bei diesen VX-Stoffen handelt es sich um Derivate von Cholinbzw. Thiocholinphosphor-bzw. Thiocholinphosphonsäureestern.

Allen diesen phosphororganischen Giften bzw. Kampfstoffen ist gemeinsam, daß es sich um enzymatische Hemmstoffe der Cholinesterasen handelt. Die Cholinesterasen, vorzugsweise die Azetylcholinesterase, die bestimmend für die Elementarprozesse der Nervenleitung sind und damit Schlüsselfunktionen für die Aufrechterhaltung der Lebensprozesse im Organismus des Menschen sowie der meisten Tiere besitzen, stehen seit über fünfzig Jahren im Mittelpunkt der therapiebezogenen Studien von Pharmakologen und Toxikologen. Das durch phosphororganische Kampfstoffe des vorgenannten Tabun/Sarin/Soman/V-Typs ausgelöste akute Vergiftungsbild ist durch eine im Vordergrund stehende endogene Azetylcholinvergiftung mit starken Krämpfen, Speichelfluß, Sehstörungen und Verwirrtheitszuständen gekennzeichnet. Daneben sind generelle Herz-Kreislauf-Sensationen sowie biochemische Fehlregulationen der Leber, der Nieren und im Gastrointestinaltrakt kennzeichnend für das sehr komplexe Vergiftungsgeschehen.

Neben der akuten Giftwirkung, die bereits bei Kampfstoffmengen von 100 bis 200 Milligramm für eine Person den Tod innerhalb weniger Minuten zur Folge hat, besteht für den Fall der Vergiftung mit "unterkritischen" Mengen (sie liegen für den Menschen im Bereich von Mikrogramm) die Gefahr von Spätschäden, z.B. psychopathologischneurologischer Natur, Auch mögliche kanzerogene und mutagene Wirkungen sind in diesem Zusammenhang zu beachten.

Unter dem Aspekt des Arbeits- und Gesundheitsschutzes sind diese Probleme für alle auf ehemaligen militärischen Standorten und Rüstungsbetrieben der einschlägigen chemischen Industrie von großer Bedeutung, da sich im Schadensfall hieraus auch weitreichende versicherungsrechtliche Fragen ergeben können.

Wie hoch das Risiko im Fall des plötzlichen Freisetzens von Kampfstoffen wie Schwefel-Lost oder Sarin ist, dies belegt die darauf bezügliche Tabelle im Anhang sehr eindrucksvoll.

Am Rande sei erwähnt, daß in der Industrie auch neurotoxische Organophosphorverbindungen eine Rolle spielen, die militärtoxikologisch nicht unter dem Aspekt chemischer Waffen, aber in Ausnahmefällen als "Hilfsprodukte" - z.B. das sogenannte Torpedoöl und spezielle Lösungsmittel - Verwendung finden. Bei der Erkundung militärischer Altlasten sind Funde solcher Hilfsprodukte durchaus mit in die Möglichkeiten einzubeziehen, dies vor allem dann, wenn es auf die Bewertung von Vergiftungsgefahren sowie die Einleitung von Schutz- und Hilfsmaßnahmen ankommt.

Die chemischen und biochemischen sowie physikalischen Nachweis- und Bestimmungsfaktoren für phosphororganische Kampfstoffe gelten als gelöst, ebenso ihre technische Entgiftung. Im Blick auf die Beseitigung der militärischen und Rüstungsaltlasten ergeben sich jedoch erhebliche ökonomische Probleme.

Die ärztliche Behandlung von durch phosphororganische Kampfstoffe Vergifteten ist prinzipiell möglich, und geeignete Gegenmittel (Antidote) sind vorhanden bzw. gehören zu den unabdingbaren Voraussetzungen des Arbeitsschutzes bei der Entsorgung resp. Vernichtung entsprechender Altlasten. Ein Massenanfall Vergifteter wirft jedoch für die medizinische Versorgung organisatorisch unlösbare Probleme auf. Selbst bei intakter Infrastruktur und hochentwickelter Medizintechnik, wie sie in den meisten EG-Staaten als Standard gilt, würde die Notwendigkeit einer Sofort-Behandlung von mehreren hundert akut Vergifteten die vorhandenen Einrichtungen eines Landes überfordern. Hierfür hat das jüngste Beispiel des Terroranschlages mit Sarin in der Untergrundbahn von Tokio einen eindrucksvollen Beleg geliefert.

Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß man neben den sofort tödlich wirkenden phosphororganischen Nervengiften auch einigen Psychogiften militärische Bedeutung zumißt; es sind weder chemisch noch toxikologisch "Nervengifte" im vorstehend genannten Sinn. Sie werden in der Militärliteratur in Verbindung mit den auf das Nervensystem wirkenden Stoffen besprochen. Die von solchen militärischen Psychogiften ausgelösten Verhaltensstörungen beruhen letztendlich auf Hirnfunktionsstörungen. Derartige Verbindungen gelten als "nichtletale" Kampfstoffe, die das psychische Verhalten der damit Überfallenen für mehrere Stunden und Tage derart beeinflussen können, daß jeglicher Widerstand oder andere organisierte Gegenaktionen unterbunden werden. Als Beispiel seien hier die Piperidylbenzilate genannt, vor allem der chemische Kampfstoff mit der Code-Bezeichnung BZ, chemisch ist es 3-Chinuklidinylbenzilat; diese Verbindung gilt als Prototyp für militärisch relevante Psychogifte. Im Falle der Vergiftung großer Personengruppen mit sol-

chen psychoaktiven Verbindungen entstehen extreme Paniksituationen, die komplizierte Fragen der ärztlichen Versorgung und medizinischtechnischen Organisation aufwerfen (auch wenn solche Vergiftungen nicht unmittelbar lebensbedrohend sind).

Ebenfalls nur der Vollständigkeit wegen sollen hier die formal zu den Sabotagegiften gehörenden Nervengifte erwähnt werden. Sie wurden im 2. Weltkrieg vor allem in England entwickelt; es handelt sich um Monofluorkarbonsäurederivate, insbesondere um Fluorazetate. Die toxikologische Literatur trifft für sie gelegentlich auch die Einordnung als "Nerven- und Kampfgifte". Aufgrund ihrer hohen Warmblüter-Toxizität vor allem gegenüber zahlreichen Nutztieren wurden und werden sie zur Schädigung bzw. Vernichtung von Tierbeständen und zur Vergiftung der Trinkwasservorräte bevorratet. Aber auch als Gifte für Menschen, insbesondere zum individuellen Terror sowie bei der "Ausschaltung" wichtiger Personengruppen, erfordern sie Beachtung. Die Vergiftung mit Fluorkarbonsäureestern beruht auf der Störung des Zitronensäure-Zyklus und der hieraus abgeleiteten Kaskade biochemischer Fehlleistungen. Brauchbare Antidotpräparate bzw. Behandlungsmöglichkeiten beim Massenanfall Vergifteter sind bisher nicht bekannt; auch der Nachweis und die Entgiftung solcher Fluorazetate sind noch nicht befriedigend gelöst.

Als Beispiel eines wichtigen "klassischen" Nervengiftes, welches schon im 1. Weltkrieg erprobt wurde, sei noch der Zyanwasserstoff bzw. die Blausäure genannt. Als sogenanntes Zyklon B hat die Blausäure auch als Tötungsmittel in den Konzentrationslagern des Dritten Reiches traurige Berühmtheit erlangt.

Die leichte technische Zugängigkeit der Blausäure und die verfahrenstechnisch notwendige Bevorratung in großen Mengen in der zivilen chemischen Industrie sowie die hohe Toxizität legen die militärische Verwendung anscheinend auch heute noch nahe. Zumindest spielt die Blausäure offensichtlich im terroristischen Untergrund erneut eine Rolle, wie dies derzeit in Japan der Fail zu sein scheint. Doch auch das Thema der Rüstungsaltlasten "berührt" hin und wieder die militärische Relevanz der Blausäure. In den Jahren nach dem 2. Weltkrieg wurde in "Granatengräbern" mit Blausäure gefüllte Munition gefunden; allerdings lag in den meisten Fällen die Blausäure in einer polymerisierten Form vor, die keine toxikologischen Gefahren für Menschen und die Umwelt aufwirft. Es sind in jüngster Zeit auch Funde bekanntgeworden, die reine Blausäure gänzlich unzersetzt in Glasampullen enthielten. Es ist dies auf

den Zusatz geringer Mengen von chemischen Stabilisatoren zurückzuführen und bedarf keiner näheren Begründung dafür, daß derartige Funde ein außerordentlich hohes Gefahrenpotential darstellen. In jedem Fall müssen solche Funde zunächst Alarm auslösen. Zusätzlich problematisch kann die Situation werden, wenn - wie erst vor wenigen Jahren geschehen - durch unrichtige Meldung statt von Blausäure-Granaten von Blaukreuz-Granaten gesprochen wird; letztere sind Granaten, welche arsenorganische Kampfstoffe enthalten (s.u.) und die natürlich ein völlig anderes toxikologisches Gefahrenpotential darstellen.

Das Fehlen eines einfach zu handhabenden Gegenmittels für den durch Blausäure Vergifteten spielt angesichts der in Sekundenschnelle eintretenden Giftwirkung eine wesentliche Rolle. Der in der Notfall-Therapie erfahrene Arzt kann einen Blausäurevergifteten retten; bei einem Massenanfall Vergifteter ist die Situation allerdings vergleichbar jener, wie sie sich im Falle der o.g. phosphororganischen Kampfstoffe darstellt.

Wenngleich bis heute die vorstehend besonders hervorgehobenen phosphororganischen Nervengifte als die wohl bedeutsamsten chemischen Kampfstoffe anzusehen sind, dürfen die nachfolgend zu behandelnden hautwirksamen Kampfstoffe, allen voran das Schwefel-Lost, nicht unterschätzt werden. Dies gilt sowohl hinsichtlich seiner noch immer vorhandenen militärischen Bedeutung als auch unter dem Aspekt der militärischen Altlasten. Dichlordiethylsulfid sowie das Dichlordiethylmethylamin und das Trichlortriethylamin gehören zur Gruppe der Loste (auch Yperite oder Senfgase genannt). Sie gelten als die Prototypen der Hautgifte im Arsenal der chemischen Waffen. Die Bestände, insbesondere aus der Zeit des 2. Weltkrieges, sind noch so beträchtlich, daß mit einem Einsatz im Kriegsfall gerechnet werden müßte (besonders zur Geländevergiftung und damit der Behinderung der Landstreitkräfte). Zu den Tücken der Vergiftung durch Loste gehört, daß die Einwirkung auf die Haut ohne sofort erkennbare Reizwirkungen erfolgt und das Vergiftungsbild erst nach einer Latenzzeit von 30 bis 40 Minuten sichtbar wird. Im Falle der Einatmung treten die Reizerscheinungen im Atemtrakt und an den Augen bereits nach wenigen Minuten auf; allerdings ist in solchen Fällen die Prognose für den Betroffenen meist hoffnungslos. Für die ungeschützten Zivilbevölkerung stellen Verbindungen wie Schwefel oder Stickstoff-Lost nach wie vor eine sehr ernste Gefahr dar.

Das Schwefel-Lost galt im 1. Weltkrieg als "König der Kampfstoffe". Die Ereignisse im Irak/Iran-Konflikt sowie im Golfkrieg zeigten mit erschreckender Deutlichkeit die Bedeutung des Schwefel-Lostes.

Neben der akuten Giftwirkung besitzen die Loste zusätzlich noch ein beachtliches Gefährdungspotential durch Spät- und Dauerschäden (Leber- und Nierengiftwirkungen; Gefahr der Krebserzeugung etc.).

Therapeutisch werfen die Loste sehr komplizierte Fragen auf und binden das ärztliche sowie das Hilfspersonal mehrere Wochen. In diesem Zusammenhang müssen auch noch einige arsenorganische Hautgifte Erwähnung finden, besonders das alpha-Lewisit (2-Chlorvinylarsindichlorid), welches den Beinamen "Tau des Todes" er hielt. Die Latenzzeit ist gegenüber dem Schwefel- und dem Stickstoff-Lost kürzer. Der Heilungsprozeß ist nicht so langwierig, aber die Neben- und Spätwirkungen sind wie im Fall der Loste sehr problematisch.

Zu den Überraschungen der Offenlegung des vormals sowjetischen Arsenals chemischer Waffen gehört die Tatsache, daß das Lewisit eine dominierende Rolle für die Rote Armee gespielt hat (siehe Tab. im Anhang). Jetzt werfen die Entsorgung und Entgiftung der russischen Lewisit-Vorratslager ganz außerordentliche Probleme auf, sowohl ökologisch-ökonomisch als auch technisch, denn der Zustand dieser Lager ist wie Dokumentarfilmaufnahmen aus Rußland belegen - in geradezu dramatischer Weise besorgniserregend für die Menschen dieser Regionen und ihre Umwelt.

Schließlich ist noch auf die "Nesselstoffe" hinzuweisen, obwohl ihr militärischer Wert als Hautgifte seit Jahrzehnten bezweifelt wird. Die Reizwirkung mit Blasenbildung tritt innerhalb weniger Minuten auf. Behandlung und Heilung sind wesentlich günstiger als bei den anderen Hautgiften. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß aus den Zeiten des 1. und 2. Weltkrieges noch Vorräte an solchen Nesselstoffen vorhanden sind, so daß sie bei der Altlast-Erkundung entsprechend berücksichtigt werden müssen.

Wir haben noch kurz auf eine weitere Gruppe militärisch relevanter Substanzen hinzuweisen, die als Phytogifte bereits traurige Berühmtheit erlangt haben. Seit etwa dreißig Jahren wird dem Einsatz von Phytogiften zur militärisch motivierten Vernichtung der Sichtschutzgewächse (Bäume, Sträucher) und der Nutzpflanzen Beachtung geschenkt. Anwendung fanden z.B. in Südostasien hauptsächlich handelsübliche Verbindungen, wie die Herbizide aus der Reihe der Phenoxyessigsäurederivate (z.B. 2,4-D und 2,4,5-T), chlorierte Phenolderivate sowie Triazine und auch arsenorganische Gifte wie die Kakodylsäure.

Bei der großflächigen Anwendung derartiger Herbizide hat es sich in Vietnam gezeigt, daß für die in diesen Gebieten lebenden Menschen neben schweren Hautschäden vor allem Schädigungen des Nervensystems und des Verdauungstraktes sowie der Leber zu beobachten waren. Neben den akuten Vergiftungserscheinungen wird auch über Spät- und Dauerschäden berichtet; einem Teil der angewendeten Verbindungen werden mutagene und auch kanzerogene Eigenschaften zugeschrieben. Insbesondere das als Verunreinigung der chlorierten Phenoxyessigsäuren und der Chlorphenole vorkommende 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (Dioxin) ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

Für die Altlastproblematik haben in Deutschland einige dieser Herbizide Bedeutung erlangt, weil damit der "Todesstreifen" entlang der Grenze der ehemaligen DDR sowie um Berlin jahrzehntelang von jeglichem Pflanzenwuchs freigehalten worden war und dadurch tonnenweise diese Phytogifte ins Erdreich gelangt sind. Humantoxikologisch gehen von diesem chemischen Todesstreifen insofern noch Gefährdungen aus, als ein Durchtritt ins Grundwasser und damit der Transport in Trinkwasserreservoire möglich ist. Sollten Sanierungsarbeiten durch Behandeln oder Transport des Bodens im Bereich dieser Todesstreifen erforderlich werden, dann bedarf es für die damit betrauten Arbeitskräfte angemessener Schutzvorkehrungen (Atem- und Hautschutz) sowie der ärztlichen Überwachung und Nachsorge. (5)

Einige wenige Bemerkungen zu den Reizstoffen bzw. Reizkampfstoffen. Den überwiegend aus Beständen der beiden Weltkriege stammenden Reizstoffen (Augen-, Nasen- und Rachen- sowie Lungenreizstoffe) kommt heute für den militärischen wie auch den polizeilichen Einsatz durchaus noch Bedeutung zu (z.B. gegen die ungeschützte Zivilbevölkerung). Beispiele für solche Substanzen sind Bromazeton, Chlorazetophenon, Brombenzylcyanid, Phenarsazinchlorid (Adamsit), Diphenylarsindichlorid bzw. -cyanid (Clark I und Clark II) sowie besonders das Benzylidenmalodinitril (CS-Stoff) und das Dibenzooxazepin (CR-Stoff).

Die ärztliche Versorgung Geschädigter wirft keine unlösbaren Probleme auf, wenngleich auch hier bei der Behandlung größerer Personengruppen organisatorische Schwierigkeiten zu erwarten sind, die durch sekundäre Begleiterscheinungen (Panik) noch gesteigert würden. Im Zusammenhang mit militärischen Altlasten dürfte es bei Einzelschäden bleiben, die medizinisch beherrschbar sind.

Für das Problem der Rüstungsaltlasten sind die o.g. arsenorganischen Verbindungen, besonders Clark I und Adamsit, ein unvermindert großes

Problem, denn diese Substanzen ebenso wie ihre Abbauprodukte belasten nahezu unvermindert militärische Liegenschaften und alte Rüstungsbetriebe (in Mecklenburg-Vorpommern ist die ehemalige Munitionsanstalt der Wehrmacht in Löcknitz hierfür geradezu ein Paradebeispiel).

Man kann die Kampfstoffthematik nicht behandeln, ohne wenigstens kurz auch die Lungengifte, die heute oftmals als "klassische Kampfstoffe" eingeordnet werden, zu erwähnen.

Als chemische Kampfstoffe haben im 1. Weltkrieg hauptsächlich das Chlor und das Phosgen eine dramatische Rolle gespielt. Diese beiden Gifte, die unter Normalbedingungen gasförmig sind, haben für die chemischen Kampfstoffe den Begriff "Giftgase" geprägt, d.h. auch für die Flüssigkeiten und Feststoffe, die erst durch spezielle Anwendungsverfahren in Form von Dämpfen und von Stäuben sowie als Aerosole in der Atmosphäre "verteilt" werden. Als militärische Altlasten können vor al-Iem Phosgen in Bomben und Granaten sowie das mengenmäßig nicht so gravierende, jedoch als Lungengift sehr gefürchtete Chlorpikrin in Kanistern aus dem 1. Weltkrieg durchaus noch gefahrvoll sein. Chlorpikrin hat neuerdings im Zusammenhang mit Altlasten bei der Beräumung von Standorten der Westgruppe der sowjetischen Streitkräfte in Deutschland Aufmerksamkeit erregt. Die sowjetische Armee verwendete das Chlorpikrin für Dichtigkeitsprüfungen der Schutzkleidung sowie insbesondere der Gasmasken (in anderen Ländern wird für solche Zwecke Bromazeton eingesetzt, was wesentlich ungefährlicher ist).

Immer wieder werden auf den Liegenschaften der vormaligen Westgruppe der russischen Streitkräfte Fässer mit Chlorpikrin gefunden, die aufwendig entsorgt werden müssen. Inzwischen ist auch bekanntgeworden, daß die Truppen des russischen Innenministeriums Chlorpikrin gegen die Bevölkerung, z.B. in Tblissi, eingesetzt haben. Hierüber liegen jetzt Berichte von Ärzten vor, die an der Nachuntersuchung der Betroffenen beteiligt waren. (6) Wenn man selbst jahrzehntelang am Zustandekommen eines Verbotes chemischer Waffen beteiligt war, liest man diese Perversionen militärischer Gewalt mit blankem Entsetzen!

Das vorstehend über chemische Kampfstoffe Mitgeteilte kann im Rahmen einer solchen Darlegung zwangsläufig nur eine Skizze sein. Wer an einem vertieften Eindringen in die Chemie und Toxikologie der chemischen Kampfstoffe interessiert ist, der sei auf meine diesbezüglichen Bücher und Publikationen in Fachzeitschriften verwiesen. (2a, 2e).

Hierzu bedarf es noch einer persönlichen Anmerkung. Die publizierten wissenschaftlich-technischen Daten und Fakten waren damals und sind bis heute in Ost wie West unstrittig, (was nicht zuletzt auch durch den Vertrieb der Übersetzungen im englischen wie im russischen Sprachraum belegbar ist). Aber aus den inzwischen erlangten Kenntnissen über die militärchemischen Kriegsvorbereitungen der damaligen Großmächte muß man als Autor eingestehen, wie "einäugig" die tagespolitischen Schlußfolgerungen in einigen dieser Publikationen gewesen sind. Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß man im persönlichen Bemühen um konkrete Schritte zur Abrüstung auf einem sehr schmalen Grat wandelte und im eigenen Land von manchem der "Hardliner" innerhalb wie außerhalb der Akademie äußerst skeptisch betrachtet, ja - in Anlehnung an ein böses Wort der Kriegszeit insgeheim der Kategorie der "Wehrkraftzersetzer" zugeordnet wurde.

Noch einmal zurück zum Hauptthema dieser Darlegungen, den chemischen Kampfstoffen als Altlasten.

Wie gezeigt, gehören chemische Kampfstoffe zu chemisch wie auch toxikologisch sehr unterschiedlichen Substanzgruppen, so daß es auch keine summarische "Kampfstoff-Therapie" geben kann. Die Erkundung von Kampfstoffen im Gelände, ihre chemische Identifizierung respektive die qualitative und die quantitative Analytik sowie die erforderlichen Entgiftungsmethoden und ärztlichen Behandlungskomplexe sind entsprechend unterschiedlich. Die sich hieraus ergebenden Konsequenzen für die Standorte von Rüstungsaltlasten stellen sehr spezielle Anforderungen an das damit betraute medizinische Personal.

Zur Gefährdung der mit Erkundungs- und Sanierungsarbeiten befaßten Personen durch die chemischen Kampfstoffe und ihre mehr oder minder giftigen Abbauprodukte kommt noch als weiteres Risiko das von Explosivstoffen oder Treibladungen chemischer Munition ausgehende hinzu, wenn es sich um solche Kampfstoffe in chemischen Waffen - also in munitionierter Form (Granaten, Bomben, Raketen, Minen etc.) - handelt.

Bei den chemischen Kampfstoffen und chemischen Waffen stammt die Mehrzahl der Rüstungsaltlasten aus der Zeit des 2. Weltkrieges. Hin und wieder stößt man jedoch auch noch auf solche aus dem 1. Weltkrieg. Je nach der Art der Bevorratung kann es sich dabei um kaum zersetzte, d.h. biologisch noch nahezu voll wirksame chemische Kampfstoffe handeln oder um ins Erdreich und damit bis ins Grundwasser freigesetzte Abbauresp. Zersetzungsprodukte. Solche Produkte sind von sehr unterschiedlicher Giftigkeit; sie werden oftmals hinsichtlich des ärztlichen

Handlungsbedarfs unterschätzt, aber ebenso auch in ihren ökologischen Konsequenzen nicht ernst genug genommen. Damit stehen humantoxikologische wie auch umwelttoxikologische Erfordernisse für die Erkundungs- und die Sanierungsbetriebe auf der Tagesordnung, so daß entsprechende Aus- und Weiterbildungsprogramme für das medizinischtechnische Personal, aber auch für die zur Betreuung der Beschäftigten erforderlichen Ärzte notwendig sind bzw. umgehend verwirklicht werden müssen.

Diese knappe Übersicht umfaßt naturgemäß nicht alle militärisch aktuellen Gifte, wie es überhaupt grundsätzlich schwierig ist, zu verläßlichen Einschätzungen über das tatsächliche Ausmaß von Kampfstoffaltlasten zu gelangen. Es steht zu befürchten, daß wir in zahlreichen Fällen erst die "Spitze des Eisberges" gesichtet haben.

Die ständige Verfügbarkeit der militärmedizinischen Spezialeinheiten sowie der in der Bundeswehr vorhandenen Ausbilder wird für den zivilen Bereich nicht durchgängig möglich sein, so daß zivile Initiativen von Sanierungsfirmen und Fachverbänden unumgänglich sind. Erste Bemühungen in dieser Richtung gibt es seit kurzem. Aber auch eine aus der jüngsten Vergangenheit herrührende Zurückhaltung, manchmal sogar deutliche Abneigung und Ablehnung einer Beschäftigung mit medizinischen Problemen der Therapie von Kampfstoff-Schäden ist bei Ärzten und ärztlichem Hilfspersonal anzutreffen. Wer von chemischen Kampfstoffen etwas versteht, der kann vorschnell in den Verdacht der Mitwisserschaft um chemische Kriegsvorbereitungen geraten; die Geschichte der Militärmedizin hat dafür nicht nur im Deutschland der 1. Hälfte dieses Jahrhunderts bedrückende Beispiele. Dessenungeachtet muß sich das medizinische Personal im Hinblick auf die lebensbedrohlichen chemischen Rüstungsaltlasten den präventiven und kurativen Herausforderungen stellen. Ein solches Erfordernis ergibt sich nicht zuletzt auch aus den Auflagen des oben bereits kurz erwähnten Pariser Abkommens von 1993 zum Verbot chemischer Waffen, denn dieses Abkommen (s. Tabellen im Anhang) bezieht nicht nur die jetzigen Besitzer aktueller chemischer Kampfstoffe ein, sondern es legt auch explizit die sich aus Altlasten chemischer Kampfstoffe erwachsenden Pflichten resp. Erfordemisse fest.

## 5. Einige spezielle Aspekte seeversenkter Altlasten

Auch dem der Altlastenthematik Fernstehenden verdeutlicht das vorstehend Dargelegte, daß militärische Altlasten und Rüstungsaltlasten ein Umweltproblem besonderer Art darstellen. Obwohl die hauptsächlichen Probleme hierzu "an Land", d. h. im Bereich der ursprünglichen Herstellungs-, Lager- und Erprobungsstätten sowie auf den Einsatzgebieten bzw. Kriegsschauplätzen, liegen, wurde in unterschiedlichem Ausmaß, aber doch auch in erheblichen Mengen nicht mehr benötigtes Kriegsmaterial vom Waffenschrott bis hin zu extrem gefährlichen chemischen Kampfstoffen in die überdimensionalen "Abfallgruben" der Meere versenkt. Mehrfache internationale wie auch nationale Bemühungen um eine Aufklärung der Situation und um Abschätzung der umwelttoxikologischen Konsequenzen der unterseeischen Waffenhalde sowie möglicher Risiken für die Anwohner der Küstenregionen sind bislang in den Ansätzen steckengeblieben. Weitere wissenschaftlich-technische Erhebungen sind unbedingt erforderlich. Allerdings ist bereits jetzt absehbar, daß eine flächendeckende Entsorgung weder technisch noch finanziell durchführbar sein wird. Hierzu nachfolgend einige Ausführungen.

Die Thematik der Versenkung chemischer Kampfstoffe und anderer Militärchemikalien in der Ost- und Nordsee sowie im Atlantik bzw. in den Weltmeeren ist seit dem Ende des 1. Weltkrieges - und fortdauernd bis in die Gegenwart - von Interesse. Dies betrifft sowohl die Aspekte des Reaktionsverhaltens und damit der Toxizitätswandlung unter extremen Umweltbedingungen als auch die Möglichkeiten und Grenzen der Entsorgung überlagerter Bestände chemischer Kampfstoffe sowie kampfstoffgefüllter Munition.

In der Öffentlichkeit werden die aus der seeversenkten Munition resultierenden Probleme in den letzten Jahren verstärkt diskutiert, nachdem hierzu jahrzehntelanges Schweigen geherrscht hatte. Die Gründe für das neuerliche Interesse an diesem speziellen Kapitel der militärischen und Rüstungsaltlasten sind höchst unterschiedlich; sie reichen von sachlich begründeter Sorge über diffuse Angst und Ungewißheit bis hin zu boulevardjournalistisch geschürter Hysterie.

Was nun die sachlich begründete Sorge über die Gefährdung der marinen Umwelt sowie die Rückwirkungen auf Küstenregionen und ihre Bewohner betrifft, so wurden insbesondere in Deutschland seit 1989 durch die Offenlegung von bis dahin unter Verschluß gehaltenen Unterlagen und das Bekanntwerden der "Entsorgungspraxis" der vormals sowjetischen Armee in den Nachkriegsjahren (anteilig jedoch auch der anderen Siegermächte des 2. Weltkrieges) viele bis dahin verdrängte Probleme - in doppeltem Wortsinn - zutage gefördert.

Im Nachfolgenden steht das Problem der versenkten chemischen Kampfstoffe und chemischer Waffen im Vordergrund. Auf andere militärische und Rüstungsaltlasten, für die ebenfalls das "Seadumping" als scheinbare Endlösung der Entsorgungspraxis zur Anwendung gekommen ist, kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden; es sei lediglich darauf bingewiesen, daß auch für konventionelle Munition, Sprengstoffe und Waffen aller Art die Weltmeere zur internationalen Abfallgrube gemacht worden sind. Die Waffenhalden auf dem Grund der Meere betreffen nicht allein die Nord- und Ostsee; als außereuropäisches Beispiel sei auf die Tatsache verwiesen, daß als Altlast des 2. Weltkrieges in der Truk-Lagune im Pazifik eine Flotte japanischer Munitionsschiffe durch Versenkung "entsorgt" wurde. Derzeit häufen sich die Hinweise auf von der damaligen UdSSR bzw. ihren Nachfolgestaaten absichtlich versenkte U-Boote mit atomarer Bewaffnung und atomaren Antriebssystemen, so daß hier eine noch wesentlich dramatischere Situation für die Umwelt zu berücksichtigen wäre.

Am Rande sei erwähnt, daß einem Bericht der Süddeutschen Zeitung vom 26.8.1992 zufolge die Schweizer Armee in den Nachkriegsjahrzehnten mehrere Tausend Tonnen alter Waffen und Munition in verschiedenen Seen (Genfer-, Urner-, Neuenburger- und Thunersee) "entsorgt" hat. Dieses Beispiel demonstriert die - heute hoffentlich überwundene - Ignoranz mancher Militärs gegenüber der Umwelt. Man geht sicherlich nicht fehl in der Annahme, daß auch anderenorts Armeemüll nicht nur im Erdreich vergraben sowie in den Meeren versenkt wurde, sondern Flüsse und, wie das vorstehende Schweizer Beispiel zeigt, Binnenseen noch manche böse Überraschung aus Kriegs- und Nachkriegszeiten "aufbewahren".

1993 ist ein Dokument über die in der Ostsee versenkten chemischen Kampfstoffe und entsprechender chemischer Waffen vorgelegt worden; es gilt als erster umfassender Versuch zur Bestandsaufnahme und Bewertung dieser Problematik und enthält erste Empfehlungen zum weiteren Vorgehen. (7)

Parallel hierzu wurden vom Niedersächsischen Umweltministerium Erhebungen über Rüstungsaltlasten in der Nordsee publiziert. (8) Diese Erhebungen betreffen generell die in den Nachkriegsjahren versenkte Munition, d.h. es wurden chemische Waffen zwar nicht ausgeschlossen, aber die Datenlage fokussierte das Interesse auf Sprengmunition in vergleichsweise küstennahen Gewässern. Vorerst sind die in der nördlichen Nordsee versenkten chemischen Kampfstoffe resp. chemischen Waffen

außer Betracht geblieben. Demgegenüber gibt es Erhebungen insbesondere von norwegischer und auch von schwedischer Seite, die den Versuch unternehmen, die in der Nordsee von den Alliierten versenkten chemischen Waffen zu erkunden, um damit dieser Problematik "auf den Grund zu gehen".

Von Versenkungsaktionen der USA ist bekannt geworden, daß z.B. 1967 und 1968 vor der Küste New Jerseys 50 000 "Nervengas"-Granaten (d.h. mit phosphororganischen Kampfstoffen des Tabun/Sarin-Typs gefüllt) dem Atlantik überantwortet wurden; seit 1972 ist der US-Armee diese Entsorgungspraxis verboten worden.

Wenn sich unsere Ausführungen vorzugsweise auf die Ostsee (und hierbei vor allem das westliche sowie südliche Seegebiet) konzentrieren, dann deshalb, weil hierzu - bei aller Lückenhaftigkeit der Datenlage - bislang die verläßlichsten Unterlagen vorhanden sind. Sollte man überhaupt jemals eine Entsorgung dieser durch Munition und chemische Kampfstoffe belasteten Seengebiete ernsthaft in Betracht ziehen (und wäre es auch nur in engbegrenzten Regionen), dann ständen entsprechende Maßnahmen zunächst für diese westlichen und südlichen Gebiete der Ostsee zur Debatte.

Nach übereinstimmenden Schätzungen alliierter Dienststellen anhand aufgefundener Dokumente besaß Deutschland am Ende des 2. Weltkrieges etwa 300 000 Tonnen Kampfstoffmunition. Hiervon sind zwischen 42 000 Tonnen und 65 000 Tonnen in der Ostsee versenkt worden, gleichbedeutend mit einem Anteil von 6 500 bis 10 000 Tonnen chemischer Kampfstoffe (wenn man die Annahme macht, daß durchschnittlich 15 % des Gesamtgewichtes der chemischen Munition auf den Kampfstoffanteil entfällt). Der Hauptteil dieser Munition ist auf Veranlassung resp. Weisung der Alliierten in den ersten fünf bis sechs Nachkriegsjahren versenkt worden. Hierbei sind nicht mitgerechnet die Mengen an chemischer Munition aus alliierter Produktion; man kann davon ausgehen, daß derartige Versenkungen alliierter Munition (hauptsächlich aus britischen, französischen, russischen und polnischen Beständen) erfolgt ist, konkrete Unterlagen hierzu sind bisher nicht veröffentlicht worden.

In dem 1993 erarbeiteten Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe, unter Federführung des Bundesamtes für Seeschiffahrt und Hydrographie in Hamburg, heißt es: "- Gesicherte Erkenntnisse über Versenkungen:

Wie durch mehrere Quellen sicher bestätigt ist, wurden in 3 Gebieten die folgenden Munitionsmengen versenkt:

Kleiner Belt: 69 000 Tabungranaten und 5 000 t Bomben und Granaten, gefüllt mit Tabun und Phosgen - 1945 versenkt durch die Deutsche Wehrmacht. Die 69 000 Tabungranaten wurden 1959/60 gehoben und im Golf von Biscaya versenkt.

Bornholm Becken (östlich von B.): 35 000 t Bomben und Granaten, gefüllt mit S-Lost, Zählost und arsenhaltigen Kampfstoffen (Clark I, II, Adamsit), möglicherweise auch mit N-Lost, Phosgen, Tabun, Chloracetophenon und Zyklon B - veranlaßt durch die Sowjetische Militäradministration in Deutschland (SMAD) in den Jahren 1947 bis 1948, ca. 200 t durch Behörden der DDR in den Jahren 1952 - 1965.

Gotland Becken (südlich von G., südwestlich Liepaja): rd. 2 000 t, unbekannter Zusammensetzung - veranlaßt durch die SMAD, 1947.

Transportwege zu den Versenkungsgebieten: Nach zahlreichen Zeugenberichten wurde Kampfstoffmunition auf den Zufahrtswegen von dem Ostseehafen Wolgast in das Versenkungsgebiet östlich von Bornholm versenkt. Mengen und die genauen Positionen sind unbekannt.

Weniger gesicherte Erkenntnisse über Versenkungen:

Bornholm Becken (östlich B.): Nach Zeugenaussagen wurden weitere 8000 t Munition auf Veranlassung der Britischen Militäradministration in Deutschland (BMAD) 1946 in dem Gebiet östlich Bornholms versenkt.

Gebiet südwestlich von Bornholm: Nach Zeugenaussagen wurden 15 000 t Munition auf Veranlassung der BMAD 1946 südwestlich von Bornholm versenkt."

Soweit ein kurzer Auszug aus diesem Bericht der Bund/Länder Arbeitsgruppe. (7)

Der Sachverhalt wird zusätzlich auch durch schwedische und norwegische Erhebungen bestätigt. Entsprechende Mitteilungen erfolgten u.a. anläßlich einer 1993 mit Unterstützung der Volkswagen-Stiftung durchgeführten Expertentagung des Stockholmer Friedensforschungsinstitutes (SIPRI) und der Wehrwissenschaftlichen Dienststelle der Bundeswehr für ABC-Schutz in Munster. (9)

Außerhalb der Ostsee wurden - wie bereits vorstehend kurz erwähnt - ebenfalls Kampfstoffversenkungen durchgeführt. So hat Großbritannien in den ersten Nachkriegsjahren eigene überlagerte Munition im Nordatlantik versenkt. Weitere Versenkungen überlagerter Kampfstoffmunition

sowie chemischer Kampfstoffe sind in den fünfziger Jahren von den USA vor ihrer Südostküste im Atlantik erfolgt.

Aus Belgien ist bekannt, daß dort deutsche ebenso wie eigene chemische Munition im Seegebiet vor Zeebrügge sowie 1954, 1972 und 1980 im Golf von Biscaya versenkt worden ist. Hierzu ist anzumerken, daß Belgien schon 1920 Kampfstoffmunition vor seiner Küste versenkt hat, so wie auch damals bereits Restbestände der chemischen Munition des 1. Weltkrieges in der Ostsee, im Gebiet des sogenannten Adlergrundes, versenkt worden waren.

Damals wie später war (und ist bis heute) der tatsächliche Umfang von Versenkungsaktionen der russischen bzw. sowjetischen Armee unbekannt geblieben. Hohen russischen Militärs zufolge sollen noch Mitte der achtziger Jahre über 250 000 t überlagerter Munition östlich von Bornholm versenkt worden sein (da es sich hierbei um Presseberichte handelt und auch keine Spezifizierung der Munitionsarten gemacht wurde, sind derartige Angaben mit gebotener Zurückhaltung aufzunehmen, wenngleich es als ziemlich sicher gelten kann, daß in der damaligen USSR das Militär nicht von Umweltskrupeln beherrscht war).

Hinsichtlich der hauptsächlichen Arten chemischer Kampfstoffe des 2. Weltkrieges, die seeversenkt wurden, sind hier zu nennen: Chlorazetophenon, Phenarsazinchlorid (Adamsit), Diphenylarsinchlorid (Clark I), Diphenylarsincyanid (Clark II), Lewisite (alpha, beta und gamma bzw. techn. Mischungen), Phenylarsindichlorid, Phosgen, Chlorpikrin, Schwefel-Lost und takt. Mischungen, Stickstoff-Loste, Tabun, Sarin sowie Blausäure (Zyklon B). Hinzu kommen noch eine Vielzahl technischer Vor- und Zwischenprodukte der Kampfstoffchemie, Sprengstoffe, Nebelmittel sowie sonstiger Militärchemikalien (z.B. Entgiftungsmittel, übungs- und Imitationsstoffe, Zündmittel, Brandmittel), wobei es sich bei den letztgenannten Militärchemikalien um vergleichsweise geringe Tonnagen gehandelt hat.

Wie an Land die geologischen Gegebenheiten vielgestaltig sind, so ist auch der Meeresboden geologisch höchst unterschiedlich strukturiert; feinkörnige Sande wechseln mit Kiesen, Geröllen und Festgesteinen, überwucherndem Pflanzenbesatz oder schlickigen Schlämmen sowie sandigen Sedimenten. Hinzu kommen die Temperaturschichtungen mit unterschiedlichen horizontalen und vertikalen Salzgehalten. Auf diese Weise sind die "Reaktionsräume" für alle Arten von seeversenkten Materialien, sei es kompakt (als Munitionsbehälter) oder feinverteilt bzw. im Wasser gelöst (als Kampfstoffe, Sprengstoffe sowie Abbauprodukte)

sehr unterschiedlich. Am Meeresboden und im Seewasser erweisen sich oxidative Prozesse bestimmend, während im Schlick die Reduktionsbedingungen vorherrschen. Dementsprechend verlaufen die chemischen Abbauprozesse nicht nur zeitlich sehr unterschiedlich, sondern die einzelnen Reaktionsabläufe variieren erheblich (gleichbedeutend mit der Bildung unterschiedlicher Zwischen- und Endprodukte). Alle diese Abbauprozesse sind ihrerseits mit Transportprozessen in den salinen Schichtungen verknüpft, da der stoffliche Austausch zwischen der "freien" Wasserphase und den Sedimenten oder dem Schlick über diffusionsbedingte Abläufe geregelt wird.

Eine Vergleichbarkeit mit "Laborbedingungen" ist bei allen diesen Prozeßabläufen nur in Ausnahmefällen gegeben. Umweltchemie als "Realchemie" erweist sich hier - wie generell - als außerordentlich viel komplizierter als das lehrbuchgemäße Geschehen im Reagenzglas. Dieser Sachverhalt wird vorerst noch allzuoft übersehen, insbesondere dann, wenn es um Forderungen nach der Festlegung von behördlich zu fixierenden sogenannten Grenzwerten als vermeintlich konstante d.h. reproduzierbare Größen geht. Gelegentlich in der Fachliteratur publizierte Modellrechnungen und mathematisierte "Gleichungen" haben bisher in der Praxis die Erwartungen und Versprechungen nicht erfüllt, was jedoch nach dem vorstehend Dargelegten wohl verständlich ist.

Obgleich hier die seeversenkten chemischen Kampfstoffe vorrangig betrachtet werden, hat eine umwelttoxikologische Bewertung zu berücksichtigen, daß mengenmäßig auch die versenkten Sprengstoffe in ein Monitoring-Programm einzubeziehen sind. Hierbei müssen sowohl die Sprengstoffe und insbesondere ihre toxikologisch noch weitaus problematischeren Abbauprodukte (mit teilweise genotoxischer, insbesondere kanzerogener Wirkung!) als auch die metallischen Anteile aus den Zündmitteln und Munitionsbehältern in dieser chemisch-toxikologischen Gesamtsituation Beachtung finden.

Die vorstehend skizzierte Problematik der umwelttoxikologischen Vielfalt von Substanzen, die mitbestimmend für das Gefahrenpotential sind, welches aus seeversenkter Munition erwächst, ist beeindruckend und für die Verantwortung Tragenden eine besondere Herausforderung sowohl fachwissenschaftlich wie auch politisch-administrativ.

Nach dem 2. Weltkrieg wurde man auf bestehende Gefahren seeversenkter Munition zunächst dadurch aufmerksam, daß sich in den küstennahen Gewässern eine auf die illegale Buntmetallgewinnung gerichtete "Munitionsfischerei" (einschließlich der Rückversenkung von nicht an-

landungsfähiger Munition) entwickelt hatte, bei der Explosionsunglücke die nahezu zwangsläufige Folge waren. Damit in Verbindung kam es im Fall von geborgener Kampfstoffmunition auch zu Vergiftungen, insbesondere durch "Gelbkreuz"-Granaten, d.h. mit Schwefel-Lost (chemisch 2,2-Di-chlordiethylsulfid) gefüllte Granaten.

Im Verlaufe der Nachkriegsjahre sind dann vor allem die mit Grundnetzen arbeitenden Fischer häufig zu unfreiwilligen "Munitions-Entsorgern" und damit zu in doppeltem Sinn Geschädigten geworden; sie haben Vergiftungen sowie Verletzungen davongetragen, und zusätzlich hatten sie den wirtschaftlichen Schaden. Dies, weil sowohl ihr gefangener Fisch ungenießbar war als auch in zahlreichen Fällen durch die an Deck gehievten Fangnetze der Fischkutter großflächig durch den chemischen Kampfstoff derart vergiftet wurde, so daß danach aufwendige Entgiftungs- und Spezialreinigungsmaßnahmen an Land durch Sondereinheiten der Armee notwendig waren.

Als zusätzlich beunruhigend erwiesen sich in diesem Zusammenhang die an die Strände gespülte Munition sowie leckgeschlagene Abwurfbehälter mit darin noch teilweise vorhandenen Kampfstoffresten oder Resten von weißem Phosphor aus Brandbomben und -kanistern. Dies war (und ist) eine besondere Gefährdung für Unkundige, die zum Beispiel als Spaziergänger am Meer derartiges "Strandgut" finden, denn der ausgelaufene Inhalt, der oberflächig "verharzt", kann weitab vom eigentlichen Behälter an den Strand gespült werden und in seinem Aussehen zunächst für ein Stück Bernstein gehalten werden. Beim Anfassen bricht die harzige Umhüllung und gibt dann den noch hochwirksamen Kampfstoff (in solchen Fällen hauptsächlich Schwefel-Lost) oder den bei Luftzutritt unvermindert brandaktiven Phosphor frei; nur sofortige ärztliche Hilfe vermag dann die schweren akuten Schädigungen in Grenzen zu halten. Aber selbst das mit der Bergung und Entsorgung beauftragte Personal ist beim Umgang mit chemischen Kampfstoffen noch dem Risiko von gesundheitlichen Spätschäden ausgesetzt. Nach wie vor besteht jedoch das größte Gefährdungsrisiko für die Fischereifahrzeuge, da trotz wesentlich verbesserter Seekarten, die heute die Hauptlagerplätze seeversenkter Munition ausweisen, immer wieder Zufallsfunde vorkommen und durch Strömungsvorgänge am Meeresboden Verlagerungen der Munition auftreten. Leider kann bislang auch nicht völlig ausgeschlossen werden, daß es in den letzten Jahren z.B. im östlichen Teil der Ostsee noch zu "Nacht- und Nebelaktionen" der Munitionsentsorgung gekommen ist.

Vorerst steht eine lückenlose Neukartierung der gesamten Ost- und Nordsee sowie weiterer Verdachtsflächen des Atlantik (z.B. Biscaya) und anderer Meereszonen (Nordmeer!) noch aus. Abgesehen von diesen sehr aufwendigen Kartierungsvorhaben wird zumindest punktuell auch eine meeres-chemische Beprobung mit moderner Analysentechnik vorzunehmen sein, weil beispielsweise durch arsenhaltige chemische Kampfstoffe die Meeresfauna beeinträchtigt werden kann und so die Anreicherung von Arsen in Fischen, Muscheln oder Seevögeln die Folge wäre. Damit hat die Giftbelastung der Gewässer auch veterinärtoxikologische und ernährungswirtschaftliche Aspekte.

Seeversenkte chemische Kampfstoffe sowie anderweitige militärische Altlasten haben stellenweise den Meereshoden zu einer "Sondermülldeponie" gemacht. Vor dieser Tatsache kann man nicht die Augen verschließen und muß demgemäße seehydrographische Vorkehrungen durch genaue Kartierungen ebenso treffen wie die ständige Arbeitsschutz- und Sicherheitsbelehrung für die Beschäftigten im Bereich der Schiffahrt, insbesondere der Fischerei und Fischverarbeitung. Es ist allerdings aus wirtschaftlichen und technischen Gründen derzeit völlig unrealistisch, an eine Entsorgung der inzwischen bekannten Meeresbodengebiete zu denken. Wenn es überhaupt zu technischen Entsorgungsmaßnahmen kommt, werden sich diese regional engbegrenzt auf küstennahe Bereiche von Hafenzufahrten, auf Urlaubsreservate und sensible Versorgungsbereiche (Seekabelverläufe, Bohrinsel-Standorte, Marinestützpunkte usw.) beschränken. Neben dem Ausbau eines Monitoring Programmes zur weiteren Präzisierung der umwelttoxikologischen Situation in sensiblen maritimen Bereichen ist die besondere Aufmerksamkeit darauf zu richten, daß entsprechend der bestehenden internationalen Konventionen zum Schutz der Umwelt jegliche weitere Versenkungsaktionen verhindert werden. Die inzwischen hierfür vorhandenen technischen Möglichkeiten satellitengestützter Überwachungssysteme dürften die Gewähr für einen diesbezüglichen Schutz der Meere und Seengebiete geben. Dort, wo punktuelle Entsorgungsmaßnahmen auf See oder an den Küsten durchzuführen sind, bedarf es nicht nur einer Hochleistungstechnik, sondern ebenso eines Fachpersonals mit vieljähriger praktischer Erfahrung zur Entgiftung und Entsorgung von besonders gefährlichen Chemikalien. Allerdings kann wohl davon ausgegangen werden, daß die Problematik der militärischen "Sonderdeponie" auf dem Meeresgrund auch noch den Enkeln unserer Enkel Entsorgungssorgen machen wird.

### 6. Schlußbemerkungen

Abschließend sei es darauf hingewiesen, daß eine Vielzahl von Problemen der Rüstungsaltlasten, die weit über das hier Zusammengefaßte hinausreichen, auf drei Kongressen 1992/93 hier in Berlin von uns und zahlreichen Fachkollegen behandelt sowie in einem dreibändigen Bericht zusammengetragen worden ist. (10) Inzwischen haben zahlreiche weitere Symposien, Kongresse und Kolloquien zu diesem Themenkreis stattgefunden. Eine große Zahl von Publikationen liegt vor. Es bedarf keiner Prophetie, daß uns diese Thematik mit all ihren doppelbödigen Problemen noch weit über die Schwelle des Jahrtausends hinaus begleitet. Wenngleich schon heute die technische Lösbarkeit der Probleme gegeben ist, sind die Kosten und damit die volkswirtschaftlichen Belastungen als extrem hoch einzuschätzen. Um so makabrer stellt sich daher die Tatsache dar, daß das Kriegsgeschehen auf unserer Erde anhält, was gleichbedeutend mit der fortdauernden Anhäufung militärischer und Rüstungsaltlasten einhergeht!

#### Literatur

- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Altlasten II. Sondergutachten, Februar 1995. Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart, 1995.
- (2) a. Lohs, Kh.: Synthetische Gifte. 4. Aufl., Militärverlag der DDR, Berlin, 1974.
  - b. Appler, B. und Lohs, Kh.: Chemische Kampfstoffe. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften. Wehrwissenschaftliche Dienststelle der Bundeswehr für ABCSchutz, Munster, 1992.
  - c. Lohs, Kh. und Martinetz, D.: Entgiftung Mittei, Methoden und Probleme. Akademie-Verlag, Berlin, 1978; Verlag Vieweg, Braunschweig, 1978.
  - d. Lohs, Kh. und Martinetz, D.: Entgiftung und Vernichtung chemischer Kampfstoffe. Militärverlag der DDR, Berlin, 1983.
  - e. Lohs, Kh.: Aus militärischen Altlasten erwachsende ärztliche Erfordernisse, Z. ärztl. Fortbild. 85(1991), 1063 - 1067.
  - f. Lohs, Kh.: Zur Bewertung von ehemals militärisch genutzten Flächen der neuen Bundesländer. Abfallwirtschafts-Journal 3(1991), H. 4, 223 - 225.
- (3) Umweltbundesamt: Verdachtsstandorte von Rüstungsaltiasten in Deutschland. Bde. 1 5. UBA-Forschungsbericht 93-029, UBA-Texte 08/93, Berlin, 1993.

- (4) Lohs, Kh.: Der Krieg endet nicht am Tag des letzten Schusses. spectrum 22(1991), H. 2, 24 - 26.
- (5) Lohs, Kh. und Martinetz, D.: Der Grenzstreifen als Herbizid-Altlast. UWSF Z. Umweltchem. Ökotox. 3(1991), H. 4, 217.
- (6) Hilgart, D.: Einsatz chemischer Waffen in Tbilissi/Georgien gesundheitliche Folgen einer Massenkatastrophe am 9. April 1989. Diss., Universität Witten-Herdecke, 1993; sowie Schmidt-Troschke, St.: Massenpsychogene Erkrankung und posttraumatische Belastungsstörungen gesundheitliche Folgen einer Massenkatastrophe am 9. April 1989. Diss., Universität Witten-Herdecke, 1993.
- (7) Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie Hamburg: Chemische Kampfstoffmunition in der südlichen und westlichen Ostsee - Bestandsaufnahme, Bewertung und Empfehlungen. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Chemische Kampfstoffe in der Ostsee, Hamburg, 1993.
- (8) Rapsch, H.-J.: Ist die Nordsee eine Rüstungsaltlast? AbfallwirtschaftsJournal 4(1992), H. 12, 1002 - 1005; siehe hierzu auch Lohs, Kh.: Seeversenkte chemische Kampfstoffe. Entsorgungspraxis 6/95, 102 - 105 (dort weitere Literatur).
- (9) Stock, Th. und Lohs, Kh.: SIPRI-Monograph, Stockholm, 1995 (im Druck).
- (10)a. Thom,-Kozmiensky, Spyra, Lohs, Preussner, Rüden: Untersuchung von Rüstungsalttasten. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1991/93.
  - b. Thom,-Kozmiensky, Spyra, Lohs, Preussner, Rüden: Verfahten zur Sanierung von Rüstungsaltlasten. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1991/93.
  - c. Thom,-Kozmiensky, Spyra, Lohs, Preussner, Rüden: Management zur Sanierung von Rüstungsaltlasten. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1991/93.

#### Anlage 1

## Als "Chemische Waffen" gelten, zusammen oder einzeln:

(nach Artikel II der Chemiewaffenkonvention)

- a) toxische Chemikalien und deren Vorprodukte, mit den Ausnahmen, daß diese für Zwecke genutzt werden, die nicht durch die Konvention verboten, sind sowie die Arten und Mengen dieser Stoffe, soweit sie in Übereinstimmung mit den durch die Konvention verbotenen Zwecken stehen,
- Munition und Vorrichtungen, die speziell so ausgelegt sind, daß sie den Tod oder andere Schädigungen durch die toxischen Eigenschaften dieser Chemikalien (siehe a)) als Resultat der Anwendung solcher Munition und Vorrichtungen, herbeiführen;
- c) jegliches Gerät, welches speziell entwickelt wurde für die direkte Nutzung in Verbindung mit der Anwendung solcher Munition oder entsprechender Vorrichtungen.

#### Anlage 2

## "Alte Chemische Waffen" unter der Chemiewaffenkonvention

## Artikel I generelle Verpflichtungen

§ 2 (Verpflichtung zur Vernichtung - generell -) und § 3 (Verpflichtung zur Vernichtung von zurückgelassenen Chemiewaffen auf dem Territorium eines anderen Vertragsstaates.

### Artikel II Definition und Kriterien

alte chemische Waffen

- a) produziert vor 1925
- b) produziert in der Zeit zwischen 1925 und 1946; nicht länger als Chemiewaffen nutzbar, da soweit "zerfallen"

zurückgelassende chemische Waffen

Chemiewaffen, auch alte Chemiewaffen, die durch einen Staat auf dem Territorium eines anderen Staates nach dem 1. Januar 1925 ohne dessen Zustimmung zurückgelassen wurden.

## Artikel III Deklarierungen

- 30 Tage nach Inkraftreten der Konvention für den betreffenden Staat erfolgt die Übergabe folgender Deklarationen:
- a) Deklaration über das Vorhandensein von alten Chemiewaffen (nach Definition) und Übermittlung aller verfügbaren Informationen gemäß dem Verifikationsanhang
- b) Deklaration über das Vorhandensein von zurückgelassenen Chemiewaffen auf seinem Territorium und Übermittlung aller verfügbaren Informationen gemäß dem Verifikationsanhang

c) Deklaration darüber, ob Chemiewaffen auf dem Territorium eines anderes Staates zurückgelassen wurden und Übermittlung aller verfügbaren Informationen gemäß dem Verifikationsanhang

#### Artikel IV Chemische Waffen

generelle Verpflichtung zur Vernichtung von Chemiewaffen

#### SONDERREGELUNG:

Alle Bestimmungen für die Vernichtung unter diesem Artikel sollen nicht für Chemiewaffen angewandt werden, die vergraben wurden oder vergraben bleiben (auf dem Territorium des Vertragsteilnehmers vor dem 1. Januar 1977) und für Chemiewaffen, welche vor dem 1. Januar 1985 "seeversenkt" wurden.

### Anlage 3

Tabelle 1 Anzahl erfaßter und geschätzter Altlastverdachtsflächen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 31.12.1993)

	Altlastverdachtsflächen	
	erfaßt	geschätzt
Alte Bundesländer	69.029	161.678
Neue Bundesländer	69.693	83.248
Gesamt	138.722	244.926

Ausdehnung der Flächen: rund 1.000.000 ha

### Anlage 4

### Technische Möglichkeiten der Kampfstoffvernichtung

#### A. Thermische Verfahren

- a) Pyrolyse
- b) Hochtemperaturverbrennung
- c) Katalysierte Verbrennung

### B. Chemische Verfahren (ggf. in Kombination mit Bodenwäsche)

- a) Hydrolytische Spaltung
- b) Chemische Oxidation
  - mit chlorierenden Mitteln (Calciumhypochlorit)
  - mit Sauerstoffträgern (Persäuren)
- c) Katalytische Reaktion
- d) Spezielle Entgiftungsreaktionen
- e) Immobilisierung ("Einbetten" in Polymere, Verglasung etc.)

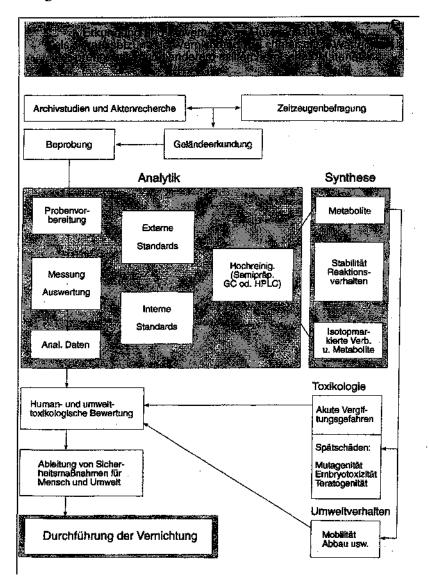
## C. Physikalische Verfahren

- a) Strahlungschemischer Abbau
- b) Kryofraktion

## D. Biologische Verfahren

- Bakterieller Abbau
- Enzymatischer Abbau

Anlage 5



Gottfried May und Moritz Mebel

# Transplantation lebenswichtiger Organe\*

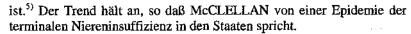
Der Wunsch der Menschheit, alt zu werden bei voller Gesundheit, ist Jahrtausende alt, wie es schon Höhlenzeichnungen in China und Indien beweisen. Die konsequentesten Anstrengungen sind sicher in unserem Jahrhundert betrieben worden, wie es die Meilensteine auf dem Weg zur Organtransplantation zeigen, die heute – trotz Unzulänglichkeiten - einen festen Platz in der klinischen Praxis eingenommen hat.

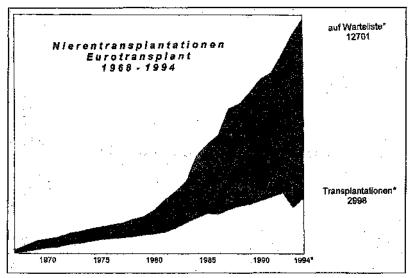
In den letzten 35 Jahren wurden in jährlich zunehmender Anzahl weltweit etwa 300 000 allogene Nierentransplantationen vorgenommen (Abb. 1).

Organiransplantation			
erfolgreiche     klinische Organtrans- plantation	Zahl der bisher in der Welt durch- geführten Transplantationen	Transplantat- überleben	
Niere: Murray 1954	ca. 300 000	5 Jahre 60 %	
Leber: Starzel 1963	ca. 25 000	5 Jahre 60-70 %	
Herz: Bernard 1967	ca. 25 000	5 Jahre 65 %	
Lunge: Hardy 1963	ca. 1 700	3 Jahre 50-60 %	
Cornea: Zirn 1905	ca. 70 - 100 000	dauerhaft 85 %	

In ganz Europa liegt die jährliche Zahl bei 6000<sup>7)</sup>. Viermal mehr Patienten warten auf eine Nierenverpflanzung. Die gleiche Situation besteht in den Ländern, die Eurotransplant angeschlossen sind (Abb. 2). Sie müssen nicht sterben, dank der weit verbreiteten Dialysebehandlungsmöglichkeiten. Eine repräsentative Untersuchung von McCLELLAN zeigt, daß die Häufigkeit der terminalen Niereninsuffizienz in den USA von 92 pro 1 Million Einwohner 1982 auf 181 1990, d. h. um 109 %, gestiegen

Vortrag, gehalten in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 21. September 1995





Seit 1967 ist die Herztransplantation von einem spektakulären klinischen Experiment durch BERNARD zu einer anerkannten Behandlungsform der schweren und anderweitig therapierefraktären Herzinsuffizienz herangereift. Bis zum 31. Dezember 1991 wurden - It. Register der Internationalen Gesellschaft für Herztransplantation - in der Welt über 25000 Transplantationen durchgeführt. Die 5-Jahres-Überlebensrate beträgt gegenwärtig ca. 70 %.

Laut KOLFF werden in den USA jährlich 600 000 Koronarerkankungen registriert, von denen etwa 200 000 zu ihrer Heilung eine Herzverpflanzung benötigen würden.

Folgt man HETZER, dem Leiter des Deutschen Herzzentrums Berlin, so ist kaum eine Herzoperation so standardisiert wie die Transplantation. Das Problem ist der Tod der Patienten auf der Warteliste wegen Spendermangel.

Die Lebertransplantation fand in den letzten 10 Jahren eine bemerkenswerte Verbreitung, seitdem STARZEL (USA) 1963 die erste klinische Leberverpflanzung erfolgreich durchgeführt hat. Weltweit dürfte die Zahl der Lebertransplantationen bei 25 000 liegen. In Europa wurden 1991 über 2000 Transplantationen vorgenommen.

Die seit 1966 (KELLY) durchgeführten allogenen Pankreastransplantationen bzw. in zunehmender Zahl kombinierten Pankreas-Niere-Verpflanzungen betragen wegen der häufig auftretenden Komplikationen nur einige Tausend<sup>2)</sup>.

In den letzten Jahren gewinnt die kombinierte Herz-Lungen-Transplantation an klinischer Bedeutung.

Die aufgeführten Zahlen dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, welch gravierende wissenschaftliche, ethisch-moralische, juristisch-gesetzgeberische und organisatorische Probleme vor uns stehen<sup>10</sup>).

Im Mai 1992 hat der Nobelpreisträger JOSEPF MURRAY, ein Pionier der Nierentransplantation, in seiner Grußbotschaft anläßlich des 1. Transplantationskongresses der Entwicklungsländer in Singapur ausgeführt, daß die Erfolge der Transplantation in den letzten 40 Jahren zu einem total unerwarteten Einblick in den Komplex biologischer, klinischer, sozialer, ethischer und gesetzgeberischer Probleme geführt haben.

Die zurückliegenden Jahre haben zunehmend mehr verdeutlich, wie eng verknüpft die wechselseitigen Beziehungen dieser auf den ersten Blick so unterschiedlichen Frage-komplexe sind. Berücksichtig man sie unzureichend und werden die wissenschaftlichen Forschungsarbeiten nicht weiter vertieft, so bleibt der Erfolg versagt. Es ist ein schwerwiegender Fehler zu glauben, daß ohne erhebliche Investitionen in die biologische Grundlagenforschung neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu erreichen sind.

Wir wenden uns nunmehr einigen Fragen zu, die die Transplantation lebenswichtiger Organe erheblich hemmen:

- Keine ausreichende Anzahl von Spenderorganen, die zur Verfügung stehen. Ein Problem, das eng verknüpft ist mit der Gleichsetzung des Hirntodes und dem Tod durch irreversibles Herz-Kreislauf-Versagen
- Ethisch-moralische Probleme bei der Entnahme und Transplantation von Organen Verstorbener und Lebensspendern
- Juristisch-gesetzgeberische Fragen der Organtransplantation. Im Kern der Sache geht es um die Zustimmungs-, Informations- oder Widerspruchslösung<sup>12)</sup>.
  - Zustimmungslösung: Für die Organentnahme muß eine Zustimmung schriftlich vorliegen, die vom Verstorbenen zu Lebzeiten

angefertigt wurde. Liegt diese nicht vor, muß bei den Angehörigen um Zustimmung gebeten werden.

- Informationslösung: Liegt keine Zustimmung vor, so muß einem nahen Verwandten die Absicht zur Organentnahme beim Verstorbenen mitgeteilt werden. Erfolgt keine Ablehnung innerhalb einer verabredeten Frist, darf eine Organentnahme vorgenommen werden.
- Widerspruchslösung: Liegt kein schriftlicher Widerspruch vor, der vom Verstorbenen zu Lebzeiten angefertigt wurde, so darf eine Organentnahme vorgenommen werden.

Letztere Regelung ist beispielsweise in Österreich gültig. In Belgien, dem Land mit der am besten organisierten Widerspruchslösung, kann jeder Bürger in seinem Rathaus Widerspruch oder Zustimmung in einem Zentralcomputer in Brüssel eintragen lassen. In Deutschland wird in der laufenden Diskussion um ein Transplantationsgesetz die Informationslösung favorisiert.

Zunächst zur Frage der Explantation von lebenswichtigen Organen bzw. Teilen von ihnen bei Lebendspendern. Letzteres sehen wir differenziert. Die Gefahren für den Spender sind schwer kalkulierbar.

Auch bei der Entnahme einer Niere bei hochmotivierten Blutsverwandten 1. Grades sind wir relativ zurückhaltend. Hier unterscheiden wir uns von der gängigen Praxis in den skandinavischen Ländern, in denen bis zu 40 % der verpflanzten Nieren von Lebendspendern stammen.

## Zu bedenken ist folgendes:

Im einschlägigen Schrifttum wird über vereinzelte Fälle berichtet, in denen der Spender infolge der Entnahmeoperation verstarb oder die Spenderniere auch von Blutsverwandten 1. Grades nach sehr kurzer Zeit ihre Funktion einstellte. Desweiteren ist bei der Lebendspende die absolute Freiwilligkeit ohne jeglichen moralischen Druck schwer zu gewährleisten, insbesondere der Mißbrauch durch Vermarktung des Spenderorgans kaum zu unterbinden.

#### Zum Problem des Hirntodes.

Die Entwicklung der apparativen Medizintechnik sowie wissenschaftlich eindeutige Erkenntnisse der letzten drei Jahrzehnte haben zweifelsfrei gezeigt, daß die Zerstörung des Hirns in allen seinen Teilen einschließlich des Hirnstamms, meistens durch schwere Verkehrs- oder andere Unfälle, den irreversiblen Tod des Individuums bedeutet. Werden beim eingetretenen Hirntod die intensivmedizinischen Geräte, die den Herz-Kreislauf und unter Umständen die Atmung künstlich aufrechterhalten, abgestellt, so erlischt in unterschiedlichen Zeitabständen die Funktion auch in den anderen Organen.<sup>9)</sup>

Der Hirntod als eindeutiger und endgültiger Tod des Menschen ist nicht erst seit heute in vielen Ländern anerkannt und gesetzlich festgeschrieben<sup>4)</sup>.

Die rasante Entwicklung der Intensivmedizin hat dazu entscheidend beigetragen, daß der Hirntod ohne Hektik und mit Akribie, wenn nötig auch durch wiederholte Untersuchungen, zweifelsfrei festgestellt werden kann.

In Deutschland gibt es bis jetzt noch keine gesetzliche Verordnung über die Organtransplantation. In Europa ist das nur noch in Island, Malta und dem Fürstentum Liechtenstein der Fall.

Lediglich in einer gemeinsamen Stellungnahme der Bundesärztekammer, der Deutschen Transplantationszentren und der Deutschen Stiftung Organtransplantation wird festgeschrieben, daß der Tod unwiderruflich eingetreten ist, wenn der unumkehrbare Stillstand von Herz und Kreislauf (Herztod) oder der vollständige und irreversible Ausfall aller Funktionen des gesamten Gehirns trotz künstlich aufrechterhaltener Herz-Kreislauf-Funktion im übrigen Körper (Hirntod) entsprechend den Regeln der medizinischen Wissenschaft nachgewiesen und dokumentiert sei.

Der Hirntod, so sicher er sich medizinisch feststellen läßt, ist bedeutend weniger anschaulich wie Herz- oder Atemstillstand, die als sichere Anzeichen für den Tod des Menschen gelten. Aber auch der sogenannte Scheintod hat im Bewußtsein seine Spuren hinterlassen. Durch Mißverständnisse, auch mitunter durch böswillige Verdächtigungen, werden in einigen Presseerzeugnissen und Massenmedien<sup>9)</sup> die Zuverlässigkeit der Feststellung des Hirntodes angezweifelt, und das nicht nur durch unzureichend gebildete Journalisten, sondern auch von Ärzten, die beispielsweise nur die "0"-Linie im EEG als sicheres Kriterium für den Hirntod gelten lassen wollen. Eine wissenschaftlich unhaltbare Behauptung. Auch wird das sogenannte apallische Syndrom, der Ausfall des Großhirns, die lange Bewußtlosigkeit bei Unterkühlung oder bei Intoxikation wissentlich oder auch aus Unkenntnis als angeblicher Hirntod dargestellt. Gelingt es in letzteren beiden Erscheinungsbildern durch Reani-

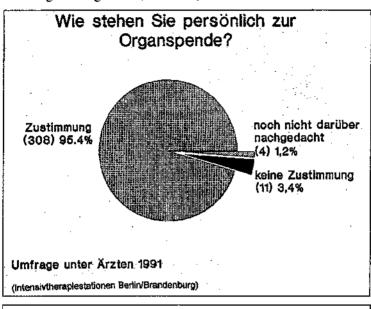
mation, die Lebensfunktion wiederzuerlangen, so wird behauptet, daß der scheinbare Hirntod überwunden werden konnte. Daß es sich in diesen Fällen nicht um einen Hirntod handelte, wird wissentlich negiert.

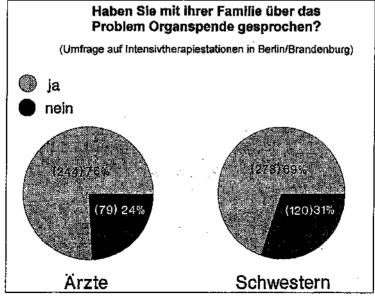
Nach wie vor werden die ethisch-moralischen und juristischen Fragen der Organverpflanzung sowohl in Fachkreisen als auch in der Bevölkerung kontrovers diskutiert oder man nimmt sie einfach nicht zur Kenntnis. Die Deutsche Hospizhilfe kritisiert die "grundsätzlich positive Stellungnahme der christlichen Kirchen zur Transplantation". Als Organspender kämen in erster Linie, so die Auffassung der Hospizhilfe, junge Menschen mit schweren Hirnverletzungen als Unfallfolge in Frage. Die Organentnahme müsse in der Regel vor dem Tod des gesamten Organismus geschehen. Den Tod des Gehirns jedoch als "Ende des Menschlichen" eines ganzen Körpers zu sehen, sei ethisch problematisch.

Ein Grundprinzip der moralischen Integrität des Arztes besteht in der Ehrfurcht vor dem Leben.

"In der Gesinnung der Ehrfurcht vor dem Leben liegt ein elementarer Begriff von Verantwortung beschlossen, dem wir uns ergeben müssen …" (Albert Schweitzer)

War dennoch der Tod mit allen uns zur Verfügung stehenden Mitteln nicht abzuwenden, (der dissoziierte Hirntod ist eingetreten und dokumentiert), so muß alles getan werden, um mit den noch für eine gewisse Zeit durch die künstliche Aufrechterhaltung des Herz-Kreislaufs lebensfähigen Organen der Verstorbenen anderes Leben zu erhalten. Dieses zutiefst humanistische Anliegen bedeutet, daß der Verstorbene auch nach seinem Individualtod noch Leben für andere Menschen spendet. Somit setzt sich die Ehrfurcht vor dem Leben auch nach dem Tod des Individuums fort. Ein hoher sittlich-moralischer Anspruch, dem schwerlich etwas entgegenzusetzen ist, solange es theoretische Überlegungen bleiben. Es besteht kein Zweifel, daß die Entscheidung zur Organspende einen hohen ethischen Anspruch stellt sowohl an die Hinterbliebenen als auch an die behandelnden Ärzte (Abb. 3), das medizinische Personal insgesamt (Abb. 4). Damit der Zugang zur Organtransplantation erweitert werden kann, der eng gekoppelt ist mit der Verfügbarkeit über genügend Spenderorgane, muß eine breit angelegte, permanente Aufklärung der Öffentlichkeit stattfinden. In erster Linie beim Arzt muß es in sein Bewußtsein eingehen, daß eine Unterlassung der Mitarbeit zur Organgewinnung bei Toten - derzeit werden in den entwickelten Industrieländern lediglich 10 bis 15 % der geeigneten postmortalen Spenderorgane bereitgestellt - mit dem humanistischen Anliegen zu heilen schwerlich in Einklang zu bringen ist. (Abb. 3 und 4)





Es ist auch heute noch in unserer aufgeklärten Zeit für viele Menschen unfaßbar, daß das Herz noch schlägt und die Atmung vorhanden ist, obwohl nur künstlich durch entsprechende Geräte aufrechterhalten, und dennoch im Bett ein Toter liegt.

Allein diesen Sachverhalt den nächsten Angehörigen zu erklären, ist außerordentlich schwierig, obwohl das Informationsbedürfnis sehr wohl vorhanden ist. Jedoch ist in dieser für die Mehrzahl der Verwandten so schmerzlichen und oft unfaßbaren Situation die intellektuelle Aufnahmefähigkeit und die psychische Belastbarkeit dermaßen angespannt, daß es inhuman und ethisch unvertretbar erscheint, an sie mit der Bitte heranzutreten, einer Organspende beim Verstorbenen zuzustimmen. Eine moralische Belastung für die Angehörigen, die mit der gesetzlich geregelten Eigenverfügbarkeit über den Körper auch schwerlich in Einklang zu bringen ist. Diese Tatsache impliziert eine sehr breit angelegte öffentliche Aufklärungspflicht über die Notwendigkeit einer Organspende nach dem Tode, aber auch nicht zuletzt, um die Bürger noch zu Lebzeiten zu veranlassen, ihren Willen möglichst schriftlich kundzutun, wenn eine Organspende nach dem Tode nicht erwünscht ist.

Wurde das nicht gemacht, so ist nicht nachvollziehbar, warum das Entscheidungsrecht über die Entnahme von Organen beim Verstorbenen, um andere Menschenleben zu retten, den Angehörigen übertragen wird.

Einen 2. Schwerpunkt neben der Organspende stellt die immunbiologische Abwehr des Körpers dar.

1944 konnte MEDAWAR eindeutig nachweisen, daß die Ursache des Mißlingens der Verpflanzung menschlicher Organe im Ablauf immunologischer Prozesse im Empfängerorganismus verantwortlich sind. Damals glaubte man, daß durch diese Entdeckung der Schlüssel zur erfolgreichen Transplantation lebenswichtiger Organe gefunden worden sei. Jetzt käme es nur noch darauf an, die entsprechenden Gewebetypen festzustellen und die Methode ihrer Bestimmung auszuarbeiten. Eine Analogie zur Entdeckung der ABO-Blutgruppen durch LANDSTEINER 1901, des M-N-Blutgruppensystems 1927 und des Rhesusfaktors 1940 gemeinsam mit WIENER schien gegeben.

50 Jahre sind seit der Entdeckung von MEDAWAR vergangen.

Eine effiziente Gewebetypisierung zur Bestimmung der Histokompatibilität zwischen Spenderorganen und Empfänger steht noch nicht zur Verfügung. Wir wissen zwar, daß ein wesentlicher Faktor im Komplex der Histokompatibilität das HLA-System darstellt und der genetische Code auf dem 6. Chromosom lokalisiert ist. Die HLA-Antigene unterscheiden sich in Struktur und Funktion. Insgesamt läßt das HLA-System eine erhebliche Variabilität zu. Die Zahl der bekannt werdenden Merkmale ist ständig im Wachsen begriffen. Das bedeutet eine steigende Anzahl von notwendigen Testungen. Wir mußten aber auch zur Kenntnis nehmen, daß nicht allein das HLA-System die Histokompatibilität bestimmt. Trotzdem, außer acht lassen sollte man es nicht.

G. OPELZ wies anhand seiner weltgrößten Statistik darauf hin, daß die Transplantatüberlebenszeitergebnisse bei einem positiven Matching mit zunehmender Behandlungszeit (nach 4 - 5 Jahren und mehr) zum Tragen kommen. Sogenannte Risikoantigene scheint es lt. OPELZ weder für Spender noch für Empfänger zu geben.<sup>7)</sup>

Da es derzeit noch nicht möglich ist, Organbanken für lebenswichtige Organe zu haben, ergibt sich die Notwendigkeit, für das zur Verfügung stehende Spenderorgan in kurzer Zeit einen möglichst histokompatiblen Empfänger zu finden. Ein schweres Unterfangen. Statistische Untersuchungen haben gezeigt, daß das Verhältnis 1:10 000 beträgt. Entsprechende Empfängerwartelisten mit eingespeisten einheitlichen Daten müßten über viele Ländergrenzen hinweg eingerichtet werden.

Ist die Transplantation gelungen und das Spenderorgan hat seine Funktion aufgenommen, so könnte man annehmen, die immunbiologische Barriere sei überwunden. Die klinische Praxis bestätigt das leider nicht. Wir haben bereits auf die Schwierigkeiten und ungelösten Probleme der Gewebetypisierung hingewiesen. Es verbleibt die Möglichkeit, die Abwehrreaktion des Organismus gegen das Spenderorgan zu minimieren. Festgestellt werden konnte, daß eine effektive Immunsuppression innerhalb der ersten 6 Stunden nach der Transplantation eine Voraussetzung für die Unterdrückung der Abstoßungsreaktion darstellt, ohne die immunbiologischen Abwehrmechanismen total zu blockieren. Eine periphere T-Zell-Depletion und eine Makrophageninhibierung kann durch eine Induktionssuppression erreicht werden (Abb. 5).

Eine wichtige Voraussetzung für die weitere Behandlung. Derzeit stehen uns eine Reihe Medikamente und Methoden zur Verfügung, die unterschiedliche Faktoren im Abstoßungsgeschehen zurückdrängen können (Abb. 6).

Die Immunsuppression muß optimal, aber individuell bemessen sein. Soviel wie nötig und so wenig wie möglich.

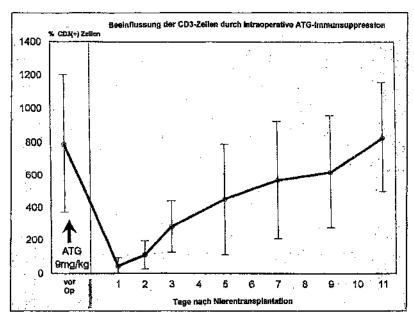


Abb. 5

Neueste Forschungsergebnisse lt. Prof. ARNDT haben gezeigt: Ist beim Emfpänger der immunologische Komplex CD 28 / CTLA 4 / B 7 nicht vorhanden (leider eine äußerst seltene Erscheinung), dann kommt es zu keiner Rejektion. Folgerichtig müssen Arzneimittel entwickelt werden, die diesen Komplex gezielt neutralisieren. Eine Toleranz gegenüber dem Spenderorgan wäre erreicht.

Obwohl gute Langzeitergebnisse bzgl. Funktion und Rehabilitation, insbesondere nach Nierentransplantation, aber auch nach Leber- und Herzverpflanzung, erreicht worden sind, ist der Verlust des Transplantates nach Jahren kaum zu vermeiden. Bei der Niere beträgt die Funktionsrate nach 10 Jahren 50 %; es gibt funktionierende Nierentransplantate auch nach 30 Jahren, doch ist das die Ausnahme.

Die häufigste Ursache des Transplantatverlustes ist die chronische Rejektion, die zur Fibrose führt und sich klinisch durch Anämie, Hypertension, Proteinurie manifestiert.

In konkordanten Systemen entsprechen die Erkennungsmechanismen den Regeln der allogenen Antigenpräsentation und Immunantwort. Mit entsprechender Immunsuppression kann diese Antwort unterdrückt wer-

den, jedoch um den Preis zunehmender Fibrotisierungserscheinungen im Transplantat. Der Abstoßungsprozeß ist ein kompliziertes Geschehen, in das entsprechend der Histoinkompatibilität eine Vielzahl von immunbiologischen Kompartimenten involviert sind. Ein Mosaiksteinchen im Gesamtbild der Immunaktivitätsfaktoren.

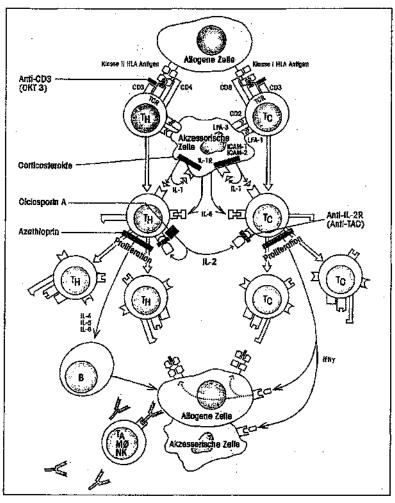


Abb. 6: Aktivierung von T-Lymphozyten durch HLA-Antigene des Organ-Spenders und die Angriffspunkte der derzeit angewendeten Immunsuppressiva (Adaptiert nach Köhler et. al. 1991). Głukokorikoide hemmen die Aktivierung von akzessorischen Zellen, indem sie die Transkription des IL-1-Genes und des II-6-Genes blockieren. CsA wirkt im Verlauf der T-

Zell-Aktivierung weiter distal als die Glukortikoide; CsA hemmt vorwiegend die Produktion und Freisetzung von Il-2 und hemmt vor allem T-Helferzellen und zytotoxische T-Zellen, weniger die Tsuppressorzellen. Azathioprin hemmt als Antimetabolit die T-Zell-Aktivierung im Stadium der Proliferation, in der Aktivierungskaskade somit distaler als die Glukokortikoide und CsA. Die polyklonalen Antikörper (ALG/ATG) sind mit einem kleinen Anteil (unter 5%) gegen lymphatisches Gewebe gerichtet; der Hauptanteil geht je nach Präparation in unterschiedlichem Ausmaß unspezifische Gindungen ein. Die polyklonalen Antikörper binden binden auch an T- und B-Zellen und Makrophagen. Der monoklonale Antikörper OKT 3 bindet spezifisch an den konstanten Teil des T-Zell-Rezeptors (TCR/CD3) und blockert die transmembranöse Signalübertragung.

= Blockierung

So konnten WALDHERR und NORONHA<sup>11)</sup> (Heidelberg) durch immunzytochemische Untersuchungen an Nierenbioptaten von Nierentransplantierten mittels in situ Hybridisierung zeigen, daß es bei der Rejektion zu einer Expression von unterschiedlichen Zytokinen kam, entsprechend der Abstoßungsform.

Trotz aller noch ungelösten Probleme gibt es weltweit große Gruppen von Nierentransplantierten, bei denen das Transplantat 10, 15 und mehr Jahre funktioniert.

Bei entsprechenden organisatorischen Voraussetzungen müßte es möglich sein, repräsentative, vergleichbare Gruppen zu bilden. Vielleicht könnte eine definierte Studie auf wichtige Fragen eine Antwort geben, die maßgeblich die Organüberlebenszeit beeinflussen, bis hin zu solchen Fragen:

- Kommt es bei einer Langzeitfunktion zu Veränderungen molekularer Strukturen im Transplantat?
- Welche Prozesse haben sich im immunbiologischen System des Empfängers vollzogen?

Abschließend einige Bemerkungen zu den eingangs erwähnten Wechselbeziehungen zwischen Organtransplantation und künstlichem Organersatz.

NOSÉ (er befaßt sich mehr als 37 Jahre mit der Entwicklung lebenswichtiger künstlicher Organe) unterstreicht, daß ihr klinischer Einsatz nur in Verbindung mit der Organiransplantation eine hilfreiche Therapie im Terminalstadium der Organirsuffizienz darstellt. NOSÉ weist darauf hin, daß es uns auch mit der modernen Technologie nicht gelungen ist, eine so perfekte Pumpe herzustellen wie das Herz, auch die modernen Methoden der sogenannten Blutwäsche können die natürliche Niere nicht ersetzen. Man muß nach neuen Wegen suchen, die in der Endkon-

sequenz auf präventive Maßnahmen hinauslaufen. Sie basieren auf dem immer tieferen Eindringen in die pathophysiologischen, insbesondere der immunbiologischen Prozesse, die zu progredienten Erkrankungen lebenswichtiger Organe führen.

Unser Hauptziel muß die Prävention von Erkrankungen bleiben, im Erkennen ihrer Ursachen, die sowohl im Organismus selbst als auch in der Umwelt und ihrer Interaktionen liegen.

Es wäre verfehlt, wollten wir auf dem Weg zum Ziel nicht auch Zwischenlösungen anstreben.

### Nur einige seien genannt:

- Überwindung der Histoinkompatibilität mittels Aufdeckung der für diesen Prozeß maßgeblichen Kompartimente und ihre Neutralisierung mit Medikamenten
- Induktion donorspezifischer Immuntoleranz durch gentechnologisches Einschleusen von donorspezifischen Antigenen
- Inselzelltransplantation
- Implantation von Hepatozyten
- Xenotransplantation.

Das Schwein verfügt über eine Reihe physiologischer und anatomischer Eigenschaften, die denen des Menschen sehr nahe kommen, das ist besonders bei der Niere zutreffend. Ein unüberwindbares Hindernis ist die hyperakute Rejektion zwischen zwei unterschiedlichen Spezies. Die Forschungsarbeiten laufen dahingehend, einen Komplex von molekulargenetischen Methoden oder entsprechende Medikamente zu entwickeln, die die Freisetzung von Antikörpern verhindern. Es wäre durchaus denkbar, daß man dem Embryon eines tragenden Schweins Antigenmaterial des prospektiven Empfängers appliziert und nach dem Wurf die Schweineniere implantiert. Die notwendige Wartezeit könnte bei dem Patienten durch ein künstliches Organ überbrückt werden.

Wir sind uns bewußt, daß das fachübergreifender wissenschaftlicher Zusammenarbeit bedarf.

Befaßt man sich mit der Transplantationsmedizin, so sollten sowohl ihre Perspektiven als auch Grenzen nicht der wissenschaftlichen Aufmerksamkeit entgehen. Es ist unsere Überzeugung, daß neue Erkenntnisse im komplexen System der Pathogenese von Erkrankungen und ihrer Prävention letztendlich auch der Organtransplantation sehr enge Grenzen setzen werden.

#### Literatur

- Arndt, R.: Transplantationsimmunologie Grenzen und Möglichkeiten. Vortrag auf der Festveranstaltung zum 25jährigen Jubiläum des Nierentransplantationszentrums am Krankenhaus im Friedrichshain, Berlin, Dezember 1994
- Bitkez, M. O., Barron, B., Chatelain, C: Kidney and Pancreas transplantation, Europ. Urol. Today 3 (1993), 2 - 3
- 3) Duguenoy, R. J.: Immune Parameter, State of the Art. Aktuelle Nephr. 3 (1992), 623
- Link, J., Gramm, H.-J.: Nur das Konzept des Ganzhirntodes gilt. Berliner Ärzte 12 (1994), 26 - 27
- 5) McClellan, W. M.: Epidemie of End-Stage Renal Failure. Artif. Org. 18 (1994), 413 415
- Nosé, Y.: Congress Presidential Address: 5th WAA Congress Therapeutic Artificial Organs, 10 Years after. Artif. Org. 19 (1995), 204 - 216
- Opelz, G.: Setting Standards Excellence. Ten Years of International Collaboration. In: To Life. A Review of the Collaborative Transplant Study Meeting, Heidelberg 1992, S. 4 - 7
- Peters, H.-D.: Orthoclone OKT 3, Muromonab CD3, Monoklonaler T-Lymphozyten-Blocker. Hrsg.: Cilag GmbH
- Renner, E.: Organspende und -transplantation aus medizinischer und juristischer Sicht. In: Sonderdruck des Arbeitskreises Organspende, Dokumentation der Jahrestagung 1991. Hrsg.: Trägergemeinschaft Katholischer Krankenhäuser im Bistum Trier, 1992, S. 7 - 23
- Schoeppe, W.: Transplantationen (7). Dtsch. Ärztebl. 89 (1992), C 634 637.
- Waldherr, R., Noronha, J.L.: In situ Expression von Zytokinen bei Nierentransplantatabstoßung. Aktuelle Nephr. 4 (1992), 836 - 837
- 12) Wesslau, C.: Zu einigen wichtigen Aspekten der Entwicklung, des Standes und der perspektivischen Gestaltung der Organspende im Raum Berlin/Brandenburg. Vortrag auf der Festveranstaltung zum 25jährigen Jubiläum des Nierentransplantationszentrums am Krankenhaus im Friedrichshain, Berlin, Dezember 1994
- Wolflast, G.: Organtransplantationen. Gegenwärtige Rechtslage und Gesetzentwürfe. Dtsch. Ärztebl. 92 (1995), C - 24 - 26

Heinz Kautzleben

## Neue Ziele der Geowissenschaften\*

### 1. Einführung

Es ist heute üblich, den Begriff Geowissenschaften in dreierlei Weise zu verwenden: einerseits umfassend zur Bezeichnung aller erdwissenschaftlichen Disziplinen, andererseits in der engsten Fassung als Synonym für die Gruppe der geologischen Wissenschaften und schließlich als zusammenfassende Bezeichnung für mehr oder weniger unterschiedliche Gruppierungen von erdwissenschaftlichen Disziplinen, die zwischen diesen beiden Extremen angesiedelt sind. Sehr häufig bezeichnet man mit diesem Begriff diejenige Gruppe von Disziplinen, die sich alle mit dem Erdkörper und der sog. "festen" Erde befassen. In Übereinstimmung mit der Tendenz, die Erde als einheitliches Ganzes zu betrachten, wird im folgenden der Begriff Geowissenschaften in der umfassenden Bedeutung verwendet.

Die Geowissenschaften gehören zu den ältesten wissenschaftlichen Disziplinen. Sie entstanden aus dem Bedürfnis der menschlichen Gemeinschaft, in der natürlichen Umwelt zu bestehen und die Ressourcen der Erde zu nutzen, und dem damit verbundenen Streben nach Verständnis und wissenschaftlicher Erkenntnis der irdischen Umwelt. Die heutigen Ziele ergeben sich aus dem erreichten Stand der Nutzung der Erde und ihrer Ressourcen und andererseits aus den modernen Möglichkeiten zur Erkundung und Ausbeutung der Erde und ihrer Ressourcen.

Die Geowissenschaften verfolgen im Prinzip die Aufgaben, Informationen zu gewinnen und sie zu aktuellen Planungsunterlagen für das Handeln von menschlichen Gemeinschaften aufzubereiten. Das größte inhaltliche Problem ist die Mehrdeutigkeit der Beobachtungen.

Der heutige Stand der Geowissenschaften ist durch den Einsatz moderner Informationstechnologien, die globale Sicht auf die Probleme und die Behandlung komplexer Fragestellungen gekennzeichnet. Die wachsende

<sup>\*</sup> Thesen eines Vortrages in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 16. Juni 1994

Formalisierung und Automatisierung zwingt dazu, die eingesetzten Methoden bestmöglich wissenschaftlich abzusichern.

Mit dem Vortrag soll ein Beitrag zu den laufenden wissenschaftlichen und öffentlichen Diskussionen über die weitere Entwicklung der Geowissenschaften geleistet werden. Angaben über die bei der Ausarbeitung des Vortrages verwendeten Veröffentlichungen und Konferenzberichte können vom Verfasser angefordert werden.

### 2. Tradition und Wandel im System der Geowissenschaften

Die Geowissenschaften bilden ein System von sich einander ergänzenden und überdeckenden Arbeitsrichtungen. Ihre gemeinsamen Merkmale sind die unmittelbare Beobachtung der Natur, die räumliche Anbindung und Differenzierung der zu untersuchenden Objekte und die Synthese der Erkenntnisse zur detailgetreuen Darstellung. Die einzelnen Gebiete und Arbeitsrichtungen werden entscheidend durch ihren jeweiligen Gegenstand charakterisiert, wobei als Bezug der Betrachtung traditionell die menschliche Gemeinschaft gilt.

Das System der Geowissenschaften setzt sich unter dieser Sicht aus folgenden Gebieten und Arbeitsrichtungen zusammen:

- die Geographie als Wissenschaft vom Lebensraum der Menschen
- die Gruppe der Wissenschaften, die sich mit den natürlichen Komponenten des menschlichen Lebensraumes befassen; diese umfaßt: die Meteorologie, die sich mit dem Luftraum beschäftigt; die Ozeanologie als Wissenschaft von den Weltmeeren; die Hydrologie, die die Gewässer des Festlandes untersucht; die Pedologie als Wissenschaft von den Böden; schließlich die Geologie und die weiteren geologischen Wissenschaften, deren Gegenstand die Erdrinde und die mineralischen Ressourcen sind,
- die methodisch orientierten Arbeitsrichtungen: Geophysik, die alle irdischen Erscheinungen untersucht, die sich messen und mathematisch beschreiben lassen und allgemein gültigen Gesetzen unterliegen, und die speziell als Physik des Erdkörpers angesehen werden kann; Geochemie als Chemie der Erdrinde und Geodäsie, die auf die Orientierung im Lebensraum ausgerichtet ist,

 einige Arbeitsrichtungen, die die Wechselbeziehungen von Geosphäre und Biosphäre untersuchen.

In den Geowissenschaften vollzieht sich gegenwärtig inhaltlich und methodisch ein qualitativer und quantitativer Wandel.

Dabei bilden sich neue Ziele der Geowissenschaften heraus, die man in den folgenden drei Komplexen zusammenfassen kann:

- Den Planeten Erde besser verstehen
- Grundlagen f
  ür die bessere Nutzung der Ressourcen der Geosph
  äre
- III.a Grundlagen für den Schutz der Umwelt
- III.b Prognose von Naturkatastrophen

Es sind das nicht einfach neue Formulierungen für die traditionellen Aufgaben und Ziele der Geowissenschaften, die naturgemäß weiterwirken, sondern qualitativ neue Orientierungen unter den neuen Bedingungen für das Leben der auch zahlenmäßig stark gewachsenen Menschheit.

Zum Zielkomplex II ist zu bemerken, daß gegenwärtig zwei gegenläufige Tendenzen wirken. Einerseits ist das Bewußtsein gewachsen, daß die mineralischen und energetischen Ressourcen der Geosphäre prinzipiell begrenzt sind und die Menschheit deshalb sparsamer damit umgehen müsse. Andererseits sind die Preise für die mineralischen und energetischen Rohstoffe wegen übergroßer Angebote zur Zeit derart niedrig, daß die Erkundung und die Ausbeutung von neuen Lagerstätten nur mit äußerst rationellen Technologien ökonomisch rentabel sind. Hinzu kommen in vielen Ländern hohe Forderungen zum Umweltschutz.

Der Zielkomplex III.a und b bedeutet eine entscheidende Präzisierung der allgemeinen geowissenschaftlichen Zielstellung: Grundlagen für die Gestaltung des Lebens in der natürlichen Umwelt schaffen. Der neue Zielkomplex resultiert einerseits daraus, daß die moderne Gesellschaft auf die natürliche Umwelt nachhaltig und mit schädlichen Auswirkungen auf das menschliche Leben einwirkt, und wird zum anderen deshalb erforderlich, weil die Empfindlichkeit der Gesellschaft gegenüber Naturkatastrophen stark gewachsen ist und noch weiter wächst.

In Verbindung mit den Zielen ändert sich auch der Charakter der geowissenschaftlichen Methoden. Die neuen Kennzeichen sind vor allem:

- A. Generelle Nutzung moderner Informationstechnologien
- B. Systembetrachtung

### C. Modellierung

Grundlegend für den Wandel der Ziele und Methoden ist, daß die traditionellen Disziplinen eine hohe Reife erreicht haben. Das drückt sich deutlich in der Kette Beobachtung-Messung-Präzision-Parametervielfalt-Datenflut aus. Die Probleme werden zunehmend aus der globalen Sicht auf den einheitlichen Planeten Erde betrachtet. Die aktuellen Fragestellungen betreffen zunehmend komplexe Probleme. Mit den neuen Methoden sind stets auch neue Konzepte verbunden.

In den Geowissenschaften, besonders in den messenden Arbeitsrichtungen wurden schon lange Zeit Modelle verwendet, und zwar im Sinne physikalisch begründeter Modelle, mit denen eine Situation näherungsweise beschrieben werden kann. Diese Modelle werden mathematischphysikalisch beherrscht. Im gleichen Maße, wie Messungen in allen Teilgebieten der Geowissenschaften die traditionellen Beobachtungen ergänzen und erweitern, wächst auch die Anwendung dieser Modelle, wird dieser Modellbegriff vertieft und erweitert.

Qualitativ neu ist dagegen der systemanalytische Modellbegriff, der in den Geowissenschaften mit Einführung der Systembetrachtung in wachsendem Maße angewendet wird. Dabei wird das Modell als Ersatzvorstellung für komplizierte Systeme und Prozesse genutzt. Es ist nicht erforderlich, daß ein solches Modell mathematisch-physikalisch voll beherrscht wird.

Mit Hilfe dieses Modellbegriffs wurde es möglich, in überschaubarer Weise die Untersuchungen zur Dynamik der Erde zu erweitern bzw. neu zu beginnen.

# 3. Das System Erde, Ansätze zur Modellierung

Der Planet Erde ist ein komplexes dynamisches System. Als Ganzes ist dieses System gegenwärtig (noch) nicht oder lediglich mit einschneidenden Generalisierungen bzw. Vereinfachungen beherrschbar. Es zeigt jedoch in räumlicher und zeitlicher Hinsicht eine ausgeprägte Systemstruktur, so daß ausgewählte Aspekte relativ unabhängig voneinander behandelt werden können. Bei näherer Betrachtung müssen aber die vielfältigen Wechselwirkungen innerhalb des Systems berücksichtigt werden.

Zur schrittweisen Modellierung des dynamischen Gesamtsystems bietet sich die Aufspaltung entsprechend den charakteristischen räumlichen

und zeitlichen Maßstäben der Prozesse an. Deutlich ausgeprägt sind die folgenden Zeitmaßstäbe der globalen Änderungen des System Erde:

a) Jahrmillionen bis Jahrmillionen, b) Jahrzehntausende, c) Jahrzehnte bis Jahrhunderte, d) Tage bis Jahreszeiten, e) Sekunden bis Stunden.

Am wenigsten voneinander abhängig bzw. am leichtesten in ihrer Wechselwirkung überschaubar sind die Vorgänge mit dem längsten Zeitmaßstab a (Jahrmillionen bis Jahrmillionen) einerseits und die mit den kürzesten Zeitmaßstäben d und e andererseits. Erstere sind mit der planetaren und geologischen Entwicklung der Erde verbunden. Für die letzteren sind diese ohne Einfluß; man kann für die Kurzzeitprozesse als Randbedingung eine zeitlich stabile Struktur des Planeten voraussetzen.

Das größte Interesse beanspruchen gegenwärtig die globalen Änderungen in den beiden mittleren Zeitmaßstäben b (Jahrzehntausende) und c (Jahrzehnte bis Jahrhunderte). Im Maßstab b sind es die Änderungen der sog. "festen" Erde, im Maßstab c die globalen Änderungen der "Umwelt" mit den Klimaänderungen als einer der wichtigsten Komponenten.

Bei der Modellierung der globalen Änderungen des Systems Erde in diesen beiden Zeitmaßstäben dürfte gegenwärtig die Modellbildung für die globalen Änderungen der Umwelt und speziell für die Klimaänderungen am weitesten fortgeschritten sein.

In ein solches Modell müssen als Hautpelemente des Klimasystems die Atmosphäre und ihre Unterlage Ozean und Festland (d.h. Wasser, Boden, Vegetation, Schnee und Eis) eingehen. Die Energiezufuhr erfolgt durch die Sonnenstrahlung und die Rückstrahlung von der Unterlage. Den Hauptteil der Untersuchungen bilden: die Physik und Dynamik der Atmosphäre, die dynamische Kopplung von Atmosphäre und Ozean, der Wasserkreislauf (Verdunstung, Bewölkung, Niederschlag, Abfluß) sowie die Chemie und Biogeochemie der Systemelemente. Von kritischer Bedeutung sind die biogeochemischen Kreisläufe, darunter der des Kohlendioxids. Als natürliche äußere Einwirkungen auf das Klimasystem sind Vulkanismus und Impakte von kosmischen Körpern zu analysieren. Das schwierigste, aber gesellschaftlich wichtigste Problem stellen die menschlichen Einflüsse durch die Landnutzung und die chemischen Einträge dar.

Mit der Modellierung der globalen Änderungen von Klima und Umwelt müssen der Ausbau und die Nutzung der meßtechnischen Möglichkeiten zum Nachweis solcher Änderungen einhergehen. Aus offensichtlichen Gründen weniger weit fortgeschritten ist gegenwärtig die Modellierung der globalen Prozesse im System Erde im Zeitmaßstab von Jahrzehntausenden bis Jahrmillion. Sie betrifft die globalen Änderungen der "festen" Erde.

Ein solches Modell muß als Hauptelemente den Erdmantel mit der Lithosphäre als äußerer Schale und dem eingeschlossenen Erdkern umfassen. Gewissen Einfluß dürfte das umschließende Klimasystem haben. Getrennt zu untersuchen sind die Prozesse bei der Entstehung und in der Frühphase der Entwicklung des Planeten Erde. Das überragende Interesse beanspruchen gegenwärtig die Prozesse im Subsystem Erdmantel mit Lithosphäre, die mit den Termini Konvektion im Erdmantel und Plattentektonik umschrieben werden könnten. Vielfach hypothetisch sind die Versuche zur Modellierung der Prozesse im Erdkern und der Wechselwirkung mit Ozean, Atmosphäre und Biosphäre, d.h. mit dem Klimasystem, berücksichtigt werden, die mit dem Begriff Paläoklima beschrieben werden kann.

Eine Modellierung der Entstehung und Entwicklung der Erdrinde (des Objektes der Geologie) ist gegenwärtig noch nicht möglich.

## 4. Orientierungen für die Forschungen zur "festen" Erde

Die im Abschnitt 2 formulierten neuen Ziele der Geowissenschaften betreffen alle erdwissenschaftlichen Disziplinen. Für die Forschungen zur "festen" Erde kann man sie in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des National Research Council der USA wie folgt spezialisieren:

- Förderung des wissenschaftlichen Verständnisses für alle Prozesse im Teilsystem "Feste" Erde und seine Wechselbeziehungen mit der flüssigen und gasförmigen Umhüllung und der Biosphäre
- II. Sicherung ausreichender Vorräte an Wasser, energetischen und mineralischen Ressourcen unter Beachtung ihrer Gewinnbarkeit mit umweltschonenden Technologien
- III.a Verminderung der Risiken von geologisch-geophysikalisch Katastrophen durch verbesserte Prognosen
- III.b Verminderung von Änderungen der (geologischen) Umwelt durch die Tätigkeit des Menschen

Als Forschungsgebiete hoher Priorität sind deshalb zu empfehlen:

- A. Globale Paläo-Umwelt und biologische Entwicklung, vorrangig in den letzten 2,5 Millionen Jahren
- B. Globale geochemische biogeochemische Kreisläufe
- C. Fluida innerhalb und auf der Erde, Druck und Zusammensetzung der Fluida in der Erdkruste, Strömung in Sedimentbecken
- D. Dynamik der Erdkruste im Bereich von Ozean und Kontinent, insbesondere aktive Deformationen der Erdkruste
- E. Dynamik von Erdmantel und Erdkern, insbesondere: Konvektion im Erdmantel, Entstehung und Veränderung des Erdmagnetfeldes, Natur der Kern-Mantel-Grenze

Bei der Ausarbeitung von Programmen für die Forschungen zur "festen" Erde ist es gegenwärtig nur in Ansätzen möglich, in ähnlich konsequenter Weise wie bei den Untersuchungen zu den globalen Änderungen von Klima und Umwelt die Systembetrachtung und die damit verknüpfte Modell-Methode einzusetzen.

In den nächsten Abschnitten werden einige derartige Bemühungen für die Teilgebiete Geophysik und Geodäsie (selbstverständlich nur in Stichworten) vorgestellt.

# 5. Modellierung für Probleme der Geophysik und Geodäsie

Die Geophysik (im engeren Sinne) befaßt sich mit denjenigen Erscheinungen des Erdkörpers, die sich messend erfassen und mathematisch beschreiben lassen und die allgemein gültigen Gesetzen unterliegen. Ausgangspunkt und Zielstellung sind Modelle zur Entwicklung, Struktur und Dynamik der Erde als Ganzes oder von abgrenzbaren Teilen bzw. Teilerscheinungen der Erde.

Die Geodäsie befaßt sich (als eigenständige Disziplin der Geowissenschaften) mit der Orientierung im Lebensraum des Menschen. Sie benötigt dazu - ähnlich wie die Geophysik - mathematisch-physikalisch definierte Modelle zur Struktur und Dynamik der Erde. Die angestrebte Genauigkeit der Koordinaten (heute besser als 1 cm) bestimmt die Eigenschaften des jeweiligen Modells. Die Geodäsie liefert Grenzwerte und einschränkende Bedingungen für die Weiter- und gelegentlich Neuentwicklung relevanter geophysikalischer Modelle.

Modelle sind Werkzeuge (methodische Hilfsmittel) zur idealisierten Beschreibung der Wirklichkeit, zur Entwicklung von Beobachtungsbzw. Meßverfahren oder zur Aufbereitung der Beobachtungen bzw. Meßdaten. Im Idealfall kann ein und dasselbe Modell für alle diese Aufgaben genutzt werden. Im Verlaufe der weiteren Untersuchungen werden die korrespondierenden Parameter der verschiedenen Modelle qualitativ und quantitativ miteinander verglichen.

Bewährt haben sich die folgenden Modell-Typen:

- theoretische Modelle zur Erklärung der geowissenschaftlichen Erscheinung; sie werden bei der Lösung der direkten Aufgaben entwikkelt und verwendet,
- (physikalische) Modelle zur Messung und physikalisch begründeten mathematischen Beschreibung der Erscheinungen; ihre Parameter werden aus den Meßdaten durch die Lösung von inversen Aufgaben bestimmt,
- systemanalytische Modelle zur Verdichtung und sachdiendlichen Aufbereitung der Meß- und Beobachtungsdaten, ohne daß es schon ausreichend fundierte theoretische Modelle gibt; auch hierbei sind inverse Aufgaben zu lösen.

Die Modell-Methode ist grundsätzlich als ein iterativer Prozeß anzuwenden. Zur Ableitung des Modells gehört in jedem Fall eine mathematischstatistische und die geowissenschaftliche Bewertung. Die jeweilige Stufe der Modellierung ist erst dann vollständig, wenn auf Grund geeigneter Kriterien auch Vorschläge zur Weiterentwicklung des aktuell abgeleiteten Modells unterbreitet werden.

Im Bereich von Geophysik und Geodäsie ist gegenwärtig (insbesondere aus der Sicht der Geodäsie) die Modellierung von drei Klassen von geowissenschaftlichen Problemen vordringlich: a) geophysikalische Probleme mit besonderer Relevanz zur Geodäsie, b) Erdmodelle und c) dynamische Komplexprobleme.

Der Stand der Bearbeitung ist dabei schon beachtlich. Die relevanten Fragen können häufig so klar formuliert werden, daß mathematisch-physikalische Modelle angestrebt werden können.

Im einzelnen muß auf die umfangreiche Literatur verwiesen werden.

Als geophysikalische Probleme mit besonderer Relevanz zur Geodäsie wären zu nennen:

I. Entstehung und frühe Entwicklung der Erde

mit den inhärenten Fragen:

Entstehung der Sonne und des Planetensystems, Akkumulation von Masse und Energie, Bildung des Erdmondes, Bildung des Erdkerns, Bildung und Entwicklung der Erdrinde

Relevanz:

Figur der Erde, Dynamik des Erde-Mond-Systems

II. Struktur und Dynamik der Erde im großen

mit den Teilproblemen:

Grenze Erdkern - Erdmantel

Relevanz: Rotationsdynamik

Strömungen im Erdkern

Entstehung, Unterhaltung und Änderungen des Erdmagnetfeldes

Relevanz: Rotationsdynamik

Strömungen im Erdmantel

Wechselwirkung mit der Lithosphäre, Plattentektonik, plumes und hot spots

Relevanz: Auswirkungen im Schwerefeld

Lithosphäre und Isostasie

III. Dynamik der Lithosphäre im ozeanischem Bereich

Bildung, Ausbreitung

Relevanz: Belastungseffekte, Auswirkungen im Schwerefeld

IV. Entwicklung, Struktur und Dynamik der Kontinente

Erdkruste im kontinentalen Bereich,

Kollision, Subduktion, Riftbildung, Intraplattentektonik

Relevanz: Topographie, Schwereanomalien, rezente Bewegungen der Erdkruste

V. Wechselwirkungen der festen Erde mit Hydro-, Atmo- und

Kryosphäre

langfristige Veränderungen in Topographie, Meeresströmungen, Klima

Relevanz: Schwankungen des Meeresniveaus, Topographie der Meeresoberfläche, Gezeitenbelastungen

Als aktuelle Aufgaben bei der Ableitung und Präzisierung der Erdmodelle wären zu nennen:

#### I. Seismische Modelle des Erdinnern:

Ableitung voll-dreidimensionaler Strukturmodelle, Entwicklung von voll-dreimensionalen Strukturmodellen für einzelne Regionen und für einzelne Schichten im Erdinnern Anmerkung:

Testung durch geodätische und gravimetrische Aussagen

#### II. Modelle der Konvektion im Erdmantel

mit den inhärenten Fragen:

physikalische Charakterisika, Ausbreitung bzw. Unterteilung der Strömung, plumes, Wechselwirkung mit der Lithosphäre Anmerkung:

Bedeutung der gravimetrischen Daten, Integration seismischer Daten

### III. Modelle zur Dynamik des Erdkerns

mit den inhärenten Fragen:

Dynamo-Modell des Erdmagnetfeldes, Strömung im Erdkern, Einfluß des Erdmantels

Anmerkung:

Bedeutung der Rotationsdynamik

Während man bei der Ableitung der bisher erwähnten Modelle von den geophysikalischen Daten ausgeht, bilden bei den folgenden dynamischen Komplexproblemen die geodätischen Beobachtungen den Ausgangspunkt:

# A. Kurzzeitdynamik der rotierenden deformierbaren Erde

zur Erfassung, Erklärung und Vorhersage der Schwankungen der Erdrotation und der Erdgezeiten

Vorgehensweise:

Wahl von Grundmodellen, Überlagerungen 1. Ordnung, Überlagerungen 2. Ordnung (rheologische Effekte)

B. "Langzeit"-Änderungen von Erdoberfläche und Schwerefeld (im kontinentalen und im ozeanischen Bereich)

zur Erfassung und Deutung der rezenten Bewegungen der Erdkruste und verbundener Phänomene

Vorgehensweise:

Klassifikation nach Erscheinungsformen und vermuteten Ursachen, endogene Vorgänge, exogene Vorgänge.

### 6. Analyse der Beobachtungen, Lösung der inversen Aufgabe

In den Geowissenschaften ist die Rolle der Beobachtung der Naturerscheinung besonders hoch. Experimente im Sinne einer zielgerichteten Beeinflussung des Untersuchungsobjektes sind bekanntlich praktisch nicht möglich.

In der Vergangenheit war es üblich und durchaus zulässig, bei der Analyse der Beobachtungen empirische Methoden anzuwenden. Etwaige Fehler und Unzulänglichkeiten konnten noch relativ leicht bei der geowissenschaftlichen Bewertung der Ergebnisse erkannt und ausgemerzt werden. Im selben Maße, wie bei den Beobachtungen die Formalisierung und Automatisierung sich ausbreitet, müssen jedoch auch die Methoden zur Analyse der Beobachtungen mathematisch weiter qualifiziert werden.

Die Analyse der Beobachtungen bzw. Messungen erfordert ein sachgerechtes Modell und führt zur Lösung von inversen Aufgaben.

Es gibt mehrere Standardverfahren zur primären Analyse der Beobachtungen. Auch diese sind an Modelle für die zu untersuchende Erscheinung gebunden. Typische Beispiele sind die Zeitreihenanalyse und die sphärisch-harmonische Analyse.

Gewöhnlich treten zwei Typen von inversen Aufgaben auf: Einmal wird einfach die Kompression der Meßdaten angestrebt, um die Datenfülle zu reduzieren, die Meßfehler zu Eliminierung und die positive Information deutlich zu machen. Dazu sind mathematisch-statistische Modelle erforderlich. zum andern sollen, ausgehend von den Meßwerten, die numerischen Parameter im angesetzten Modell geschätzt werden. Das erfordert physikalisch begründete bzw. systemanalystische Modelle. Zur Lösung der inversen Aufgaben gehört in beiden Fällen, daß die Güte der erreichten Aussage und damit die Güte des Modells beurteilt wird.

Die Behandlung der inversen Aufgaben ist angewandte Mathematik mit theoretischen Problemen (Schlagwort: schlecht gestellte Aufgaben) und mit praktischen Zielen (Reduzierung des Rechenaufwandes). Es ist eigentlich verwunderlich, daß die Bedeutung dieser Problematik in der Geophysik und den anderen Geowissenschaften erst in jüngerer Zeit erkannt worden ist. Sie wird aber heute sehr tiefgründig bearbeitet.

Als inverse Aufgabe definiert man die indirekte Bestimmung der Parameter m, die in einem mathematischen Modell die Eigenschaften der

geowissenschaftlichen Erscheinung kennzeichnen, aus den Beobachtungen d durch Lösung der Gleichung f(m, d) = 0.

Dabei sind zumeist folgende Probleme zu überwinden:

- die Probleme des Modells: unzulängliche Beschreibung, Nichtlinearität
- die Probleme der Daten: relative Anzahl, Datenfehler
- die Probleme der Lösung: Existenz, Eindeutigkeit, Stabilität.

Die Verfahren zur Lösung der Probleme sind recht einfach bei den korrekt gestellten linearen Aufgaben Am = d.

Von der Vielzahl von Verfahren zur Lösung von komplizierteren Aufgaben sollen hier lediglich aufgezählt werden:

- Linearisierung/Parametrisierung
- verallgemeinerte Lösung durch Minimierung des Abstandes //Amd//,
- Regularisierung mit Hilfe von Zwangsbedingungen zur Herstellung der Eindeutigkeit und zur Stabilisierung

Ansonsten muß auf die umfangreiche Literatur verwiesen werden.

Bei der geowissenschaftlichen Bewertung der erreichten Aussagen sollten die folgenden Grundsätze beachtet werden:

- Man muß davon ausgehen können, daß die Lösung der inversen Aufgabe für das betrachtete konkrete Problem mathematisch und physikalisch korrekt ist.
- Geowissenschaftliche Modelle sind immer nur N\u00e4herungsdarstellungen des nat\u00fcrlichen Ph\u00e4nomens. Ist die L\u00fcsung der inversen Aufgabe stabil auch gegen\u00fcber den Unzul\u00e4nglichkeiten des Modells?
- Die Lösungen der inversen Aufgaben sind zumeist nicht eindeutig.
   Es werden zur Deutung zusätzliche Informationen benötigt, zumindest sind Beschränkungen des Modells nötig.
- Viele inverse Probleme sind nichtlinear. Die übliche Linearisierung hat zur Folge, daß zusätzliche Nicht-Eindeutigkeiten entstehen. Zu untersuchen sind deshalb möglichst viele Modelle, die alle mit den verfügbaren Daten verträglich sind.

### 7. Schlußbemerkung

Die gegenwärtigen Diskussionen zur weiteren Entwicklung der Geowissenschaften sind Teil der ständig wiederkehrenden Auseinandersetzungen zum Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft. Sie umfassen natürlich den Streit um die Finanzierung der für die moderne Wissenschaft notwendigen Aufwendungen, aber ebenso den Streit um die Aussagen der Wissenschaft, die von einzelnen gesellschaftlichen Interessengruppen erwünscht, von anderen unerwünscht sind.

Die Geowissenschaften sind von diesen Auseinandersetzungen besonders betroffen, einmal wegen der beträchtlichen Aufwendungen z.B. beim Einsatz von Technologien der Raumfahrt, zum andern weil die Geowissenschaften sich mit den beiden grundlegenden Fragen jeder menschlichen Gemeinschaft befassen: dem Lebensraum (anders formuliert: der Umwelt) und den natürlichen Ressourcen, die direkt oder indirekt (durch Vermittlung der Biosphäre) genutzt werden.

Weitgehend akzeptiert wird der Standpunkt, daß die geowissenschaftliche Grundlagenforschung auf einem ausreichenden Niveau kontinuierlich fortzuführen ist, daß die anwendungsorientierten Forschungen in bezug auf die Ressourcen durch den mittelfristig überschaubaren Bedarf bestimmt werden und daß, der Schwerpunkt gegenwärtig auf der Ausarbeitung der geowissenschaftlichen Grundlagen für den Schutz der Umwelt liegt. Als lösbar wird in näherer Zukunft die Prognose von Naturkatastrophen betrachtet, weshalb die entsprechenden Forschungsprogramme ausreichend gefördert werden sollten.

Die wissenschaftsinternen Diskussionen zu den Zielen und Methoden der Geowissenschaften sind natürlich zu jeder Zeit sehr weit gefächert.

Im Vortrag wurde lediglich ein allgemein gültiger, methodologischer Aspekt angesprochen, der eng mit der wachsenden Anwendung der modernen Informationstechnologien verbunden ist. Dieser Aspekt betrifft die konsequente Systembetrachtung und als Teil dessen die durchgehende Einführung und Verwendung von Modellen. Die Verwendung von Modellen ist in einigen Zweigen der Geowissenschaften nicht neu. Als durchgehendes Konzept mit großen Erfolgsaussichten im Gesamtgebiet wird der Modellbegriff jedoch erst in jüngerer Zeit entwickelt. Die Einführung von Modellen bei geowissenschaftlichen Problemen ermöglicht es u.a., die Probleme stärker zu formalisieren und physikalisch zu durchdringen, erfordert aber auch exaktere mathematische Betrachtungen.

Abschließend sei noch angemerkt, ohne es näher ausführen zu können, daß die Geowissenschaften mit jeden neuen Forschungsproblem die interdisziplinäre Arbeit innerhalb ihres Gesamtgebietes und weit darüber hinaus mit den anderen Wissenschaften weiter ausbauen.

Siegfried Franck

# Die Erde als globales Ökosystem<sup>1</sup>

### 1. Einführung

Obwohl bereits vom griechischen Philosophen Epikuros (341 - 270 v. Chr.) die Vorstellung entwickelt wurde, daß es noch andere "Welten" (und dabei auch solche mit Lebewesen) geben könnte, gibt es auch heute neben dem Planeten Erde keinen einzigen Himmelskörper, auf dem mit Sicherheit Leben nachgewiesen wurde. Damit können wir auch die Erde als das größte bekannte Ökosystem bezeichnen. Unter dem Ökosystem Erde wollen wir im folgenden das globale System aus den Komponenten Biosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und feste Erde verstehen. Dieses System wird in der modernen Geowissenschaft als Erdsystem bezeichnet und die entsprechende Wissenschaft als "earth system science". Ein anderer Zugang zu dieser Problematik geht davon aus, daß Klima und chemische Zusammensetzung der oberflächennahen Erdsystemkomponenten durch die Biosphäre geregelt werden. Unter dem Begriff "Geophysiologie" (Lovelock, 1989; Krumbein und Schellnhuber. 1992) wird dabei die Wissenschaft von den Phänomenen und Prozessen auf der Oberfläche der Erde als lebender natürlicher Körper verstanden. Die Begriffe Erdsystem und Ökosystem Erde unterscheiden sich nur dadurch voneinander, daß beim Ökosystem Erde die Komponente Biosphäre im Mittelpunkt steht und der Begriff Ökosystem Erde die Beziehungen innerhalb der Biosphäre und zwischen Biosphäre und den übrigen Komponenten beschreibt. Beim Begriff Erdsystem spielt die Biosphäre keine zentrale Rolle, sondern ist den übrigen Komponenten vollkommen gleichgestellt. Der Unterschied zwischen den beiden Begriffen ist also mehr akademischer Art und soll uns im weiteren nicht mehr interessieren.

Das Hauptziel des vorliegenden Artikels besteht darin, Rückkopplungen im System Erde zu untersuchen, wenn dieses System zeitlich veränderlichen Einwirkungen "von außen" unterworfen ist. Die wichtigste dieser

überarbeiteter Vortrag, gehalten in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz - Sozietät am 16. März 1995

äußeren Einwirkungen ist dabei die über planetologische Zeiträume ansteigende Leuchtkraft der Sonne.

Im folgenden Kapitel werden wir uns mit dem klassischen Beispiel für die Selbstregulierung im System Erde befassen, dem sogenannten Paradoxon von der anfänglich schwachen Sonne ("faint young sun paradox"). Danach sollen im dritten Kapitel Arbeiten vorgestellt werden, bei denen die Wechselwirkung zwischen fester Erde und Hydrosphäre/Atmosphäre in einem geophysikalisch fundiertem Modell beschrieben wird. In Kapitel 4 werden wir die zukünftige Entwicklung des Erdsystems in einem sogenannten "box model" untersuchen und dabei auch die Frage nach der Überlebensdauer der Biosphäre auf dem Planeten Erde stellen. Im letzten Kapitel beschäftigen wir uns mit "daisy-world"- Modellen. Bei

diesen Modellen wird auf der Basis der GAIA-Hypothese die Selbstregulierung im System Erde allein der Biosphäre (biologische Regulation) zugeschrieben.

Wenn man die anthropogene Beeinflussung des Systems Erde beschreiben möchte, so führt man konsequenterweise eine weitere Komponente des Systems Erde ein: die Anthroposphäre, manchmal auch die sogenannte Technosphäre als Menge aller durch die Menschen geschaffenen Objekte (Taube, 1985). Bei den von uns im folgenden untersuchten Evolutionsmodellen sind jedoch die charakteristischen Zeitskalen viel länger als die typische Zeitskala von  $10^2...10^3$  Jahren, seit der die Menschheit maßgeblich das System Erde beeinflußt.

# 2. Das Paradoxon der anfänglich schwachen Sonne

Bereits vor etwa hundert Jahren erkannte der berühmte schwedische Wissenschaftler Arrhenius die Bedeutung des Kohlendioxidgehaltes der Erdatmosphäre für das Klima (Arrhenius, 1896). Auf Arrhenius geht auch das erste einfache Klimamodell, ein sogenanntes nulldimensionales Energiebilanzmodell, zurück. Es wird ein Gleichgewicht zwischen absorbierter Sonnenstrahlungsleistung (1-A)S und emittierter Strahlungsleistung der Erde  $L_{\oplus}$  angenommen:

$$(1-A)S = 4L_{\oplus} \tag{1}$$

Dabei ist S die Solarkonstante (1360 W/m²) , A die Albedo der Erdoberfläche ( ca. 0,30 ) und  $L_{\oplus}$  die Eigenstrahlungsleistung der Erde. Der Faktor 4 entsteht dadurch, daß der Planet Erde mit dem Radius R nur auf

der Tagesseite ( $\pi$ R<sup>2</sup>) Sonnenstrahlungsleistung absorbiert, aber von der gesamten Oberfläche (4  $\pi$  R<sup>2</sup>) Strahlung emittiert. Diese Leistungsbilanz ist in Abb. 1 dargestellt (A'S ist der reflektierte Anteil der Sonnenstrahlungsleistung).

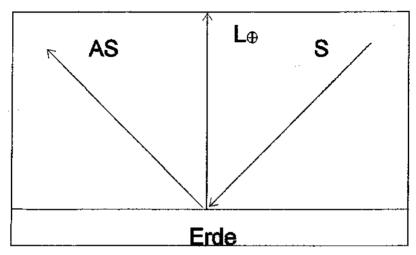


Abb. 1: Leistungsbilanz zwischen Sonnenstrahlungsleistung S, emittierter Strahlungsleistung L<sub>⊕</sub> und reflektierter Sonnenstrahlungsleistung AS.

Wenn man die Eigenstrahlungsleistung der Erde als die eines schwarzen Körpers mit einer effektiven Strahlungstemperatur Te nach dem Stefan-Boltzmann Gesetz berechnet, ergibt sich:

$$L_{\oplus} = \sigma T_e^4 \tag{2}$$

σ ist die Stefan - Boltzmann- Konstante (0,567 •10<sup>-7</sup> W · m<sup>-2</sup> •K<sup>-4</sup>).

Durch Kombination von (1) und (2) erhält man für die effektive Strahlungstemperatur des Planeten Erde:

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{(1-A)\cdot S}{4\cdot s}} \approx 255K \tag{3}$$

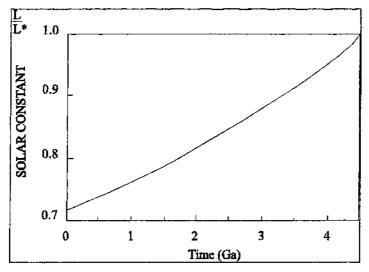
Die effektive Strahlungstemperatur des Planeten Erde ohne Atmosphäre bzw. an der Oberkante der Atmosphäre beträgt demnach 255 K , d.h. etwa -18°C. Andererseits wissen wir, daß die räumlich und zeitlich gemittelte Oberflächentemperatur des Planeten Erde  $T_{\rm s}$ heute 288 K (ca.

+ 15 °C ) beträgt. Die Differenz  $\Delta T$ =  $T_s$ -  $T_e$  = 33 grd entsteht infolge des Treibhauseffekts der Erdatmosphäre.

Wenn wir das hier vorgestellte einfache Klimamodell auf die Entwicklung des Planeten Erde anwenden wollen, müssen wir beachten, daß die "Solarkonstante" über planetologische Zeiträume hinweg nicht konstant ist. Aus modernen Modellen der Sternentwicklung folgt ein stetiges Anwachsen der Sonnenleuchtkraft mit ihrer Entstehung. Die Ursache für dieses Verhalten liegt im nuklearen Wasserstoffbrennen im Kern der Sonne, das eine Erhöhung der mittleren Kerndichte und Kerntemperatur bewirkt. Dadurch erhöht sich auch die Leuchtkraft der Sonne (Gilliland 1989). Vor ungefähr 4,6 • 10<sup>9</sup> Jahren, als das Sonnensystem entstand, strahlte die Sonne etwa um 30 % schwächer als heute. Seitdem hat die Leuchtkraft der Sonne, das heißt ihre Stahlungsintensität, ungefähr linear mit der Zeit zugenommen. Nach Gough (1981) läßt sich der zeitliche Verlauf der solaren Strahlungsintensität folgendermaßen darstellen:

$$L(t) = \left[1 + \frac{2}{5} \left(1 - \frac{t}{t^*}\right)\right]^{-1} \cdot L^*$$
 (4)

Dabei ist L (t) die solare Strahlungsintensität und  $L^*$  ihr gegenwärtiger Wert zum Zeitpunkt  $t = t^*$ . Gleichung (4) ist in Abb. 2 dargestellt



1bb. 2 : Zeitlicher Verlauf der solaren Strahlungsintensität

Die Solarkonstante S auf der Erdumlaufbahn wird nach der Formel

$$S(t) = \frac{L(t)}{4\pi D^2} \tag{5}$$

berechnet. D ist der mittlere Abstand Erde - Sonne . Somit ändert sich die Solarkonstante analog zu Gleichung (4). Vor etwa  $2,6 \cdot 10^9$  Jahren betrug demnach die Solarkonstante nur etwa 80~% des heutigen Wertes :

$$S(2 \cdot 10^9 a) \approx 0.80 \cdot S(4.6 \cdot 10^9 a)$$
 (6)

Wenn wir diesen Wert in Gleichung (3) einsetzen, können wir die effektive Strahlungstemperatur der Erde vor etwa 2,6 • 10<sup>9</sup> Jahren berechnen

$$T_e (2 \cdot 10^9 \text{ a}) = 255 \text{K} \cdot \sqrt[4]{0.8} = 240 \text{ K}$$
 (7)

Nehmen wir nun die gleiche Temperaturerhöhung  $\Delta$  T = 33 grd durch den Treibhauseffekt wie heute an, so betrug die Oberflächentemperatur  $T_s$  vor etwa 2,6•10  $^9$  Jahren 0  $^{\circ}$ C:

$$T_s(2 \cdot 10^9 \text{ a}) = T_c(2 \cdot 10^9 \text{ a}) + \Delta T$$
 (8)

$$=-33^{\circ}\text{C} + 33\text{grd}$$
 (9)

$$=0^{\circ}C \tag{10}$$

Das Paradoxon von der anfänglich schwachen Sonne wurde von Sagan und Mullen (1972) etwa folgendermaßen formuliert:

Falls die ursprüngliche Erdatmosphäre der heutigen ähnlich gewesen wäre, müßte die Erde bei anfangs schwacher Sonnenstrahlungsintensität in der Zeit bis vor etwa zweieinhalb Milliarden Jahren völlig mit Eis bedeckt gewesen sein. Das war aber nicht der Fall. Wir kennen sehr alte Sedimentgesteine, die anzeigen, daß es auf der Erde seit mindestens 3,8 Milliarden Jahren flüssige Ozeane gegeben haben muß. Etwa zur gleichen Zeit ist auch das Leben entstanden (Lovelock 1991), und die Existenz von Lebewesen ist sicher an die Existenz von flüssigem Wasser gebunden. Bereits Sagan und Mullen (1972) erkannten, daß dieses Paradoxon der anfänglich schwachen Sonne nur entsteht, wenn man annimmt, daß sich die Erdatmosphäre im Laufe der Zeit nicht verändert. Wenn zu Beginn der Evolution des Planeten Erde der Treibhauseffekt istärker war als heute, dann wäre trotz geringerer Sonneneinstrah-

stärker war als heute, dann wäre trotz geringerer Sonneneinstrah die Erde vor einer vollständigen Vereisung bewahrt worden.

Nach Walker, Hays und Kasting (1981) existiert ein Mechanismus mit negativer Rückkopplung, der garantiert, daß die zu Beginn der Erdevolution höhere atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration genau mit einer solchen Rate abnahm, die den Anstieg der Sonnenintensität ausglich. Dadurch wurde die Erde sowohl vor einer Treibhausinstabilität wie auf der Venus als auch vor einer Totalvereisung bewahrt. Dieser Rückkopplungsmechanismus beruht auf dem sogenannten globalen Kohlenstoffkreislauf, der im nächsten Kapitel behandelt wird.

# 3. Die Wechselwirkung zwischen fester Erde und Hydrosphäre/ Atmosphäre

### 3.1 Volatilenaustausch zwischen Erdmantel und Oberflächenreservoirs

Die thermische Geschichte der Erde und anderer terrestrischer Planeten wurde mit Hilfe sogenannter parametrisierter Konvektionsmodelle untersucht (siehe z.B. Stevenson et al., 1983; Solamatov et al., 1987; Stiller et al., 1990). Diese Modelle gehen in ihrer einfachsten Form von einer Energiebilanzgleichung für den Erdmantel aus, welche die zeitliche Änderung der charakteristischen Manteltemperatur T liefert

$$\frac{4}{3}\pi\rho(R_m^3 - R_c^3)T = -4\pi R_m^2 q + \frac{4}{3}\pi\rho(R_m^3 - R_c^3)$$
 (11)

wobei  $\rho$  die Dichte, c die spezifische Wärme bei konstantem Druck, q den Wärmefluß sowie  $R_m$  und  $R_c$  den Mantelradius bzw. den Kernradius bezeichnen. Q beschreibt die Wärmeenergie, die durch den Zerfall radioaktiver Isotope entsteht. Auf Abbildung 3 ist dargestellt, wie das parametrisierte Konvektionsmodell mit den Prozessen der Entgasung von Volatilen an mittelozeanischen Spreading-Zonen bzw. Rückführung von Volatilen an Subduktionszonen gekoppelt werden kann (Franck und Bounama 1995 a).

Die Bilanzgleichung für die zeitliche Änderung der Masse der Mantelvolatile  $M_{mv}$  ergibt sich aus der Differenz von Rückführungsrate  $[M_{mv}]_r$  und Entgasungsrate  $[M_{mv}]_d$ :

$$\mathbf{M}_{\text{nov}} = [\mathbf{M}_{\text{mov}}]_{r} - [\mathbf{M}_{\text{mov}}]_{d} \tag{12}$$

Der Anfangswert von  $M_{niv}$  ist die Zahl n von Ozeanmassen an Volatilen, die sich ursprünglich im Mantel befunden hat:

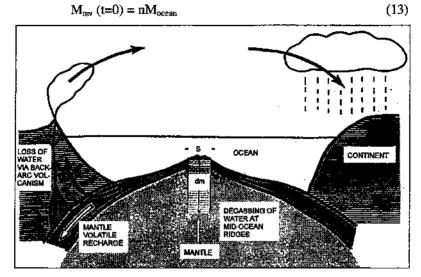


Abb. 3: Parametrisiertes Mantelkonvektionsmodell mit Entgasung von Volatilen an mittelozeanischen Spreading-Zonen (S ist die Spreading-Rate; d<sub>m</sub> die Tiefe der partiellen Schmelze) und an sogenannten "backarc" - Vulkanen. An Subduktionszonen werden Volatile in den tieferen Mantel zurückgeführt.

Nach einer geochemischen Argumentation von Ringwood (1975) existieren im System Erde insgesamt etwa vier Ozeanmassen an Volatilen. Setzt man in (13) n=4, so entspricht das der Annahme, daß zu Beginn der planetaren Evolution alle Volatile im Erdmantel gespeichert waren.

Das gekoppelte System von Differentialgleichungen für die mittlere Manteltemperatur, die Mantelviskosität, den Wärmefluß, die Rayleigh - Zahl, das Urey - Verhältnis und den Volatilenverlust aus dem Erdmantel wurde mit Hilfe eines Runge-Kutta-Verfahrens vierter Ordnung numerisch gelöst (Franck und Bounama, 1995 a). Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt.

Das interessanteste Ergebnis der numerischen Rechnungen ist die rapide Entgasung der Erde zu Beginn der planetaren Evolution (Bild 4f). Die Zeitskala für die Entgasung einer Ozeanmasse ist etwa 100·10<sup>6</sup> a. Danach befinden sich Entgasung und Regasung in einem dynamischen Gleichgewicht. Ein solches Verhalten entspricht auch den Ergebnissen geochemischer Untersuchungen des Edelgasverhältnisses <sup>129</sup> Xe/ <sup>130</sup> Xe (Staudacher und Allégre, 1982).

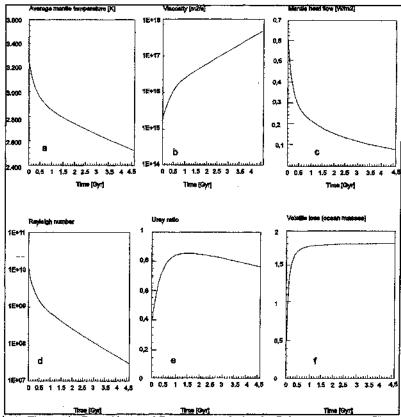


Abb. 4: Thermische Entwicklung und Entgasungsgeschichte der Erde im sogenannten FB-Standardmodell (Franck und Bounama 1995 a).

#### 3.2 Der Globale Kohlenstoffkreislauf

Das in Abschnitt 3.1 vorgestellte Modell für den Volatilenaustausch beschreibt vornehmlich die Wechselwirkung zwischen fester Erde und Hydrosphäre, während die Atmosphäre nur indirekt berücksichtigt wird. Wenn man den aus dem Paradoxon der anfänglich schwachen Sonne abgeleiteten Mechanismus der Klimastabilisierung behandeln will, muß zusätzlich zu den Komponenten feste Erde und Hydrosphäre noch die Atmosphäre mit dem Treibhauseffekt berücksichtigt werden. Dabei muß man explizit den Kreislauf von Kohlenstoff zwischen den fünf verschie-

denen Reservoirs (Atmosphäre, Ozean, Kontinente, ozeanische Lithosphäre und Erdmantel) berücksichtigen. Die Grundidee besteht darin, daß eine ursprüngliche CO<sub>2</sub>-reiche Protoatmosphäre ihren CO<sub>2</sub>-Gehalt nach und nach erniedrigt, indem Kohlenstoff in den wachsenden Kontinenten gespeichert wird und somit die terrestrische Umwelt gegenüber einem Anwachsen der Sonnenleuchtkraft stabilisiert wird.

Der globale Kohlenstoffkreislauf läßt sich etwa folgendermaßen beschreiben (Tajika und Matsui, 1992):

Das CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre löst sich in Regentropfen und im Grundwasser und bildet Kohlensäure, welche die Silikat- und Karbonatminerale an der Landoberfläche verwittert. Dabei entstehen Kationen und Bikarbonationen, die über die Flußsysteme in den Ozean transportiert werden. Als Beispiel zeigen wir hier die Verwitterungsreaktion von Kalziumsilikat

$$2 \text{ CO}_2 + \text{CaSiO}_3 + \text{H}_2\text{O} --> \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3 + \text{SiO}_2$$
 (14)

Im Ozean reagieren diese Ionen wiederum miteinander und bilden Karbonate.

$$Ca^{2+} + CO^{2-}_3 --> CaCO_3$$
 (15)

Die Karbonatbildung kann auf rein anorganischem Wege erfolgen. Durch die Biosphäre wird dieser Prozeß jedoch stark gefördert. Die Karbonate lagern sich auf dem Ozeanboden ab und werden mit den ozeanischen Platten in Richtung einer Subduktionszone transportiert. Bei der Subduktion wirken auf die Karbonate erhöhte Drücke und Temperaturen, so daß ein Teil von ihnen (etwa 20%) durch metamorphe Reaktionen wieder in Silikate umgewandelt wird.

$$CaCO_3 + SiO_2 --> CaSiO_3 + CO_2$$
 (16)

Das dabei entstehende CO<sub>2</sub> geht über den "backarc"- Vulkanismus wieder in die Atmosphäre zurück. Die restlichen (etwa 80%) Karbonate gelangen mit den abtauchenden Platten in den tieferen Mantel und erhöhen den Anteil der Mantelvolatile M<sub>mv</sub>. Über die Mantelkonvektion werden die Volatile im Mantel verteilt. Unter dem mittelozeanischen Rücken schmilzt das Mantelmaterial partiell auf und die enthaltenen Volatile entgasen wie bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben.

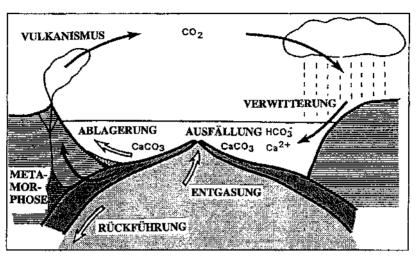


Abb. 5: Kopplung des globalen CO2 - Kreislaufs mit der Manteldynamik.

In aufwendigen numerischen Rechnungen von Tajika und Matsui (1992) wurde ein thermisches Evolutionsmodell mit Volatilenaustausch (siehe Abschnitt 3.1) dahingehend erweitert, daß zusätzlich noch der CO<sub>2</sub>-Kreislauf mit Treibhauseffekt und Verwitterung sowie die zeitliche Veränderung der Solarkonstante berücksichtigt wurden.

Die Ergebnisse zeigen, daß der globale Kohlenstoffkreislauf der Erde solche Rückkopplungsmechanismen enthält, die das Anwachsen der Solarkonstante durch eine kontinuierliche Abnahme des CO<sub>2</sub>-Partialdrucks in der Erdatmosphäre ausgleichen und damit die Oberflächentemperatur relativ konstant halten.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis dieser Untersuchungen betrifft die Stabilität des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Dazu wurde die Response - Zeit gegenüber einer Störung des Oberflächenreservoirs untersucht. Dabei zeigt sich, daß eine deltaartige Störung nach etwa 875 Ma abklingt. Das ist natürlich eine sehr lange Zeit. Andererseits ist diese charakteristische Zeit kurz genug gegenüber dem Erdalter, so daß sich der heutige globale Kohlenstoffkreislauf in einem "steady state" befindet und nicht mehr von der Anfangsverteilung zwischen den Reservoirs abhängt.

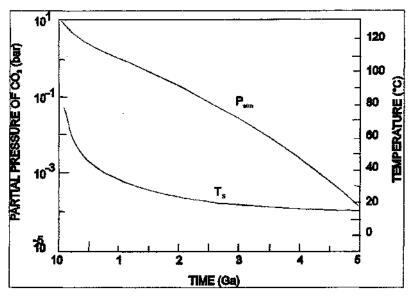


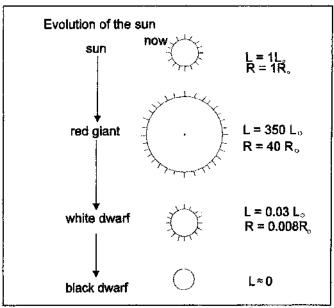
Abb. 6: Zeitliche Variation des CO<sub>2</sub> - Partialdrucks der Erdatmosphäre und der Oberflächentemperatur nach Tajika und Matsui (1992).

# 4. Die zukünftige Entwicklung des Systems Erde

In diesem Kapitel werden wir erstmals auch die Komponente Biosphäre des Systems Erde in unseren Evolutionsmodellen berücksichtigen. Dabei werden wir uns insbesondere damit beschäftigen, wie sich das System Erde zukünftig entwickeln wird.

Innerhalb der für uns relevanten langen Zeitskalen wird die zukünftige Entwicklung des Systems Erde maßgeblich durch die Veränderungen in der äußeren Einwirkung auf das System, d.h. durch die Entwicklung der Sonne bestimmt. Aus der Sicht der Astrophysik ergibt sich deshalb das folgende Szenario (Unsöld, 1967):

Die Sonne wandert im Hertzsprung - Russel- Diagramm nach rechts oben und wird in etwa 6 Milliarden Jahren ein roter Riesenstern. Ihr Radius wächst dabei auf das Vierzigfache des heutigen Wertes an und die Leuchtkraft nimmt um mehr als 2 Größenordnungen zu (siehe Abb. 7). Die Temperatur auf der Erde steigt erheblich über den Siedepunkt des Wassers, so daß die Ozeane verdampfen. Dies bedeutet das Ende jeden organischen Lebens auf der Erde.



-Abb. 7: Die weitere Entwicklung von Sonnenleuchtkraft (L) und Sonnenradius (R).

völlig unbefriedigend. Es berücksichtigt nicht, daß das System Erde bei einem weiteren Anwachsen der Sonnenleuchtkraft so reagieren wird Das hier beschriebene Szenario ist natürlich aus der Sicht der Geosystemanalyse, daß die Oberflächentemperatur des Planeten Erde noch möglichst lange stabil gehalten wird. Diese negative Rückkopplung kann dadurch realisiert werden, daß über geologische Zeiträume der CO2-Gehalt der Erdatmosphäre weiter abnimmt. Eine einfache Abschätzung von Lovelock und Whitfield (1982) hat eine lineare Abnahme der Quadratwurzel des CO2-Gehalts der Erdatmosphäre über das Erdalter ergeben. Extrapoliert man diese Gerade in die Zukunft, so findet man in etwa 100 Ma einen CO2-Gehalt von 150 p.p.m. Das ist gerade der Minimalwert für die Photosynthese der C3-Pflanzen. Mit anderen Worten ausgedrückt: In etwa 100 Ma wird die Biosphäre, die auf der Photosynthese der C3-Pflanzen basiert, aufhören zu existieren.

In einer Arbeit von Caldeira und Kasting (1992) wurde die Idee von Lovelock und Whitfield (1982) aufgegriffen und mit Hilfe eines numerischen Modells untersucht. Dabei wurden die in Abbildung 8 dargestellten positiven und negativen Rückkopplungen im System Erde berücksichtigt.

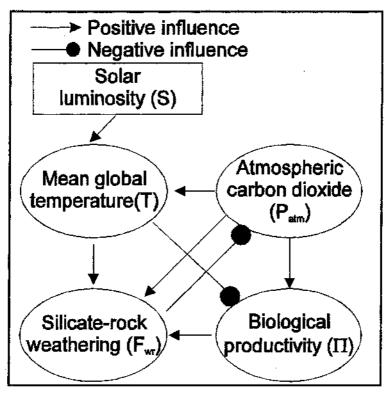


Abb. 8: Darstellung der positiven und negativen Rückkopplung im Modellsystem Erde nach Caldeira und Kasting (1992).

Das Modell untersucht die Reaktion des Systems auf eine ansteigende solare Einstrahlung (S).

Dadurch wird die Erde erwärmt und die Oberflächentemperatur T steigt an. Dieser Temperaturanstieg beschleunigt aber die Verwitterung der Silikatgesteine ( $F_{wr}$ ). Hohe Temperaturen (nahe 50°C) haben einen negativen Einfluß auf die Bioproduktivität ( $\Pi$ ). Die beschleunigte Verwitterung reduziert die atmosphärische  $CO_2$ -Konzentration ( $P_{atm}$ ), wodurch wiederum T und  $F_{wr}$  "gebuffert" werden und  $\Pi$  abnimmt. Das Aussterben der Biosphäre setzt dann ein, wenn der  $CO_2$ -Gehalt der Atmosphäre niedriger wird als der Minimalwert für die Photosynthese.

Wenn man annimmt, daß sich bei einem niedrigen CO<sub>2</sub>-Partialdruck vornehmlich C<sub>4</sub>-Pflanzen entwickeln, kann man als Minimalwert für die

Photosynthese  $P_{min} = 10$  ppm ansetzen. Die Formel für die Bioproduktivität (Biomasse pro Zeiteinheit und Oberflächeneinheit ) sieht dann folgendermaßen aus:

$$\frac{\Pi}{\Pi \max} = \left(1 - \left(\frac{T - 25^{\circ}C}{25^{\circ}C}\right)^{2}\right) \frac{P_{atm} - P_{\min}}{P^{*} + (P_{atm} - P_{\min})}$$
(17)

Die maximale Bioproduktivität  $\Pi_{max}$  erfordert eine optimale Oberflächentemperatur von 25 °C und ist etwa doppelt so hoch wie der heutige Wert  $\Pi_o$ . Der Wert P\* wird so angepaßt, daß Gleichung (17)  $\Pi = \Pi_o$  ergibt, wenn  $T = T_0 = 15$ °C und  $P_{atm} = P_{atm,0} = 320$  ppm die heutigen Werte annehmen. Gleichung (17) ist deshalb so wichtig, da sie erstmals eine mathematische Beziehung zwischen Biosphäre und physikalischen Parametern der Atmosphäre bzw. festen Erde liefert.

Auf Abbildung 9 sind die numerischen Ergebnisse von Caldeira und Kasting (1992) als Zeitdiagramme für die nächsten 1,6 Milliarden Jahre dargestellt.

Nach dem hier gezeigten Szenario würde die auf der Photosynthese basierende Biosphäre (Pflanzen, Tiere, Menschen?) in etwa 800...900 Millionen Jahren aussterben, da der CO<sub>2</sub>-Partialdruck in der Erdatmosphäre zu niedrig wird.

Das der Abb. 8 entsprechende numerische Modell wurde von Caldeira und Kasting (1992) unter der Annahme gelöst, daß während der gesamten Erdentwicklung die Verwitterungsrate  $F_{w\tau}$  gleich der heutigen  $F_{w\tau,0}$  ist. Dies ist sicher eine sehr grobe Näherung, zumal Berner et al. (1983) bereits die große Bedeutung von Verwitterungsrate, Ozeanboden - Spreadingrate und Kontinentfläche für das globale Klima erkannt hatten. Im Sinne einer "steady-state" Näherung kann man über lange Zeitskalen von mehr als  $10^5$  Jahren ein Gleichgewicht zwischen der  $CO_2$ -Senke im System Atmosphäre/Ozean und der metamorphosen, plattentektonischen Quelle annehmen (Kasting, 1984) . Die  $CO_2$ -Senke ist dabei dem Produkt aus Verwitterungsrate und Kontinentfläche proportional, während die  $CO_2$ -Quelle proportional zur Spreadingrate angesetzt wird. In dimensionslosen Größen (bezogen auf die entsprechenden heutigen Werte) wird dieses Gleichgewicht folgendermaßen ausgedrückt:

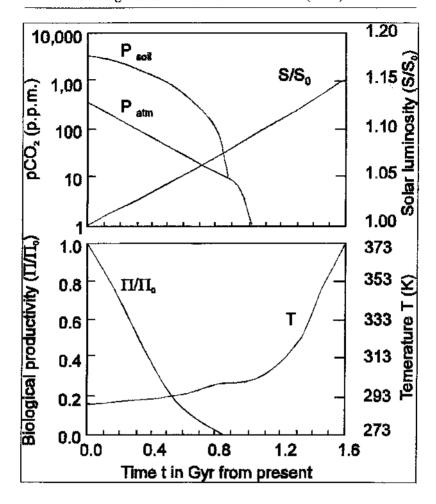


Abb. 9: Zukünftige Entwicklung der relativen solaren Einstrahlung (S/S<sub>0</sub>), des CO<sub>2</sub> -Partialdrucks in der Atmosphäre (P<sub>atm</sub>) und im Boden (P<sub>soil</sub>) sowie der relativen Bioproduktivität (Γ/Π<sub>0</sub>) und der Oberflächentemperatur (T). Mit Anwachsen der solaren Einstrahlung nimmt P<sub>atm</sub> ab, und die Differenz zwischen P<sub>soil</sub> und P<sub>atm</sub> wird dann Null, wenn die Bioproduktivität gegen Null geht, da die Biosphäre CO<sub>2</sub> in den Boden pumpt und damit auch die Verwitterung erhöht. Die Oberflächentemperatur ist relativ lange stabilisiert, steigt aber bald nach dem Verschwinden der Biosphäre steil an.

$$f_{wr} \bullet f_A = f_{er} \tag{18}$$

Wobei  $f_{wr}$ ,  $f_A$  und  $f_{sr}$  die dimensionslose Verwitterungsrate, die dimensionslose Kontinentfläche bzw. die dimensionslose Spreadingrate bedeuten.

In neuen Untersuchungen von Franck et al. (1996) wurde Gleichung (18) benutzt, um mit Hilfe unterschiedlicher Kontinentwachstumsmodelle und Spreadingraten die Entwicklung der Bioproduktivität, des CO<sub>2</sub>-Partialdrucks in Atmosphäre und Boden sowie der Oberflächentemperatur für den Planeten Erde seit Ende des Archaikums zu berechnen. Dabei liefern realistische Kontinentwachstumsmodelle (Franck und Bounama, 1995 b) weit bessere Temperaturstabilisierung in der Erdgeschichte. Die Überlebensdauer der Biosphäre kann durch die geodynamischen Effekte (Kon-tinentwachstum, Spreading) um einige Hundert Millionen Jahre verkürzt werden. Falls man die Biosphäre in dem Modell "abschaltet", so anorganische liefert der Regelmechanismus grundsätzlich Oberflächentemperaturen, die um etwa 3...5 grd höher liegen als bei gleichen Modellen mit Biosphäre.

# 5. GAIA - Hypothese und biologische Selbstregulation im System Erde

James Lovelock (siehe z.B. Lovelock, 1991) ist der Erfinder des Gaia-Prinzips: Für ihn ist die Erde selbst ein einziger großer Organismus, welcher nach der griechischen Erdgottheit als "Gaia" (Mutter der Erde) bezeichnet wird. Im Rahmen der Gaia-Hypothese gestaltet die Biosphäre aktiv ihre Umwelt und erzwingt einen sogenannten Zustand der Homöostasie, so daß günstige Bedingungen für die weitere Existenz der Biosphäre bestehen. Die von uns in den vorhergehenden Kapiteln mehrfach beschriebene relative Konstanz der Oberflächentemperatur des Planeten Erde wird nach Lovelock allein durch die Biosphäre garantiert (biologische Selbstregulation). Der Vergleich des Planeten Erde mit einem gewaltigen Organismus, wird auch als Geophysiologie bezeichnet und wurde bereits lange vor Lovelock von solchen Wissenschaftlern wie Empedokles aus Agrigent ("Ökonomie der Natur"), Hutton ("Erde als Superorganismus") und Vernadski ("Biogeochemie") diskutiert.

Zur Illustration der nichtlinearen Wechselwirkungen in einem einfachen geophysiologischen Modell wurde von Watson und Lovelock (1983) das Konzept einer "daisy world", das heißt einem Planeten der Gänseblümchen, entwickelt.

Die Autoren starten zunächst mit einem Planeten ohne Biosphäre, dessen Oberflächentemperatur als Funktion der Solarkonstanten S und der Albedo A durch Gleichung (3) beschrieben wird. Wenn auf diesem Planeten nun eine Biosphäre aus schwarzen und weißen Gänseblümchen existiert, dann wird die Albedo der schwarzen Pflanzen A<sub>1</sub> etwas geringer und die der weißen A<sub>2</sub> etwas größer als die mittlere Albedo sein.

$$A_1 < A < A_2 \tag{19}$$

Weiterhin wird noch angenommen, daß sich die auf 1 normierte Gesamtoberfläche des Planeten aus Flächen mit dunklen Pflanzen a<sub>1</sub>, Flächen mit hellen Pflanzen a<sub>2</sub> und einer noch unbewachsenen Restfläche x zusammensetzt:

$$a_1 + a_2 + x = 1 \tag{20}$$

Mit Hilfe von bekannten Gleichungen aus der Populationsdynarnik läßt sich die Vegetationsentwicklung der Spezies 1 und 2 als ein gekoppeltes System aus nichtlinearen Differentialgleichungen beschreiben (Carter und Prince, 1981):

$$da_1/dt = a_1 (x\beta - \gamma)$$
 (21)

$$da_2/dt = a_2(x\beta - \gamma)$$
 (22)

Dabei hängt die Wachstumsrate  $\beta$  von der jeweiligen "lokalen" Temperatur am Standort 1 bzw. 2 ab. Die Sterberate  $\gamma$  ist für beide Spezies gleich.

Bei der numerischen Lösung des Systems aus den Gleichungen (21) und (22) werden solche Lösungen gesucht, die das Klima des Modellplaneten (mittlere Temperatur T) und die Bestandsentwicklung der beiden Spezies bei veränderlicher Solarkonstante S beschreiben. Dies Ergebnisse sind in Abb. 10 dargestellt.

Diese Ergebnisse zeigen deutlich, daß im untersuchten Modellsystem die Biosphäre trotz veränderlicher Sonneneinstrahlung über große Bereiche eine nahezu konstante Oberflächentemperatur und damit einen Zustand der Homöostasie erzeugen kann. Ohne die Biosphäre würde sich die Oberflächentemperatur entlang der gestrichelten Linie entwickeln.

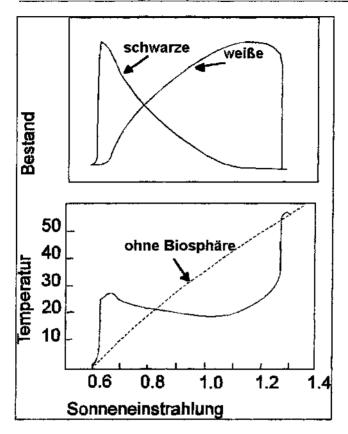


Abb. 10: Entwicklung der Bestände von schwarzen und weißen Gänseblümchen sowie der mittleren Oberflächentemperatur des Modellplaneten nach Lovelock (1991).

Trotz der relativ einfachen Gleichungen zur Beschreibung des "Gänseblümchenplaneten" zeigt das Modell in beeindruckender Weise den Mechanismus der selbstorganisierenden Rückkopplung zwischen der Biosphäre und der Oberflächentemperatur. Um die weitaus komplizierteren Verhältnisse im Ökosystem Erde besser zu berücksichtigen, wurde das hier vorgestellte Grundmodell durch Scheilnhuber und von Bloh (1993) in einer zweidimensionalen Version durch folgende Phänomene erweitert: Lateraler Wärmetransport, räumliche Variabilität der Vegetation, unbegrenztes Artenspektrum, Konkurrenz um Lebensraum, Samenbildung bzw. Keimung, Mutation. Die Ergebnisse von Schellnhuber und von Bloh zeigen, daß in dem fortgeschrittenen Modell der ho-

möostatische Grundeffekt sogar noch stärker ausgeprägt ist. Beim kontinuierlichen Anwachsen der dimensionslosen Solarkonstanten S beobachtet man eine rasche Verarmung des Artenspektrums und bei einem kritischen Schwellenwert von S=2,365 bricht die Biosphäre katastrophenartig zusammen. Wird der externe Umweltstreß (Solarkonstante) wieder kontinuierlich unter den kritischen Schwellenwert "gefahren", so tritt ein ausgeprägter Hystereseeffekt auf: Das Fließgleichgewicht zwischen Biosphäre und Klima stellt sich erst bei  $S\approx1,507$  wieder ein.

Die hier vorgestellten Ergebnisse von Schellnhuber und von Bloh (1993) zeigen, daß die Biosphäre eines Gänseblümchenplaneten in der Lage ist, externe oder intrinsische Störungen des geophysiolgischen Gleichgewichts auszugleichen; bei überschreiten kritischer Schwellenwerte für die Umweltbelastung bricht jedoch das Gesamtsystem zusammen und eine "Ausheilung" ist nur bei extrem niedrigen Werten der Parameter zur Beschreibung des Umweltstresses möglich.

## 6. Schlußfolgerungen

Das globale Ökosystem Erde besitzt die Eigenschaft einer selbststabilisierenden Rückkopplung bei einer langskaligen Veränderung der äußeren Beeinflussung dieses Systems in Form einer Änderung der Solarkonstanten. Eine Beschreibung dieses Systems erscheint zur Zeit nur mit Hilfe konzeptioneller Modelle sinnvoll, da es gilt, die Grundmechanismen der Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Komponenten zu verstehen. Aus der Sicht des Autors bietet die Kopplung von thermischen Evolutionsmodellen der Erde mit dem globalen Kohlenstoffkreislauf unter Einbeziehung einer von Temperatur und CO<sub>2</sub>-Partialdruck abhängigen Bioproduktivität die Möglichkeit zur Untersuchung sowohl abiotischer als auch biotischer Mechanismen der Selbstregulation.

Dabei zeigt sich (Tajika und Matsui, 1992; Franck et al. 1996), daß auch die anorganischen Komponenten Atmosphäre, Ozean, Kontinente, ozeanische Lithosphäre und Erdmantel allein in der Lage sind, das Klima des Planeten Erde über lange Zeiträume zu stabilisieren. Die Biosphäre verstärkt den Stabilisierungseffekt, ist aber nicht unbedingt notwendig.

Beim geophysiologischen Modell eines Gänseblümchenplaneten ist die Biosphäre alleinige Ursache der Klimastabiliserung. Aus der Sicht des Autors liefern derartige Modelle einen guten Einblick in die Mechanismen der Selbstregulation eines Ökosystems, für die Evolution des globalen Ökosystems Erde erscheint es jedoch zu vereinfacht, die grundsätzliche Wechselwirkung zwischen Biosphäre und den anorganischen Komponenten über die Albedo der Pflanzen zu modellieren.

Abschließend soll noch einmal festgestellt werden, daß trotz der Aussicht eines Absterbens der Biosphäre infolge einer zu geringen CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre in einigen Hundert Millionen Jahren, diese Ergebnisse nicht dahingehend interpretiert werden können, die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht zu verringern. Die große Trägheit des globalen Kohlenstoftkreislaufes ist gerade ein Argument dafür, daß das globale Ökosystem Erde durch anthropogene Beeinflussung in geologisch kurzen Zeitskalen sehr stark gestört werden kann.

# Danksagung

Der Autor möchte Herrn Dr.-Ing. M. Eisenreich herzlich für die Hilfe bei der Manuskriptgestaltung danken.

## Literaturverzeichnis

- Arrhenius, S., 1986. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. Philosophical Magazine and Journal of Science, Ser. 5; 237-276.
- Berner, R.A., Lasaga, A.C. und Garrels, R. M., 1983. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on the atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years.
- Am, J. Sci., 283: 641-683.
- Caldeira, K. und Kasting, J.F. 1992. The life span of the biosphere revisited. Nature, 360: 721-723.
- Carter, R.N. und Prince, S.D., 1981. Epidemic models used to explain biogeographical distribution limits. Nature, 213: 644-645.
- Franck, S. und Bounama, Ch., 1995a. Rheology and volatile exchange in the framework of planetary evolution. Adv. Space Res., 15, No.10: 79-86.
- Franck, S. und Bounama, Ch., 1995b. Continental growth and volatile exchange during Earth's evolution. Abstract XXI. IUGG-Generalversammlung, Boulder/USA, Veröffentlichung in Vorbereitung.
- Franck, S., Kossacki, K. und Bounama, Ch., 1996. Geodynamics and the life span of the biosphere. Abstract EGS-Generalversammlung, The Hague/Niederlande, Veröffentlichung in Vorbereitung
- Gilliland, R.L., 1989. Solar evolution. Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeocol. (Global and Planetary Change section), 75: 35-55.
- Gough, D.O., 1981. Solar interior structure and luminosity variations. Sol. Phys., 74: 21-34.
- Kasting, J., 1984. Comments on the BLAG model: the carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over past 100 million years. Am. J. Sci., 284: 1175-1182.

- Kasting, J., 1984. Comments on the BLAG model: the carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over past 100 million years. Am. J. Sci., 284; 1175-1182.
- Krumbein, W.E. und Schellnhuber, H.-J., 1992. Geophysiology of mineral deposits a model for a biological driving force of global changes through Earth history. Terra Nova, 4: 351-362.
- Lovelock, J.E. und Whitfield, M., 1982. Life span of the biosphere. Nature, 296: 561-563.
- Lovelock, J.E., 1989. Geophysiology, the science of GAIA. Rev. Geophys., 27: 215-222.
- Lovelock, J.E., 1991. Das Gaia-Prinzip. Die Biographie unseres Planeten (Übers. aus dem Englischen). Artemis Verlag Zürich und München.
- Ringwood, A.E., 1975. Composition and Petrology of the Earth's Mantle. McGraw-Hill, New York.
- Sagan, C. und Mullen, G., 1972. Earth and Mars: Evolution of atmospheres and surface temperatures. Science, 177: 52-56.
- Schellnhuber, H.-J. und von Bloh, W., 1993. Hombostase und Katastrophe: Ein geophysiologischer Zugang zur Klimawirkung. In: Schellnhuber, H.-J. und Sterr, H. (Ed.): Klimaänderung und Küste. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Solomatov, V.S., Leontjev, V.V. und Zharkov, V.N., 1987. Models of thermal evolution of Venus in the approximation of parameterized convection. Gerland Beitr. Geophysik, 96: 73-96.
- Staudacher, T. und Allègre, C.J., 1982. Terrestrical xenology. Earth Planet. Sci. Lett., 60: 389-406.
- Stevenson, D.J., Spohn, T. and Schubert, G., 1983. Magnetism and the thermal evolution of the terrestrial planets. Icarus, 54: 466-489.
- Stiller, H., Franck, S. und Orgzall, I., 1990. Planetary evolution of Mars. Adv. Space Res., 10: 115-119.
- Tajika E. und Matsui, T., 1992. Evolution of terrestrial proto-CO<sub>2</sub> atmosphere coupled with thermal history of the earth. Earth Planet. Sci. Lett., 113: 251-266.
- Taube, M., 1985. Evolution of Matter and Energy on the Cosmic and Planetary Scale. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Unsöld, A., 1967. Der neue Kosmos. Springer Verlag Berlin, Heidelberg.
- Walker, J.C.G., Hays, P.B. und Kasting, J.E., 1981. A negative feedback mechanism for the long-term stabilisation of Earth's surface temperature. J. Geophys. Res., 86: 9776-9782.
- Watson, A.J. und Lovelock, J.E., 1983. Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. Tellus, 35B: 284-289.

G. G. Devjatych

# Zur Chemie anorganischer Reinststoffe\*

Ein wissenschaftlicher Begriff vom Reinheitsgrad eines Stoffes entstand in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zusammen mit der endgültigen Anerkennung der atomistischen Theorie des Stoffaufbaus. D. I. Mendeleev schreibt in seiner Arbeit "Grundlagen der Chemie", die in den Jahren 1869 bis 1871 entstand: "Die Chemie untersucht hauptsächlich einzelne Reinststoffe und beschreibt deren Eigenschaften und Reaktionen".

Schon frühzeitig wurde die Wichtigkeit der Erzeugung reiner Stoffe erkannt. Der Begründer der weltbekannten deutschen Firma E. Merck schrieb im Jahre 1851: "Ich garantiere die Reinheit aller meiner Reagenzien und trage die ganze Verantwortung für jeden unerwünschten Effekt, der mit Verunreinigung verbunden werden kann".

Im breiten Sinne versteht man unter dem Begriff Reinststoffe solche Stoffe und Materialien, in denen der Gehalt an Verunreinigungen wesentlich niedriger ist als in den Stoffen, mit denen wir täglich zu tun haben. In der Reinststoffchemie verwendet man gewöhnlich für die Bezeichnung der Verunreinigungskonzentration die Fachausdrücke part pro million (ppm), was einem Wert von  $10^{-6}$  des Molenbruchs einer Verunreinigung entspricht, part pro billion (ppb,  $10^{-9}$  des Molenbruches), part pro trillion (ppt,  $10^{-12}$  des Molenbruchs). Unter dem Begriff Molenbruch einer Verunreinigung (m.b.) versteht man das Verhältnis der Molzahl einer Verunreinigung  $n_v$  zur Gesamtmolzahl  $n_g$  aller Komponenten, die sich in der gegebenen Menge eines Stoffes befinden (m.b. =  $n_v / n_v + n_g$ ).

Die quantitative Charakteristik des Begriffes "reiner Stoff" verändert sich mit der Zeit. Heutzutage gilt als Reinststoff ein solcher Stoff, in dem der Gesamtgehalt an Verunreinigungen nicht größer als 1 ppm ist (bei der Konzentration einzelner Verunreinigungen tausendmal niedriger). Da die Zusammensetzung eines Stoffes neben Temperatur und Druck zu seinen Hauptparametern gehört, sollte für eine genaue Betrachtung stets der hochreine Zustand herangezogen werden.

Vortrag, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 15. Dezember 1994

Der Inhalt der Chemie der Reinststoffe ist bestimmt vom Komplex der Fragen und Probleme, die mit der Erzeugung, Analyse, Untersuchung der Eigenschaften sowie mit der praktischen Verwendung der Stoffe mit äußerst niedrigem Gehalt an Verunreinigungen verbunden sind. Die Entwicklung des Sortiments an Reinststoffen im Laufe der Zeit ist in Abb. 1 dargestellt.

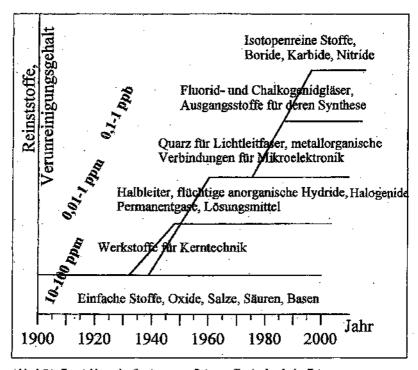


Abb. 1 Die Entwicklung des Sortiments an Reinststoffen im Laufe der Zeit

In den 40er Jahren dieses Jahrhunderts bildete sich die erste Entwicklungsstufe der modernen Reinststoffchemie heraus, als im Zusammenhang mit Untersuchungen zu physikalisch-chemischen Eigenschaften von Materialien (darunter einfache Stoffe, Oxide, Salze, Basen) die Konzentrationen einzelner Verunreinigungen auf das Niveau 10 bis 100 ppm gesenkt wurden bei einem Gesamtgehalt von 1000 ppm.

Eine neue Etappe in der Herstellung reiner Stoffe ist mit der intensiven Entwicklung der Atomphysik, Festkörperphysik und Optik und mit der Schaffung neuer Techniken innerhalb dieser Wissenschaftszweige verbunden. Es stellte sich heraus, daß die Wechselwirkung der Kernstrahlung mit einzelnen Stoffen als auch das Verhalten der Ladungsträger in Festkörpern empfindlich vom Verunreinigungsgehalt abhängen und die physikalisch-chemischen Eigenschaften eines Stoffes stärker bestimmen als intermolekulare Wechselwirkungen. Wie damals durchgeführte sowie moderne Untersuchungen zeigen, werden bestimmte Kern-, elektrophysikalische und optische Eigenschaften eines Stoffes nur bei Senken des Verunreinigungsgehaltes auf 0,01 ppm bis 0,01 ppb erreicht, in einigen Fällen sogar bei noch niedrigerer Konzentration. Diese Verunreinigungen werden limitierende genannt, da ihr Gehalt die Tauglichkeit eines Stoffes zum angestrebten Verwendungszweck bestimmt.

Für die Halbleiterelektronik und die Kerntechnik waren Stoffe einschließlich verwendeter chemischer Reagenzien mit einem Niveau an limitierenden Verunreinigungen von 0,01 bis 1 ppm und manchmal auch noch darunter erforderlich. Solche Materialien wurden erstmals offiziell Reinststoffe genannt und in den 50er Jahren hergestellt. Der Gesamtgehalt an Verunreinigungen in diesen Stoffen konnte 100 ppm einschließlich nicht limitierender Fremdstoffe betragen.

Die Entwicklung der Faseroptik erforderte die Herstellung von Quarzglas und einer Reihe anderer Materialien mit Konzentrationen an limitierenden Verunreinigungen von 1 ppb. In den letzten Jahren zeigt sich ein großes Interesse an Lichtleitfasern aus Fluorid- und Chalkogenidgläsern, was zu einer neuen Erweiterung des Sortiments an Reinststoffen und Materialien mit erhöhter Forderung für den Verunreinigungsgehalt von 0,1 bis 1 ppb führte.

In der letzten Zeit entstand ein Bedarf an hochreinen Boriden, Karbiden und Nitriden. Immer häufiger erscheinen auch wissenschaftliche Berichte über interessante Eigenschaften von isotopenreinen Stoffen. Es zeigte sich z.B., daß die Wärmeleitfähigkeit eines isotopenreinen Diamanten (Gehalt an <sup>12</sup>C 99,93 %) 50 % höher liegt als die Wärmeleitfähigkeit eines Naturdiamanten (Gehalt an <sup>12</sup>C 99 %). Aus den Arbeiten zur Herstellung eines einkristallinen <sup>28</sup>Si wird erwartet, daß durch Messung der Gitterperiode in diesem Material die Avogadrosche Zahl genauer bestimmt werden kann als durch andere Methoden.

Aus Abb. 1 folgt, daß die Erhöhung des Reinheitsgrades zur Entdeckung neuer Eigenschaften der Stoffe führt und zu einer besseren Ausprägung schon bekannter Eigenschaften. Das sind Grundlagenaspekte der Reinststoffchemie, mit denen sich unsere Kenntnisse über die Materie erweitern.

Ende der 70er Jahre entstanden neue Forderungen an den Reinheitsgrad bestimmter Stoffe. Nicht nur die limitierenden Verunreinigungen, sondern alle Fremdstoffe sollten auf ein möglichst niedriges Niveau gesenkt werden. Damit ist das Bestreben verbunden, echte Stoffeigenschaften festzustellen, die nicht durch Verunreinigungen maskiert sind, und Materialien zu erhalten, deren Eigenschaften keine Veränderungen mit der Zeit erfahren. Das ist die heutige Situation der Reinststoffchemie.

Auf dieser Basis finden mehr als 2000 hochreine Stoffe und Materialien Verwendung als Halbleiter, als Materialien für die Mikroelektronik und Elektronentechnik, als Werkstoffe für die Kerntechnik, auch optische Materialien sowie chemische und biochemische Reagenzien zählen dazu. Praktisch alle Klassen an chemischen Verbindungen sind in dieser Hinsicht gefragt (Elementarstoffe, Oxide, Säuren, Basen, flüchtige anorganische Hydride, Halogenide, metallorganische Verbindungen usw.).

Innerhalb jeder Kategorie der Materialien kann man Gruppen mit enger Zweckbestimmung hervorheben. Zum Beispiel unterteilt man optische Materialien in Stoffe für Faseroptik, Lasermaterialien und Substanzen für optische Medien. Im Rahmen jeder Gruppe gibt es Materialien, die eine führende Stellung einnehmen, so Si, Ge, GaAs in der Halbleitertechnik und Mikroelektronik, Quarzglas in der Faseroptik.

Die zur Zeit geltenden Anforderungen an den Verunreinigungsgehalt in hochreinen Materialien sind meistens experimentell festgelegt (Tabelle 1). Die zulässige Konzentrationsgrenze an elektroaktiven Verunreinigungen liegt für Halbleiter bei 0,1 ppb. An Gesamtverunreinigungen werden für diese Gruppe 0,1 bis 10 ppb erlaubt.

Die Technologie der Halbleiterelemente und Erzeugnisse für die Mikroelektronik ist mehrstufig und sieht die Verwendung zahlreicher chemischer Reagenzien, Lösungsmittel und Gase vor. Nach Kontaktierung mit ihnen können sich auf der Oberfläche eines Reinststofferzeugnisses Verunreinigungen (z. B. durch Adsorption) abscheiden, die sich im weiteren in das Volumen des Materials einlagern. Deshalb muß die Konzentration der limitierenden Verunreinigungen in den Hilfsmaterialien genau so niedrig wie im Grundstoff oder sogar noch niedriger sein. So läßt man in Reinstsäuren und -alkalien 20 bis 30 Verunreinigungen zu, dabei 60 bis 80 % auf einem Niveau von 1 ppb.

Tabelle 1 Anforderungen an den Reinheitsgrad von Reinststoffen

Stoffe	Verunreinigungen	Gehalt an limi- tierenden Verun- reinigungen
Halbleiter	elektroaktive Verunreinigungen	0.1 ppb
Säuren, Alkalien	Metalle	1 ppb
Flüchtige anorga- nische Hydride, Halogenide, metallorganische Verbindungen	Nichtflüchtige Verbindungen der Metalle Wasser Kohlenwasserstoffe	0.1 ppb 1 ppm 0.1 - 1 ppm
Quarz- und Fluoridgläser	Färbende Verunreinigungen (Fe, Ni,) OH-Gruppen	0.1 - 1 ppba 10 ppb
Chalkogenidgläser	Metalle Si H C, O	<10 ppb 0.1 - 1 ppb <0.1 ppm

Flüchtige Verbindungen der Elemente, die für die Herstellung hochreiner Materialien und Epitaxieschichten (darunter Hydride, Halogenide, metallorganische Verbindungen) verwendet werden, müssen minimale Konzentrationen an nichtflüchtigen Metallverbindungen, Wasser und Kohlenwasserstoffen aufweisen.

Unter den verschiedenen optischen Materialien werden die höchsten Anforderungen an Materialien für Faseroptik gestellt. In Siliciumdioxid für Lichtleitfasern mit niedrigen optischen Verlusten muß der Gehalt an

"färbenden" Verunreinigungen (Eisen-, Nickel-, Chromverbindungen und einer Reihe anderer Elemente) weniger als 0,1 bis 1 ppb und der Gehalt an OH-Gruppen weniger als 10 ppb betragen. Überschreitung dieser Grenzen führt zur bedeutenden Vergrößerung optischer Verluste. Noch mehr einschränkende Anforderungen werden an Fluorid- und Chalkogenidgläser für Faseroptik gestellt.

Die Forderungen an hochreine Materialien für die Industrie erweitern sich sowohl in Richtung auf eine Sortimentsvergrößerung als auch auf eine Erhöhung des Umfangs kontrollierbarer Verunreinigungen und die Herabsetzung ihrer Konzentrationsgrenzen.

Unter den Anforderungen an hochreine Materialien nimmt in den letzten Jahren die Homogenität einen besonderen Platz ein, die meistens mit dem Gehalt an Spurenelementen verbunden ist. Die in den 70er Jahren durchgeführten Untersuchungen machten auf eine neue Klasse an Verunreinigungen aufmerksam: schwebende Teilchen von Mikron- und Submikrongröße. Diese Teilchen bestehen aus Verbindungen, die sich in dem Material nicht lösen. Ihr Verhalten kann sich während der Feinreinigung wesentlich vom Verhalten der im Grundstoff gelösten Teilchen unterscheiden. In flüssigen Reinststoffen, die speziell nicht von schwebenden Teilchen gereinigt sind, kann der Gehalt an letzteren 10<sup>-6</sup> pro Milliliter und höher betragen. Die schwebenden Teilchen sind äußerst unerwünschte Verunreinigungen in Halbleiter- und optischen Materialien. In Hilfsreagenzien (Gase, Lösungsmittel, Ätzlösungen) muß der Gehalt an schwebenden Teilchen extrem niedrig sein, damit sich der Gehalt an Mikroheterogen-Einschlüssen nach dem Kontakt dieser Reagenzien mit der Oberfläche eines Reinststoffes nicht vergrößert. Ein aktives Element mit einem solchen Einschluß kann sich als nicht funktionsfähig erweisen, was bei der sehr hohen Bauelementendichte in Erzeugnissen der modernen Mikroelektronik zu größeren Störungen führt.

Es ist besonders zu betonen, daß die zulässige Konzentration der Verunreinigungen im Endprodukt vorhanden sein muß. Daher ist es sinnvoll, eine Komplexanalyse des gesamten technologischen Prozesses zu betrachten und nicht nur die Erhöhung der Anforderungen an die Reinheit der Ausgangsmaterialien festzulegen. Eine Anreicherung von Verunreinigungen im Endprodukt wird damit unterbunden.

Es gibt zwei Produktionswege für Reinststoffe. Der erste ist die Hochreinigung eines Stoffes selbst, der zweite die Darstellung eines Reinststoffes durch Zersetzung einer flüchtigen Verbindung. Den zweiten Weg wählt man dann, wenn die direkte Hochreinigung eines Materials wegen hoher Schmelz- und Siedetemperatur Schwierigkeiten bereitet.

Die Grundverfahren der Hochreinigung sind Destillation und Kristallisation. Man verwendet diese Methoden für die Hochreinigung flüchtiger Verbindungen, aus denen später einfache oder zusammengesetzte Festkörper abgeschieden werden.

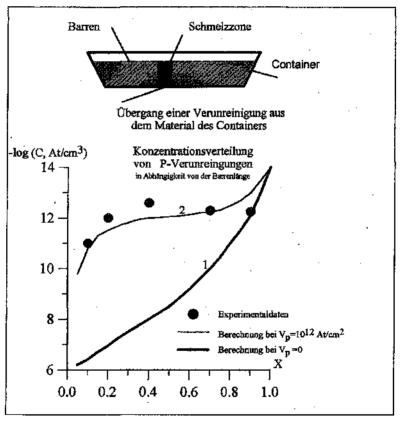


Abb. 2 Das Schema der Zonenumkristallisation unter Berücksichtigung des Überganges von Verunreinigungen aus dem Container

Die Effektivität einzelner Hochreinigungsmethoden kann durch den Übergang von Verunreinigungen aus dem Material der Apparatur stark begrenzt werden. Abbildung 2 zeigt die Verteilung von Verunreinigungen in Abhängigkeit von der Ge-Barrenlänge beim Zonenschmelzen.

Kurve 1 wurde berechnet ohne Berücksichtigung des Übergangs von P-Verunreinigungen aus dem Material des Containers. Kurve 2 folgt aus einer Berechnung mit einer angenommenen Übergangsgeschwindigkeit von 10<sup>12</sup> Atomen P/cm<sup>2</sup>. Man kann sehen, daß der Übergang der P-Verunreinigungen die Ergebnisse der Ge-Reinigung um 3 bis 4 Größenordnungen verschlechtert.

Die Besonderheit der Verunreinigungswirkung der Apparatur besteht darin, daß die Verlängerung der Apparatur in Achsenrichtung mit beabsichtigter Erhöhung des Trennvermögens nicht die Konzentration der Verunreinigung im Endprodukt erniedrigt.

Tabelle 2
Das Verhältnis von Al- und Cu-Verunreinigungen in verschiedener
Form in Reinstgermanium

Verun- reini- gung	Atmosphäre der Züchtung	Gesamt- gehalt	elektroakti- ver Teil	elektroaktiver Teil/Gesamt- gehalt
Al	H <sub>2</sub>	8 · 10 <sup>13</sup>	4 · 10 <sup>12</sup>	0.05
Cu	H <sub>2</sub>	4 - 1012	1.3 · 10 <sup>10</sup>	0.003
Cu	Vakuum	4 · 10 <sup>11</sup>	1 · 1010	0.025

Die Verunreinigungen in Reinststoffen kommen in verschiedenen Formen vor. Aus dem Vergleich der Analysenergebnisse folgt, daß im Reinstgermanium, hergestellt im Kontakt zu Quarzglas, das Verhältnis von Aluminium in elektroaktiver Form zu Gesamtaluminium etwa 1:20 beträgt. Noch kleiner ist dieses Verhältnis für Kupfer. Beim Glühen führen elektroaktive Kupfer-Wasserstoff-Komplexe zunächst zu einem elektroaktiven Kupfer in Form einer Substitutionsstörstelle, die dann in eine nicht elektroaktive Form übergeht.

Zur Beurteilung des heutigen Niveaus für den Reinheitsgrad der Stoffe ist festzustellen, daß der objektive Vergleich des Reinheitsgrades verschieder Stoffe ziemlich schwierig ist und nur im Rahmen der statistischen Behandlung der Gesamtkonzentrationsbestimmung in einem Stoff

möglich wird. Dabei wird ein Histogramm der Verteilung von Verunreinigungen als Funktion der Konzentration in einem analysierten Stoff dargestellt (Abb. 3). Dieses Histogramm zeigt, welcher Teil der Verunreinigungen in einem bestimmten Konzentrationsbereich liegt. Als Verteilungsgrößen gelten ein mittlerer Konzentrationswert (log C), der angibt, wie der Gehalt an Grundverunreinigungen ist, und außerdem eine Verteilungsdispersion, aus der die Streuung der Verunreinigungen in Abhängigkeit von der Konzentration hervorgeht. Aus den Verteilungsparametern ergibt sich die Gesamtkonzentration der Verunreinigungen in einem Stoff. Aus Abb. 3 ist zu ersehen, daß für diese Probe von hochreinem Zinn etwa 30 Verunreinigungen bestimmt wurden. Ihr Konzentrationsmittelwert liegt bei 0,1 ppm. Die Streuung des Verunreinigungsgehaltes zu diesem Mittelwert beträgt etwa eine Größenordnung.

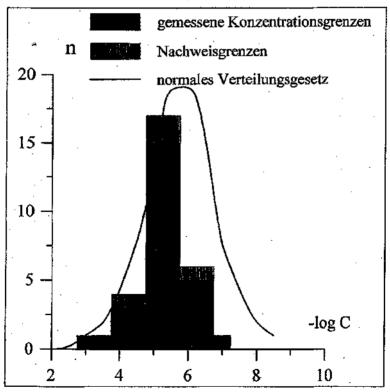


Abb. 3 Die Verteilung von Verunreinigungen in Abhängigkeit von der Konzentration im Reinstzinn

Tabelle 3 Die Ausstellung von Reinststoffen im Institut für Chemie hochreiner Materialien der Russischen Akademie der Wissenschaften in Nishnij Novgorod

Stoffklasse	Gesamtmenge der repräsentierten Stoffproben	Menge der repräsentierten Stoffproben
Einfache Stoffe, darunter:	345	75
Festkörper	316	68
Gase	19	7
Standardproben	10	6
Flüchtige Verbindenen, darunter:	136	65
Halogenide	76	27
Hydride	17	7
metallorganische Verbindungen	39	29

Anzahl der durchgeführten Analysen: 1493 Anzahl der Analysenergebnisse: 37336

Der Reinheitsgrad der in den GUS-Ländern produzierten Reinststoffe geht aus den Angaben zur ständigen Ausstellung von Reinststoffen im Institut für Chemie hochreiner Materialien der Russischen Akademie der Wissenschaften (Nishnij Novgorod) hervor. Diese Daten stammen von Reinststoffen, die im wesentlichen unter Laborbedingungen hergestellt wurden. Zur Zeit verfügt die Ausstellung über mehr als 500 Versuchsproben und gewährleistet eine ständige Kontrolle des Untersuchungsstandes zum Problem der Reinststoffe in unserem Lande sowie einen

Vergleich mit dem Niveau der Reinststoffproduktion und -analyse im Ausland.

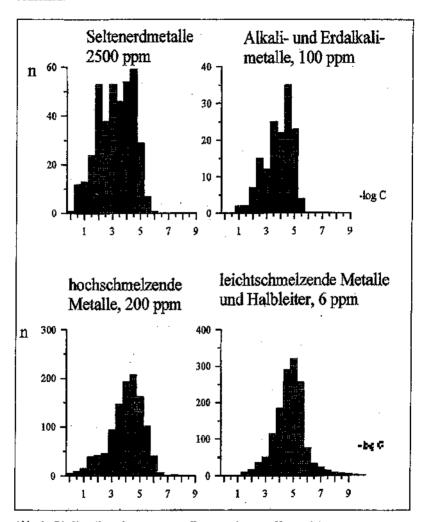


Abb. 4 Die Verteilung der gemessenen Konzentrationen an Verunreinigungen

Abb. 4 zeigt die Verteilung der Verunreinigungen als Funktion der Konzentration in verschiedenen Gruppen von Elementen. Die Gesamtkonzentration der Verunreinigungen in Seltenerdmetallen beträgt durchschnittlich 2500 ppm, in Alkali- und Erdalkalimetallen 100 ppm, in

hochschmelzenden Metallen (mit einer Schmelztemperatur höher als 1200 °C) 200 ppm.

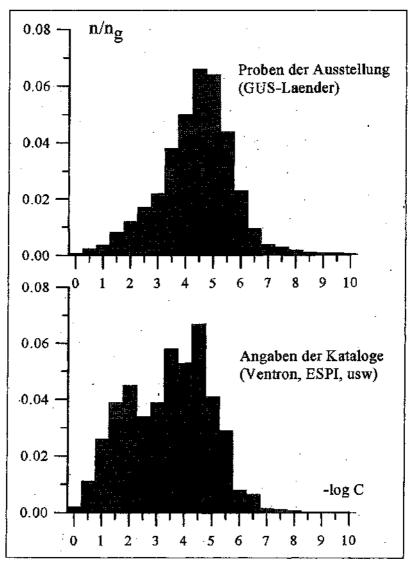


Abb. 5 Die Verteilung der Konzentration von Verunreinigungen bei einfachen Festkörpern

In Elementarleitern und leichtschmelzenden Elementarstoffen liegt die Gesamtkonzentration der Verunreinigungen bei ca. 6 ppm. Als ein höchstreiner Stoff unter den Elementen gilt Germanium, bei dem 5 Verunreinigungen mit einer Gesamtkonzentration von 0,1 ppm bestimmt wurden. Berücksichtigt man aber die Konzentration jedes von restlichen 45 Elementen entsprechend der jeweiligen Nachweisgrenze, so erreicht die Gesamtkonzentration 5 ppm.

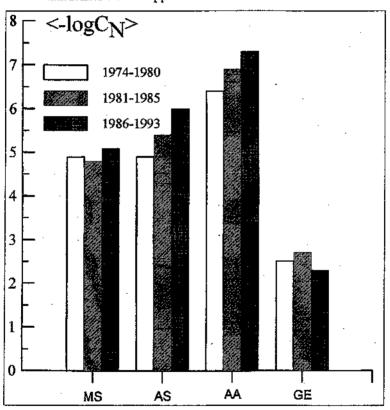


Abb. 6 Die Dynamik der Nachweisgrenzen an Verunreinigungen in Reinststoffen. Analysenmethoden der einfachen Festkörper

MS - Massenspektroskopie

AS - Atomspektroskopie

AA - Aktivierungsanalyse

GE - Analysenmethoden für gasbildende Elemente

Ein Vergleich der Reinheitsgrade von Stoffen im In- und Ausland ergibt sich aus Abb. 5. Oben wird ein Histogramm der Verteilung von Verun-

reinigungen in einfachen Stoffen aus der Ausstellung der Reinststoffe in Nishnij Novgorod, unten nach Angaben der Kataloge ausländischer Firmen (hauptsächlich VENTRON, ESPI) gezeigt.

Es ist zu sehen, daß ein Teil der Verunreinigungen mit hohem Gehalt in den Ausstellungsproben etwas niedriger liegt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Ausstellungsproben hauptsächlich unter Laborbedingungen erzeugt wurden und in den Katalogen der ausländischen Firmen die Warenproduktion dargestellt ist.

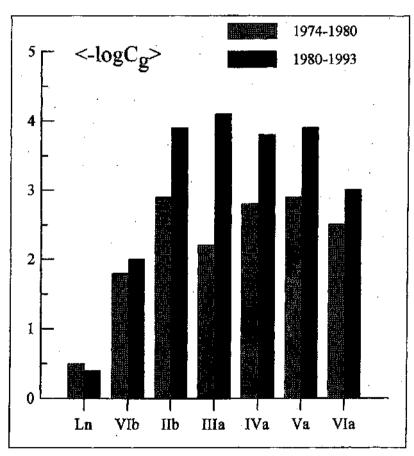


Abb. 7 Die Zeitabhängigkeit der Gesamtkonzentration an Verunreinigungen in einfachen Festkörpern bei Nebengruppen des Periodensystems

Die Daten der Ausstellung ermöglichen es, die Zeittendenzen der Entwicklung hochempfindlicher Analysenmethoden in den letzten 20 Jahren zu beurteilen. Aus Abb. 6 geht hervor, wie sich die Werte der Nachweisgrenzen verschiedener Analysenmethoden veränderten. Außer bei Massenspektrometrie und der Analyse für gasbildende Elemente, die auf gleichem Stand blieben, haben sich die Nachweisgrenzen bei Atomspektroskopie und Aktivierungsanalyse um eine Größenordnung verbessert, bei der Gaschromatographie überstreicht die Verbesserung eine bis zwei Größenordnungen. In Spektralmethoden wurde dieser Fortschritt mit der Entwicklung von Anreichungsmethoden bei niedrigem Hintergrund, in der Gaschromatographie mit der Verwendung neuer Detektoren sowie der Kapillarchromatographie, in der Aktivierungsanalyse mit dem Einsatz von Hochflußreaktoren erreicht.

Abb. 7 stellt die Erhöhung des Reinheitsgrades einfacher Festkörper für eine Reihe von Nebengruppenelementen des Periodensystems dar. Für reine Stoffe der Nebengruppen IIb, IIIa bis VIa ist eine größere Veränderung des Reinheitsgrades ersichtlich.

Die Perspektiven der Entwicklung der Reinststoffchemie werden durch drei Faktoren beschrieben: N = Menge der Stoffe in hochreinem Zustand; n = Mittelwert der zu kontrollierenden Verunreinigungen in diesen Stoffen; C = Mittelniveau der Konzentration von Verunreinigungen. Für die Beurteilung der Entwicklung der Reinststoffchemie wollen wir deren Entwicklungsindex einführen, der nach

#### Index = Nn/C

berechnet wird. Dieser Index ist umso größer, je höher die Menge der in hochreinem Zustand erzeugten Stoffe und der zu kontrollierenden Verunreinigungen ist und je niedriger die Mittelwerte der Verunreinigungskonzentrationen liegen.

Abb. 8 zeigt Indexwerte im Laufe dieses Jahrhunderts nach Literaturdaten. Für intensiv entwickelte wissenschaftliche Disziplinen ist ein lineares Wachstum des Indexes in halblogarithmischen Koordinaten charakteristisch. Das gilt auch für die Reinststoffchemie, die in drei Etappen zu gliedern ist. Die erste umfaßt die Jahre, als die quantitativen Daten über den Reinheitsgrad der Reagenzien nicht erwähnt wurden (Bücher von Korenblit und Merck). Die zweite Etappe (Bücher von Karjakin) umfaßt die Periode, in der die Nachschlagwerke quantitative Daten des Reinheitsgrades bereits enthalten. Die letzte Etappe beginnt in den 60er Jahren und ist gekennzeichnet durch verschiedene technische Zweckbe-

stimmungen von Reinststoffen und einer Erweiterung des Sortiments. Von diesem Zeitpunkt an beginnt die moderne Geschichte der Reinststoffchemie. Die Entwicklung der Reinststoffchemie bestimmt in vielen Fällen das moderne Tempo und Niveau des wissenschaftlich-technischen Fortschrittes.

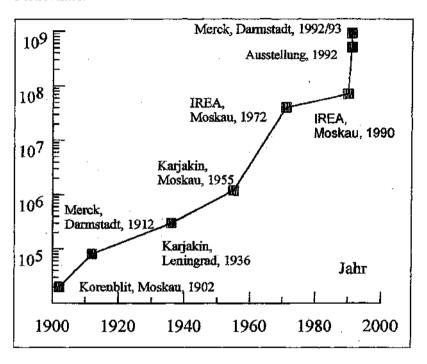


Abb. 8 Index der Entwicklung der Reinststoffchemie n - Mittelwert an Verunreinigungen

N - Mittelwert an Reinststoffen

C - Mittelkonzentration an Verunreinigungen

Die schnelle Realisierung der industriellen Fertigung eines Reinststoffes ist immer mit großen Schwierigkeiten verbunden. Zunehmend werden für die Durchführung eines technologischen Prozesses Stoffe gefordert, deren Eigenschaften noch wenig erforscht sind. Es muß auch betont werden, daß die Produktion der Reinststoffe investitionsintensiv ist. Die Kosten für die Einheit eines Betriebsraumes zur Produktion von Reinststoffen sind etwa 5 bis 10mal höher als für herkömmliche Betriebsräume.

Die weitere Entwicklung der Reinststoffchernie wird zu einer höheren Spezialisierung führen. Die Darstellung immer reinerer Stoffe wird zunehmend komplizierter und spezifischer. Es ist zu erwarten, daß sich die Anzahl der Betriebe in der Reinststoffindustrie erhöht. Ein Teil dieser Betriebe wird sich in einer Kleinproduktion auf die Herstellung weniger chemischer Klassen von Verbindungen spezialisieren. Diese Betriebe müssen zu einer schnellen Technologieänderung fähig sein. Zur Zeit werden in der Welt Reinststoffe von etwa 200 Firmen produziert.

Erforderlich ist auch eine Spezialisierung und Verbesserung der Apparaturen für die Reinststofferzeugung mit Konstruktionsmaterialien, die selbst hochrein sind. Ein Teil der Prozesse muß im Hoch- und Ultrahochvakuum durchgeführt werden unter Bedingungen, die eine Kontaktierung des zu reinigenden Stoffes mit der Apparatur möglichst gering halten. Die Lösung dieser komplizierten Probleme wird den Fortschritt auf dem Gebiet der Reinststoffproduktion bestimmen.

#### Literatur

- Mendeleev, D. I., Grundlagen der Chemie, Gesammelte Werke, Band 13, 14, Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Leningrad-Moskau 1949 (in Russisch)
- Korenblit, A. I., Chemische Reagenzien, deren Darstellung, Eigenschaften, Pr
  üfung und Verwendung, 2. Auflage, Moskau 1902 (in Russisch)
- Merck, E., Prüfung der chemischen Reagenzien auf Reinheit, 2. Auflage, Darmstadt 1912
- Karjakin, Ju. V., Reine chemische Reagenzien. Anleitung zur Vorbereitung der anorganischen Pr\u00e4parate unter Laborbedingungen, Abteilung f\u00fcr wissenschaftlich-technische Information, Leningrad 1936 (in Russisch)
- Merck, E., Reagents, Diagnostics, Chemicals, 1992/93
- Devjatych, G. G., Yankov, S. V., 1994: Die ständige Ausstellung der Reinststoffe, Nachrichten der Akademie der Wissenschaften, Chemische Reihe, Heft 8, S. 1512 - 1520 (in Russisch)
- Goldina, O. A., Kuznetsova, Ju. S., Ivanova, T. G., Chemische Reagenzien und Reinststoffe, Katalog, Verlag Chemie, Moskau 1990 (in Russisch)

# Das erste Jahrbuch der BBAW

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (vormals Preußische Akademie der Wissenschaften). Jahrbuch 1992/93. Berlin: Akademie Verlag, 1994. 380 Seiten, 98 DM

Jahrbücher von Akademien der Wissenschaften haben in der Regel den Reiz von Telephonbüchern: nützlich, um eine gewünschte Information zu erhalten, aber ansonsten etwas wenig Handlung und, was die Routine der Festvorträge und Jahrestagsansprachen betrifft, rhetorisch meist ermüdend. Nun, das hier zu besprechende unterscheidet sich deutlich von diesem Muster, denn hier wird zumindest ausschnittsweise die (Wieder-) Entstehung einer Akademie präsentiert, ein Prozeß, den Wissenschaftshistoriker nach Ablauf der Sperrfristen der Archive in 30 Jahren sicherlich mit Vergnügen ausführlicher rekonstruieren werden als es hier möglich ist.

Zur Erinnerung: Nach dem Beitritt der DDR zur BRD im Oktober 1990 existierten in Berlin zwei Akademien der Wissenschaften, deren Existenz und Probleme in den Medien ausgiebig verhandelt wurden, sowie eine dritte, deren Dasein doch einige Überraschung auslöste: die Preußische Akademie der Wissenschaften.

Es war offensichtlich, daß die Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) als Gelehrtengesellschaft, also ohne ihre vier Dutzend Institute, weiterhin existierte: allerdings angeschlagen und, wie sich zeigte, trotz quälender Selbstfindungs- und Restrukturierungsprozesse unfähig, struktur- und insbesondere personalwirksame Maßnahmen durchzuführen, die einen Übergang in die durch westdeutsch geprägte Parameter bestimmte Zukunft ermöglichen könnten. Eine Auseinandersetzung mit der eigenen Vergangenheit blieb in Ritualen stecken; daß seit 1951 kein Akademiemitglied ohne das ausdrückliche Placet der Abteilung Wissenschaften des Zentralkomitees der SED oder deren nachgeordnete Instanzen gewählt werden konnte und wurde, dieser Mechanismus des Innenlebens der Akademie wurde nicht einmal angesprochen. Gegen die Empfehlungen der Stadtverordnetenversammlung von Berlin (Ost) und des Abgeordnetenhauses von Berlin (West), die AdW als maßgebend nach

politischen Kriterien zusammengesetzte Körperschaft in ihrer personellen Zusammensetzung aufzulösen, wußte sich die AdW nur dadurch zur Wehr zu setzen, daß sie ihre ungebrochene preußische Tradition seit der von Leibniz veranlaßten Gründung der Kurfürstlich Brandenburgischen Societät der Wissenschaften im Sommer des Jahres 1700 zu mobilisieren versuchte und eine Selbstevaluation inszenierte. Der im Art. 38, 2 des Einigungsvertrags enthaltene Passus, daß es Landessache sei, über das "Wie" der Weiterführung der AdW zu beschließen, interpretierten die Akademiemitglieder als Garantie dafür, daß die AdW - wie auch immer reformiert - der Grundstock der künftigen in Berlin ansässigen Akademie der Wissenschaften sein würde. Diese Auffassung erwies sich jedoch als Irrtum,

Aber damit nicht genug: das Land Berlin (West), östlich des Brandenburger Tores damals hochoffziell als "Besondere politische Einheit Westberlin" gehandelt, hatte sich angesichts des beiderseits des Tores ausgiebig gefeierten (und dennoch fiktiven) 750jährigen Stadtjubiläums im Jahre 1987 die Akademie der Wissenschaften zu Berlin (AWB) geschenkt, d.h. durch Gesetz gegründet, übrigens ohne jeden Bezug zur Preußischen Akademie der Wissenschaften: Die AWB war das Ergebnis eines jahrelangen Diskussionsprozesses über eine innovative wissenschaftliche Institution mit internationaler Ausstrahlung in der auch von der wissenschaftlichen Provinzialisierung bedrohten Halbstadt. Die AWB verstieß aus diesen Gründen gegen einige zentrale wissenschaftsorganisatorische Selbstverständlichkeiten, auf die sich die westdeutschen Akademien verständigt hatten: so verzichtete die AWB auf die übliche regionale Begrenzung ihrer Ordentlichen Mitglieder, teilte sich nicht in Klassen und etablierte als Normalfall der wissenschaftlichen Arbeit zeitlich befristete, interdisziplinär zusammengesetzte Arbeitsgruppen statt der üblichen für die mittlere Ewigkeit konzipierten Langzeitvorhaben. Allerdings waren bereits während des Gründungs- und Konstituierungsprozesses der AWB Sinn, Zweck und Zusammensetzung der Akademie politisch umstritten und innerhalb der launenhaften West-Berliner politischen Strömungen nicht solide abgesichert. Nach den Wahlen zum Abgeordnetenhaus, die zur Bildung eines "rot-grünen" Senats führten, einigten sich die Koalitionspartner zwar auf wenig, aber immerhin auf den kleinsten gemeinsamen Nenner, nämlich darauf, die AWB ersatzlos aufzulösen - ohne Evaluation. Das entsprechende Gesetz vom Juli 1990 legte die Auflösung der AWB zum Jahresende 1990 fest. Der Versuch der AWB als Körperschaft und mehrerer ihrer Mitglieder, die Auflösung durch juristische Schritte bis zur Klärung der

Verfassungsmässigkeit des Gesetzes aufzuschieben, scheiterte im Dezember 1990.

Inzwischen war allerdings eine dritte Berliner Akademie auf der Bühne erschienen: die Preußische Akademie der Wissenschaften (PrAW). Im Dezember 1990 wurde in einem Artikel in der Zeitung "Die Welt" darauf aufmerksam gemacht, daß nach offiziellem West-Berliner Verständnis die PrAW noch "irgendwie" existiere. Das war ein alter Streitpunkt zwischen der DAW/AdW und den West-Berliner Instanzen, der allerdings bislang und wohl auch bewußt ungeklärt geblieben war. Nach bislang üblichem Verständnis hatte die PrAW seit 1945 mangels Preußischer Staatlichkeit dem Magistrat von Berlin unterstanden. Sie - oder die kleine Schar von Mitgliedern, die sich noch in Berlin aufhielten und eine erste, sehr großzügige Entnazifizierungsrunde überlebt hatten - hatte ihre Bezeichnung im Dezember 1945 in Akademie der Wissenschaften zu Berlin verändert. Und auf Grund eines Befehls der Sowjetischen Militäradministration in Deutschland (SMAD), deren Zuständigkeit für die Akademie angesichts der Vier-Mächte-Verwaltung für Berlin allerdings nicht ersichtlich war, ist sie im Sommer 1946 als Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin (DAW) wiedereröffnet worden, woran damals niemand Anstoß nahm. Doch jetzt wurde daran erinnert, daß bereits in den 50er Jahren im Westteil Berlins gelegenes Vermögen der PrAW einer besonderen, von West-Berliner Landesbehörden veranlaßten Aufsicht und Kontrolle unterstellt worden waren, da man dort nicht mehr davon überzeugt war, daß die DAW die lediglich umbenannte PrAW sei. Allerdings wurde in Berlin (West) nie durch Gesetz oder Verordnung irgendetwas Genaueres festgelegt. Die DAW hatte zwar eine Klage vor West-Berliner Gerichten gegen diese Maßnahmen vorbereitet, aber im letzten Augenblick davon Abstand genommen, so daß auch im Jahre 1990 ein "Notvertreter" bestimmte Belange der PrAW im Westen vertrat.

Ein von der Senatsverwaltung 1990 in Auftrag gegebenes juristisches Gutachten von Prof. Werner Thieme, Hamburg, kam nun zu dem sehr viel weitergehenden Schluß, daß - unbeschadet bestimmter Kontinuitäten von Aufgaben und Funktionen - die DAW nicht die Nachfolgerin der PrAW, sondern eine Neugründung nach sowjetischem Besatzungsrecht sei. Die PrAW sei damit nicht aufgelöst oder in der DAW aufgegangen, sondern existiere weiter, wenn auch augenblicklich mitgliederlos. Es bedürfe auch keines neuen Berliner Akademiegesetzes - was man angesichts der Erfahrungen während der Gründung und Auflösung der AWB verständlicherweise scheute -, sondern lediglich eines Organisationsaktes

der Landesregierung, also des Senats von Berlin. Der Senat von Berlin schloß sich dieser Auffassung an, die ohne Zweifel in der gegebenen Situation einen eleganten juristischen Ausweg aus der verfahrenen Situation wies, auch wenn die Rekonstruktion der Ereignisse der Jahre 1945/1946 als Vorlauf der juristischen Argumentationskette nicht nur bei Historikern auf amüsiertes Erstaunen stieß.

Doch unabhängig von dieser juristischen Konstruktion, die die Leibnizsche Tradition für die neue Akademie reklamierte, vereinbarten Berlin und Brandenburg, eine gemeinsame Akademie der Wissenschaften zu errichten. Eine schon zuvor, im Dezember 1990, von der Senatorin für Wissenschaft und Forschung berufene Planungsgruppe erarbeitete Empfehlungen über die Struktur und Aufgaben der Akademie und Anzahl und Status ihrer Mitglieder. Diese Empfehlungen wurden in einen Staatsvertrag zwischen Berlin und Brandenburg übernommen, der im Mai 1992 unterzeichnet und im Juli von beiden Landesparlamenten verabschiedet wurde. Die Brandenburgische Begründung der Gesetzesvorlage (S. 322-327) weicht von der Berliner (S. 335-341) leicht ab und greift insbesondere die in Berlin geschätzte Argumentation des Thieme-Gutachtens nicht auf. Entscheidend ist jedoch allein der Text des Staatsvertrages, der am 1. August 1992 in Kraft trat. Damit war die neue Akademie, die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (vormals Preußische Akademie der Wissenschaften) (BBAW) als Körperschaft öffentlichen Rechts errichtet. Also eine Neukonstituierung, während die beiden Akademien der Künste in Berlin zu einer Fusion gedrängt wurden. Die bibliographische Notiz vor dem Inhaltsverzeichnis des Jahrbuchs der BBAW suggeriert allerdings fälschlich eine Fusion von AdW und AWB.

Was noch fehlte, waren Mitglieder. Das Procedere sah nun vor, daß der zuständige Berliner Senator im Einvernehmen mit dem Brandenburgischen Minister auf Vorschlag der Planungsgruppe, die sich zuvor mit den anderen grossen Wissenschaftsorganisationen (Max-Planck-Gesellschaft, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Leopoldina etc.) verständigt hatte, ein fünfzehnköpfiges Wahlgremium berief, das die ersten 50 Akademiemitglieder zu wählen hatte. Nach drei Sitzungen im Oktober und Dezember 1992 hatte das Wahlgremium seine Arbeit getan, und von den 50 Gewählten erklärten sich 48 bereit, Mitglieder der BBAW zu werden. Im Verlauf des nächsten Jahres fanden die konstituierenden Sitzungen des Plenums und der fünf Klassen statt, und es wurden all die für die Akademiearbeit erforderlichen Gremien und Verwaltungsstäbe gebildet oder deren Etablierung vorbereitet. So wurde auch die Form der Mit-

gliedsurkunde festgelegt, die wieder auf Lateinisch ausgestellt wird; daß das neugestaltete Akademiesiegel auf dieser Urkunde die Akademiebezeichnung auf Deutsch wiedergibt, ist allerdings ein Stilbruch (S. 69). Zum Präsidenten wurde der Konstanzer Zoologe Hubert Markl, zum Vizepräsidenten der Berliner Linguist Manfred Bierwisch gewählt. Eine Satzung wurde im Oktober 1993 verabschiedet, die der "rechtsaufsichtführende Senator" im Frühjahr 1994 bestätigte. Hier wurden Bestimmungen getroffen, die im Staatsvertrag nicht geregelt waren. Während z.B. dort eine Anzahl von 200 Ordentlichen Mitgliedern festgeschrieben war und über andere Mitgliedsformen nichts ausgesagt wurde, sieht die Satzung zusätzlich "bis zu 100 außerordentliche Mitglieder" sowie eine nicht bestimmte Zahl von Ehrenmitgliedern vor. Eine Geschäftsordnung steht noch aus.

Wer sind nun die 48 Gründungsmitglieder? Acht waren Mitglieder der AdW, sechs der AWB; einer von diesen - Günter Spur (Technische Universität Berlin) - war Mitglied beider Akademien. Dreizehn haben ihre wissenschaftliche Karriere im Osten, 35 im Westen gemacht. 28 arbeiten in wissenschaftlichen Institutionen in Berlin, einer im Lande Brandenburg; größere "Außenposten" mit je zwei Mitgliedern bestehen in Halle/Saale, Dresden, Konstanz und Bonn am Rhein. Die BBAW hat sich also nicht auf das Regionalprinzip für ihre Ordentlichen Mitglieder festlegen lassen. Die Mitgliedschaft abgelehnt haben Horst Albach und Klaus Hierholzer, vormals Präsident resp. Vorstandsmitglied der AWB. Und, nicht zu vergessen: drei Mitglieder sind Frauen.

Die Binnenorganisation sieht fünf Klassen vor: die Geisteswissenschaftliche, die Sozialwissenschaftliche, die Mathematisch-Naturwissenschaftliche, die Biowissenschaftlich-Medizinische und die Technikwissenschaftliche. Diese Einteilung kopiert die Klasseneinteilung der DAW aus den Jahren 1951/54, und es bleibt leider unklar, warum ausgerechnet dieser Zuschnitt innovativ und zukunftsträchtig sein soll. Ob die wenig nachdrückliche Formulierung: "In der Regel tagen zwei oder drei Klassen gemeinsam" (§8, 4 der Satzung) die interdisziplinäre Kommunikation fördern wird, kann nur die Zukunft zeigen. Die BBAW war - im Gegensatz zur AWB - von Anfang an gewillt, sich einigen Korsettstangen der Regeln der Konferenz der deutschen Akademien der Wissenschaften (vormals Konferenz der Akademien der Wissenschaften der Bundesrepublik Deutschland) anzupassen und wurde daher im Dezember 1993 in die Konferenz aufgenommen. Der Schwerpunkt ihrer Arbeit liegt dementsprechend vorerst bei den mehr als dreißig, teils alten preu-Bischen und zumeist aus der AdW übernommenen, Langzeitvorhaben

von den Inscriptiones Graecae über das Grimmsche Wörterbuch (Buchstaben A-C) und die Marx-Engels-Gesamtausgabe bis zur Leibniz-Edition. Das aus der AWB übernommene Arbeitsgruppenmodell ist als zweite, möglicherweise sogar privilegierte Organisationsform vorgesehen; im Berichtszeitraum existierten davon aber lediglich zwei, davon eine aus der AWB herübergerettete ("Altern und gesellschaftliche Entwicklung"). Neben dem Plenum aller Ordentlichen, nicht entpflichteten Mitglieder besteht ein Konvent, den die an Arbeitsgruppen beteiligten Ordentlichen Mitglieder, gewissermaßen das Kollektiv der Aktivisten, bilden. Für die an der Arbeit der Kommissionen Beteiligten, die die Langzeitvorhaben anleiten, ist dagegen keine eigene "Ständekammer" vorgesehen. Auch hier muß sich zeigen, ob sich diese Doppelstruktur - Plenum/Konvent - bewährt.

Neben einem Abriß der Berliner Akademiengeschichte von 1700 bis 1991 von Conrad Grau und ausführlichen Darstellungen der Neukonstituierung finden sich Kurzbiographien der Gründungsmitglieder, Mitteilungen über die Organisationsstrukturen, das Haus am Gendarmenmarkt sowie ein Dokumentenanhang. Den wissenschaftlichen Kern des Bandes bildet Manfred Bierwischs Vortrag über "Kommunizieren und Berechnen. Linguistik zwischen Biologie und Geisteswissenschaft".

Es wird niemanden verwundern, daß das erste Jahrbuch einer Akademie, die sich ja 245 Jahre Tradition zuschreibt und zudem knapp 50 Jahre "Schlaf" im Gepäck mitführt, einige Ungereimtheiten aufweist. Die Preußische Akademie hatte nämlich zum Zeitpunkt ihrer Neukonstituierung durchaus noch ein Mitglied: den im Frühjahr 1939 gewählten, 1995 verstorbenen Adolf Butenandt. Daß "die BBAW zum Gedenken an ihr Mitglied, die große Turkologin Annemarie von Gabain (4. Juli 1901 -15. Januar 1993)" ein Symposium organisiert, ist sicherlich verdienstvoll (S. 274). Doch war sie, die in Hamburg lehrte, seit 1959 Korrespondierendes Mitglied der DAW und somit seit 1969 Auswärtiges Mitglied der AdW. Hier zeigt sich jetzt schon, daß die rückwärtige Vereinnahmung großzügige Interpretationen erlaubt. Im Ton reichlich befremdlich ist eine Passage des Berichts des Vorsitzenden der Planungsgruppe Christian Meier (München) an das Wahlgremium. Zur Überreichung der Liste der positiv evaluierten AdW-Mitglieder an das Wahlgremium bemerkte er, daß er damit einen Wunsch von Herrn Klinkmann, dem letzten Präsidenten der AdW erfülle, und daß die dort Genannten ein "nicht näher spezifiziertes, mir nicht recht deutlich gewordenes Evaluierungsverfahren bestanden haben," (S. 347) Da wundert man sich doch, warum er Klinkmann nicht einfach nach den Regeln dieser Evaluierung

gefragt hat. Schließlich haben sie ja in der Planungsgruppe zusammen gesessen. Was allerdings nichts daran ändert, daß die Kriterien des AdW-Mitglieder-Selbstevaluierungsprozesses tatsächlich niemals transparent gemacht wurden.

Der Einband ist nicht mehr "akademieblau" oder grau (AdW-Jahrbücher) oder dunkelblau (AWB-Jahrbücher), sondern matt- oder graugrün. Was wohl eine geglückte Kombination von Hoffnung und Traditionsbewußtsein in der und für die BBAW symbolisieren soll. Was ihr zu wünschen ist.

Peter Th. Walter

# Das letzte Jahrbuch der DDR-Akademie

Jahrbuch 1990/91 der Akademie der Wissenschaften der DDR und der Koordinierungs- und Abwicklungsstelle für die Institute und Einrichtungen der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR (KAI-AdW).

Herausgegeben von der Koordinierungs- und Aufbau-Initiative für die Forschung in den Ländern Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen e.V. (KAI e.V.) unter Mitwirkung von Mitgliedern und Mitarbeitern der ehemaligen Gelehrtensozietät. Akademie Verlag Berlin 1994. 628 Seiten. 148 DM

In Umbruchzeiten sind Herausgeber meist in Verlegenheit, Akademie-Jahrbücher angemessen rechtzeitig herauszubringen. So erschien das erste Akademiejahrbuch nach dem Ende des 2. Weltkrieges erst 1949 für die Jahre 1946 bis 1949. Die Akademieumgestaltung nach der Gründung der DDR schlug sich in einem recht dünnen Jahrbuch 1950/1951 nieder, das 1952 herauskam. Ein "verschlepptes" Jahrbuch war auch das von 1971/72, in dem sich die Akademiereform von 1969/70 auswirkte.

Das hier zu betrachtende AdW-Jahrbuch von 1990/1991 macht da keine Ausnahme, waren doch die Veränderungen dieser Jahre für die Akademie außerordentlich einschneidend und von letalem Effekt. Stark verspätet, ist es zum Jahreswechsel 1994/95 erschienen, zu einem Zeitpunkt, als der Berichtsgegenstand nach allgemeiner Auffassung bereits auf eine nicht genau erklärbare Weise institutionell zum Ableben gekommen war. So geriet das Jahrbuch ungewollt zum letzten Angebinde, zum Memorial für eine auf dem Felde des Beitritts dahingesunkene Einrichtung. Für Nostalgiker der DDR und der DDR-Wendezeit könnte es ein wahrer Nachlese-Seelentrost für frühere Gloria und jüngst erlittenes Unrecht sein, doch wird dem Opus dadurch kaum eine größere geistige Laufkundschaft beschieden sein. Richtig verständlich wird es in toto nur dem Insider, der mit den Prozessen jener Jahre vertraut ist, und natürlich auch dem professionellen Wissenschaftshistoriker und -soziologen. Wer mehr als eine Einzelauskunft zu Namen und Strukturen sucht und Mühe nicht scheut, dem wird sich das Jahrbuch als eine außergewöhnliche akademische Publikation der Wendezeit erschließen, als eine nicht hoch genug zu schätzende dokumentarische Sachinformation darüber, was die

Akademie der Wissenschaften der DDR - das größte zusammenhängende Wissenschaftspotential Deutschlands - zuletzt war und wie sie in der neuen deutschen Wissenschaftslandschaft auf- bzw. unterging.

Aufgegliedert ist diese Information in drei Teile. Der erste Teil ähnelt dem traditionellen Aufbau von Jahrbüchern und dokumentiert für die Zeit von Oktober 1989 bis Ende 1991 wie üblich vor allem Personalia und Struktur der Akademie. In einem zweiten Teil geht das Jahrbuch neue Wege und bietet dem Leser eine Dokumentensammlung an, die ein chronologisches Bild von den Abläufen in der Akademie in jenen spannungsgeladenen Monaten vermitteln will. Ein dritter Teil schließlich enthält Erinnerungen, Rückblicke auf das Geschehen von Zeitgenossen aus Ost und West (Werner Scheler, Hermann Klenner, Siegfried Nowak, Dieter Simon und Wilhelm Krufl).

Schon im ersten Teil schlagen trotz jahrbuchüblicher dürrer Faktologie Brisanz und Dynamik des abgebildeten Zeitraums durch. Zunächst gibt es die herkömmliche Darstellung von Plenum und Klassen, die Aufzählung der Akademiemitglieder und ihrer Sitzungen, der verliehenen Auszeichnungen, der Ernennung von Professoren und den Abdruck der Reden zu den Leibniztagen 1990 und 1991. Im Traditionellen bleibt weiterhin die Auflistung der wissenschaftlichen Gesellschaften, der Nationalkomitees und der internationalen wissenschaftlichen Verbindungen der Akademie (mit Ausnahme der Daten ihrer Auflösung bzw. Fusion mit anderen Gesellschaften), und durchaus konventionell ist auch der Überblick über das, was 1989/1990 zum Bestand der Akademie gehörte: Zentralinstitute, Institute, wissenschaftliche und sonstige Einrichtungen, Archiv, Kustodie, Hauptbibliothek, Zeitschriften, Verlage und Druckereien.

Damit ist die Normalität schon erschöpft, die Wende von 1989/90 bricht in die Dokumentation ein. Neben den traditionellen Struktur- und Personalangaben stehen die neuen Strukturen und Gremien, die der historische Wandel an der Akademie hervorgebracht hat: Senat, Hauptversammlung und Vorstand der Forschungsgemeinschaft, der Runde Tisch, der Rat der Institutsvertreter und sein Sprecherrat, dazu die Daten des Beginns und des Endes ihrer Tätigkeit im Jahre 1990.

Mit der chronologischen Dokumentation wird ein Weg beschritten, der in vergleichbarer Literatur kaum vorkommt. Wiedergegeben werden - zur Gänze oder in Auszug - Zeitdokumente: Protokolle der verschiedensten Gremien, Beschlüsse, Konzepte, Entwürfe, Materialien von Arbeits-

gruppen und Ausschüssen, aber auch Kalendereintragungen, kurze Mitteilungen, Stichworte, Hinweise, einfache Faktennennungen, Gesprächsaufzeichnungen, Aktennotizen und Briefverkehr.

Vollständigkeit und Adäquatheit, so erfährt man in der knappen Einführungserläuterung zu diesem Jahrbuchteil, seien dabei aus sachlichen Erwägungen heraus nicht angestrebt, Einblicke in die "Vielfalt, Komplexität und Kompliziertheit" der damals zu bewältigen Aufgaben und Probleme sollten eröffnet werden (S. 162).

Im Ergebnis dessen breitet sich auf 370 Seiten eine eigenartige und bewundernswerte chronologische Zettelwirtschaft vor dem Leser aus. Sie läßt ihn bei der Lektüre von Handlungslinie zu Handlungslinie springen. Sie schenkt ihm ein unerklärtes Faktum nach dem anderen, führt ihn von einem Bezug zum übernächsten und gönnt ihm nicht die Ruhe, ein synchrones Bild in seinem Hirn entstehen zu lassen. Hilfe bei der inneren Zusammenschau wird nicht zuteil, denn alles bleibt generell und mit guter Absicht unkommentiert, die Redaktion hütet sich, auch nur in die Nähe einer zweifellos irgendwann erforderlichen historisch-kritischen Wertung zu kommen. Fast scheint es, als gehe es ihr nur darum, das existierende Material auszubreiten, es rasch zu vermitteln aus heimlicher Furcht, es könnte unwiederbringlich verlorengehen. So wirkt denn das Material so zerfahren und hastig wie die Zeit, auf die es sich bezieht, erklären sich die Unvollständigkeiten und Einseitigkeiten, die der Leser aber als unabänderlich und als Zeitkolorit in Kauf nimmt.

#### Basisdemokraten, Leiter und Gelehrte

Die strukturellen Angaben von Teil 1 des Jahrbuches vor Augen und mit dem eigenen Such- und Erinnerungsraster im Kopf, drängt es den Rezensenten danach zu erfahren, um welche damals zu bewältigenden Aufgaben und Probleme mit ihrer Vielfalt, Komplexität und Kompliziertheit es sich aus Jahrbuchsicht handelt. Nach Ansicht der Herausgeberin KAI e.V. sind es vier Stränge, die sich in der Chronologie mischen und die ein chronologisches Bild der Zeit vom 7. Oktober 1989 bis zum 31. Dezember 1991 geben sollen: "Gelehrtensozietät, KAI-AdW, Auflösung der West'-Berliner Akademie und Vorbereitung der neuen Akademie" (aus dem Vorwort der Herausgeberin KAI e.V.).

So ganz kann man dieser Einbettung nicht folgen, denn das Material - wie die Wirklichkeit selbst - repräsentiert ungleich umfangreichere Bezüge als

diese. Und außerdem ist sie etwas geschludert: Von der Gelehrtensozietät ist erst im Einigungsvertrag die Rede (frühestens im August 1990), KAI-AdW gibt es erst seit Oktober/November 1990, die Auflösung der Westberliner Akademie ist kein Thema des AdW-Jahrbuchs Ost und kommt auch so nicht darin vor, und bei dem Handlungsstrang Vorbereitung der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, der realiter nicht vor Ende 1990 beginnt, hat die Herausgeberin selbst kräftig daran mitgewirkt, das ursprünglich zum Abdruck vorgesehene Material auf einen Torso zu reduzieren.

Die Handlungslinien liefen etwas anders. Es sei erlaubt, zum besseren Verständnis zumindestens die Anfangsphase anhand des vorgelegten Materials etwas näher zu skizzieren. Das Jahrbuch 1990/91 steigt in das Geschehen schon im Herbst 1989 ein, obwohl sich dadurch eine gewisse Überschneidung mit dem Jahrbuch 1989 ergibt. Das erste Dokument ist vom 20. Oktober 1989 und bringt Auszüge aus dem Protokoll einer Sitzung des Akademiepräsidiums (179f.). Daraus geht hervor, daß neben den Angelegenheiten des normalen Geschäftsgangs die Bildung einer Arbeitsgruppe beschlossen wurde, die kurzfristig eine Stellungnahme der AdW zur politischen Entwicklung in der DDR vorlegen sollte. Damit reagierte das Präsidium auf wiederholte Forderungen aus den Instituten, die schon Tage zuvor eine Positionsäußerung der Akademieleitung zu den Ereignissen im Lande und zur notwendigen Reform der Akademie verlangt und nicht erhalten hatten.

Diese Konstellation war zunächst grundlegend für die weiterführenden Handlungslinien der nächsten Monate. Auf der einen Seite standen, ausgelöst durch die politische Entwicklung im Lande, Forderungen von später als basisdemokratisch bezeichneten Kräften aus den Instituten an die Akademieleitung nach Abschaffung restriktiver politischer Rahmenbedingungen (SED-Einfluß an der Akademie, besonders in Kaderfragen, Reiseordnung, Publikationsordnung, Sicherheitskodex, politische und staatliche dirigistische Eingriffe in wissenschaftsspezifische Entscheidungsprozesse) und Enthebung von dafür Verantwortlichen von ihren Posten. Eine zweite Gruppe von Forderungen richtete sich auf die Schaffung besserer Existenzbedingungen für die wissenschaftliche Arbeit, nach Selbstbestimmung der Institute und Demokratisierung der Leitung, eingeschlossen hier die Aufforderung, das Statut der Akademie zu überarbeiten.

Verkörperung der Basisdemokraten war anfangs die Initiativgruppe Wissenschaft, die sich zunächst an einigen naturwissenschaftlichen Instituten gebildet hatte (s. u.a. Offener Brief des Zentralinstituts für Physikalische Chemie an das ZK der SED und die Volkskammer der DDR vom 26. Oktober 1989, Hinweis im Jahrbuch S. 181, leider nicht im Wortlaut). Von ihr ging wesentlich die Initiative zur demokratischen Umbildung der Akademie aus. Im Jahrbuch sind Entstehung und Tätigkeit dieser Gruppierung nur wenig dokumentiert, es ist anzunehmen, daß die Quellenlage unübersichtlich und vieles für die Redaktion nicht greifbar war. So ist z. B. für den 10. November 1989, an dem eine von der Gruppe einberufene und stark besuchte Protestkundgebung auf dem Piatz der Akademie stattfand und auf dem ein Forderungskatalog von später weitreichender Wirkung angenommen wurde, nur die Tatsache der Veranstaltung selbst vermerkt (S. 186).

Auf der anderen Seite standen die Aktivitäten der Akademieleitung. Die Forderungen der Basis - einige externe politische und Personalfragen einmal ausgeklammert -, waren nicht im grundsätzlichen Gegensatz zu dem, was sich Akademieleitung von der Entwicklung versprach. Wie die Basisdemokraten hielt sie Veränderungen für unabdingbar, und wie diese strebte sie, vereinfacht ausgedrückt, eine bessere AdW in einer gesellschaftlich erneuerten DDR an. Eine Erklärung des Präsidiums vom 31. Oktober 1989 (S. 182ff.), von der Basis nachdrücklich gefordert, blieb noch relativ allgemein, hielt aber dennoch eine höhere Selbständigkeit der Akademie gegenüber dem Staat und ihre grundsätzliche Erneuerung für Unterstützung erforderlich. und signalisierte der eingeleiteten Veränderungen.

Die Arbeiten der Akademieleitung an einem Sofort- oder Aktionsprogramm der AdW (erste Behandlung s. Protokoll der Kollegiumssitzung am 21. November, S. 187), das alle Forderungen zusammenfassen sollte, führten wenig später zu dem Offenen Brief des Präsidiums an die AdW-Mitarbeiter (28. November 1989, Wortlaut S. 188ff.), in dem das Präsidium seinerseits einen Problemkatalog für eine gemeinsame Diskussion anbot. Darin waren wesentliche Forderungen der Initiativgruppe Wissenschaft eingearbeitet, u.a. die nach verfassungsrechtlichen Garantien für die Freiheit der Wissenschaft, nach Demokratisierung der Leitungsprozesse und der Selbständigkeit der Institute. Das Dokument wurde in den Instituten kritisch aufgenommen und auch im Plenum als halbherzig und ungenügend gerügt. Dennoch kann man Renate Mayntz durchaus zu-

stimmen, die feststellt, daß die Wende von Leitung und Instituten als Gelegenheit gesehen wurde, "lang empfundene Defizite an Autonomie und apparativer Ausstattung, den beschränkten Zugang zur Weltwirtschaft und die Beeinträchtigung der Grundlagenforschung zu beklagen und hier Veränderungen zu fordern".

Eine dritte Gruppe, von der Handlungslinien ausgingen, bildeten die Mitglieder der Gelehrtengesellschaft der Akademie. Ihre Aktivitäten sind im Jahrbuch meist gut ausgewiesen.

Das Plenum schien zunächst von den Wendeereignissen unberührt zu sein. Es fand sich am 19. Oktober 1989 zu seiner normalen wissenschaftlichen Sitzung zusammen und hörte nach einleitenden Bemerkungen von Präsident Scheler zu der schwierigen Lage im Lande einen Vortrag von Akademiemitglied Johannes Barthel zum Thema Hochtemperatursuprajeiter. Doch mit der wissenschaftlichen Beschaulichkeit war es auch hier bereits vorbei. Die entscheidende Zäsur für die Arbeit des Plenums setzte die außerordentlichen Geschäftssitzung am 16. November. Hier erntete das Präsidium scharfe Kritik und sah sich mit Forderungen nach tiefgreifenden Erneuerungen der AdW konfrontiert. Gefordert wurden u.a. Beseitigung der dirigistischen und ideologischen Einflußnahme der SED auf die Forschung, Neufestlegung der Rolle der AdW in der Gesellschaft und Erarbeitung eines neuen Statuts, Trennung der Gelehrtengesellschaft von den Forschungsinstituten, personelle Neulegitimierung des Präsidiums. Nahezu einstimmig beschlossen die Akademiemitglieder die Rehabilitierung der 1961 aus politischen Gründen ausgeschlossenen Mitglieder Bloch, Havemann (S. 186f.). Die nächste außerordentlichen Sitzung des Plenums am 7. Dezember 1989 (S. 195f.) bestätigte in geheimer Wahl zwar das Präsidium mit Ausnahme des Vizepräsidenten für Gesellschaftswissenschaften im Amt, verpflichtete es aber zum energischen Vorgehen bei der Gestaltung des Erneuerungsprozesses. Das Pienum beschloß erste Änderungen am Statut (Streichung der Rolle der SED), die Rücknahme der Verleihung der Akademie-Ehrenspange an die Politbüro-Mitglieder Honecker, Stoph, Mittag und Hager, und legte Arbeitsgruppen und Ausschüsse fest, die die fällige Akademiereform ausarbeiten sollten. Wie die übrigen Gruppen sprach sich auch das Plenum für eine durchgehende Demokratisierung der Akademie aus.

Renate Mayntz (unter Mitarbeit von Hans-Georg Wolf), Deutsche Forschung im Einigungsprozeß. Die Transformation der Akademie der Wissenschaften der DDR 1989 bis 1992. Campus Verlag Frankfurt/New York, S. 51.

Das Jahrbuch vermerkt für den 20. Dezember 1989 die Konstituierung des Rates der Institutsvertreter, der aus der Initiativgruppe Wissenschaft hervorging. Mit Ausnahme des Runden Tisches der Akademie, der sich erst im Februar konstituierte, waren damit die Gremien vorhanden, die der nun folgenden Phase der reformerischen Bemühungen das Gepräge gaben. Aus dem Rat der Institutsvertreter entwickelten sich die Mitarbeitervertretungen, die ihre Tätigkeit bis zum Ende der Institute durchführten.

#### Die demokratische Illusion

Diese Einzelheiten mögen für das Verständnis der Ausgangsphase des Gesamtprozesses ausreichen. Die Eintragungen im Jahrbuch lassen den Betrachter dann - mehr oder weniger ausführlich und vollständig - die wenigen Monate demokratischer Selbstbestimmung und reformerischer Unrast nachempfinden, die der Akademie bis zum Sommer 1990 vergönnt waren. Diese kurze Zeitspanne voller Ungeduld und Hast war geprägt von anfänglich starken Basisprotesten gegen die zögerliche Loslösung der Akademieleitung von der Vergangenheit, die personelle Vergangenheitsaufarbeitung eingeschlossen, von dem immer neuen Entwerfen von Konzepten für eine reformierte, zeitgemäße Akademie in neuen Strukturen. An den Fakten, die das Jahrbuch liefert, kann man den demokratischen Legitimationsprozeß ablesen, der über die Herausbildung von gewählten Vertretungskörperschaften an den Instituten und Einrichtungen zu gewählten Direktoren und zum Rat der Institutsvertreter und seines Sprecherrates führte. Seinen Kulminationspunkt fand die von unten wie von oben organisierte akademische Räte-Demokratie in der erstmaligen Wahl des Senats und eines Akademiepräsidenten durch die Mitglieder und alle 24000 Mitarbeiter der Akademie.

Überlagert war diese Entwicklung von der sich seit dem Jahreswechsel 1989/90 abzeichnende Annäherung an die Bundesrepublik, die auch an der Akademie zu immer stärkeren gesamtdeutschen Überlegungen führte. Die Konzeptionen hatten zunehmend die Konsequenzen einer möglichen deutschen Einheit im Blick: Kompatibilität der Strukturen sowohl auf Instituts- wie auf Akademieebene, ungeschönte Bewertung der wirklichen Leistungsfähigkeit der Akademieforschung, um auf die zu erwartende Konkurrenzsituation vorbereitet zu sein, Entrümpelung der Forschungsthemen und Projekte, Ausgliederung von nicht der Forschung zuzuordnenden Einrichtungen und Dienstleistungen, Personalabbau (von

24.000 auf höchstens 10.000 Mitarbeiter, s. Arbeitsbericht des Vorstands der Forschungsgemeinschaft am 25. Juni 1990, S. 297). Dazu kamen Überlegungen über die zukünftigen Rolle der Akademie in einem vereinigten Deutschland (u.a. Präsidiumssitzung vom 19. Februar, S. 228), die das Konzept einer vierten großen Forschungsorganisation in Deutschland neben den bestehen MPG, FhG und AGF in verschiedenen Varianten einschlossen (s. u.a. Satzungsentwurf der DAW, Juli 1990, S. 331ff.), und kurzzeitig sogar die Idee der gleichberechtigten Verflechtung von Forschungs- und Wissenschaftspotentialen der beiden deutschen Staaten bis hin zu einer Wissenschaftsunion (S. 231, Anlage zu einem Gespräch Staab-Scheler am 20. Februar 1990).

Beschleunigt wurden diese Überlegungen durch die rapide Verschlechterung der wirtschaftlichen und finanziellen Lage der DDR, die auf die Haushaltslage der Akademie durchschlug. Im Februar fehlten am Akademie-Etat bereits mindestens 145 Mio Mark, davon 132 Mio an Einnahmen aus der Kooperation mit der Industrie, die sich aus der Forschungsfinanzierung in immer rascheren Tempo zurückzog (Präsidiumssitzung am 19. Februar, S. 227f., Anlage zu Punkt 1 der Tagesordnung). Mit der Währungsunion war die Akademie dann finanziell so gut wie am Ende (s. Arbeitsbericht..., S. 298ff.).

Wenig belegt wird im Jahrbuch jene Handlungslinie, in der außerhalb der AdW und im wesentlichen ohne sie über ihr Schicksal verhandelt und entschieden wurde. Wenn man vom Abdruck der Pressemitteilung zum Kamingespräch (306 f.) absieht, gibt es nur gelegentliche Erwähnungen des Problems (etwa Gespräch mit BMFT und MFT am 24. August, S. 355), die einen - wenn auch schwachen - Eindruck von der zähen Debatte um Art. 38 EV auf der Verhandlungsebene der Regierungen vermittelt. Die Akademie hatte hier, wie auch bei Mayntz belegt (Kapitel 3), keinen eigenen Aktionsraum. Ihre Angelegenheiten hatte das MFT an sich gezogen, das schon früh mit Hilfe seiner Berater aus dem BMFT anstrebte, die Forschungsinfrastruktur der DDR für die bundesrepublikanische Wissenschaftstruktur aufzubereiten und sie paßfähig zu machen ("Kompatibilisierungsperspektive", Mayntz, S. 87). Das MFT handelte aus einer deutlich anderen Interessenslage heraus, es stand den Reformbestrebungen in vielen Fragen distanziert gegenüber und konnte die Mentalität der AdW nicht nachempfinden. Aus heutiger Sicht ist die Aussage nicht sehr gewagt, daß die Präsidentenwahl vom Mai 1990 Strukturen schuf, die bei ihrer Geburt auf den Schreibtischen der Ministerialbürokratie und der konservativen Wissenschaftsallianz im Altbundesland schon gestorben waren (s.u.a. die höchst lesenswerten Ausführungen Klinkmanns auf einem Kolloquium am 14. November 1991, S. 501 ff.). Und ebenso kann es als sicher gelten, daß die Suche der großen Wissenschaftsorganisationen des Altbundes nach den damals so bezeichneten "Filetstücken" aus dem Akademiebestand trotz gegenteiliger öffentlicher Behauptungen schon im Gange war, als noch Konzepte über einen eigenständigen Wissenschaftsverbund in Ostdeutschland ausgearbeitet, diskutiert und verhandelt wurden.

Unter diesen Umständen hatte die demokratische und reformerische Aufbruchstimmung dieser Periode nicht lange Bestand. Sie endete mit der immer stärkeren Unterwanderung der kreativen Ungeduld und des reformerischen Gedankens durch die existentielle Sorge um den Bestand der Institution und des eigenen Arbeitsplatzes, nachzulesen etwa in den Protokollen der Senatssitzungen und des Vorstandes der Forschungsgemeinschaft sowie des Sprecherrates des Rates der Institutsvertreter. Der freie Fall in die neue deutsche Wissenschaftslandschaft begrub das eben erst gewachsene Selbstbewußtsein der neuen Gremien.

Heute liest es sich eher wie eine dunkle Beschwörung als ein Ausdruck von Zuversicht, daß der frischgewählte Präsident Horst Klinkmann, wenige Tage zuvor vom Ministerrat der DDR unter de Maizière als Geschäftsführender Präsident ins Amt gerufen, zum Leibniz-Tag am 29. Juni 1990 das Originäre und Bewahrenswerte des geistigen Potentials der DDR-Wissenschaft hervorhob, das eine Schubwirkung in einer neuen deutschen Wissenschaftslandschaft haben könne (S. 81). Man müsse rasch handeln, um das Leistungspotential der AdW zu bewahren und zu erweitern. Die "Einordnung unserer Akademie in die deutsche und damit auch in die europäische Forschungslandschaft" dürfe keinesfalls "Skepsis, Resignation oder gar soziale Angst auslösen". Daraus sprach die Vorstellung, als könnte die Initiative zum Handeln gegen Ende der rauhen Vor-Beitrittswirklichkeit noch bei der Akademie liegen, als könnte sie Blütenträumen nachhängen und Eigenes bewirken, wenn sie nur bereit wäre, die Herausforderung der Zeit anzunehmen.

## "Absturz in die Zukunft"2

Ein Jahr später war offenkundig, wie Klinkmanns Rede zum Leibniztag 1991 belegt, daß die eigenen Bestrebungen wenig bewirkt hatten. Von eigener Initiative war nicht mehr die Rede, die düsteren Töne herrschten vor, die Resignation hatte gesiegt, Klinkmann konstatierte eine Defensivsituation, die überall in der Wissenschaft der ehemaligen DDR festzustellen sei und die jede Kreativität hemme (S.113).

Veränderungen gab es inzwischen zur Genüge. Art. 38(2)EV war ausgearbeitet und in Kraft gesetzt, die demokratischen Gremien der Akademie hatten mit dem 3. Oktober 1990 ebenso aufgehört zu existieren wie institutionelle Restbestände der Akademie, etwa die wissenschaftlichen Gesellschaften und die Nationalkomitees, deren Auflösungs- oder Fusionierungsdaten im Jahrbuch korrekt vermerkt werden, oder die Zeitschriften, Verlage und Druckereien, von denen man erfährt, wohin sie bis Redaktionsschluß zugeordnet bzw. an wen sie verkauft wurden (S. 25 ff.).

KAI-AdW, die Abwicklungsstelle, war längst gebildet und in voller Aktion. Die Institute, durch das Terpe-Moratorium bis Ende 1991 am Tropf gehalten, waren durch das Fegefeuer der Evaluierung von Kommissionen des Wissenschaftsrates gegangen. Mit der Zustimmung zur Evaluierung hatte die Akademie spätestens nach dem bekannten "Kamingespräch" am 3. Juli 1990 (s. S. 306 ff.) die Inititative endgültig verloren. Im Jahrbuch wird für jede einzelne AdW-Einrichtung dokumentiert (S. 123ff.), was nach der Evaluierung übrig blieb, welche Evaluationsempfehlungen der Wissenschaftsrat gegeben hatte und was mit ihr bis Redaktionsschluß geschehen war oder vorausssichtlich geschehen sollte.

Zunächst als administrative Verwaltung vom AdW-Senat gebildet, erhielt die Abwicklungsstelle im Oktober den Namen Koordinierungs- und Abwicklungsstelle für die Institute und Einrichtungen der ehemaligen AdW der DDR/KAI-AdW. Da die Institute in die Hoheit der bald gebildeten neuen Länder übergingen, konstituierte sich ein Gemeinsamer Ausschuß AdW, dem der Bund und die neuen Länder angehörten und der die Entscheidungen über die Abwicklung der Institute zu treffen hatte. Als übergeordnete Entscheidungsebene dienten die mehrfachen Treffen der Wissenschaftsminister des Bundes, der neuen Bundesländer und

Titel des Vortrages, den Klinkmann im November 1991 auf einem Kolloquium über den Leibnizschen Akademiegedanken hielt und in dem er die Entwicklung der Akademie in der Wendezeit darstellt. JB S. 501 - 508.

Berlins. Die 16 Sitzungen des Gemeinsamen Ausschusses und die Ministertreffen im Jahre 1991 sind im Jahrbuch ausführlich dokumentiert, ebenso die Maßnahmen, die dann zur Sicherung der Abwicklung ergriffen wurden (s. u.a. Schaffung der Möglichkeit von ABM im Wissenschaftsbereich, S. 454f., Einrichtung des WIP S. 479f., Forschungsverbund S. 508f.).

In einem Tätigkeitsbericht für das Jahr 1991 von KAl-AdW kann man dann die Ergebnisse der Arbeit in den Fachgebieten Personal, Finanzen, Vermögen und Recht sowie auf Sondergebieten nachlesen (S. 524 - 538). Wer auf Einzelheiten aus ist, mag dort nachschlagen, sie sind mitunter aufschlußreich, wie etwa diese: KAI-AdW hat den Ländern bis Ende 1991 die ihnen zugefallenen Vermögenswerte der AdW übergeben, insgesamt 1680 Liegenschaften, Institutskomplexe, Dienstwohnungen, Schulungsheime, Kinderferienlager und Sportanlagen, von denen ein Teil vorher verkauft wurde. Keine Auskunft gibt es darüber, wie hoch der Verkaufserlös war und wem er zugute kam und wie mit anderen Vermögenswerten, z. B. Kunstwerken und Bibliotheken verfahren wurde. Unbeantwortet bleibt im Jahrbuch auch die vom Senat der Akademie mehrfach aufgeworfene Frage (z. B. August 1990, S. 345), welche der Vermögenswerte den Instituten und welche der Akademie als Gelehrtensozietät zuzurechnen seien. Obwohl es eine Zuordnungsaufstellung durchaus gab (angedeutet in einem Schreiben von Klinkmann an seinen Berater Pinkau vom 24. August 1990, S. 354, s. a. Sitzung des Senats am 14. September, S. 389, 390), blieb dieses Problem wahrscheinlich gewollt ungelöst und stellte eine verhängnisvolle Hypothek für den weiteren Weg der Gelehrtensozietät dar.

Mit Beitrittstermin war die nunmehr Gelehrtensozietät genannte Gelehrtengesellschaft der AdW der DDR von den Instituten und Einrichtungen getrennt und entsprechend Art. 38(2)EV dem Land Berlin zur Fortführung überantwortet.

Das Jahrbuch verzeichnet auf dieser Handlungslinie drei Gruppen von Akteuren: die Gelehrtensozietät, die Senatsverwaltung für Wissenschaft und Forschung und die Parlamente. Nur ganz am Rande werden auch Aktivitäten der Allianz und ihrer Organisationen notiert, obwohl sie letztlich enscheidend für die Endlösung der Gelehrtenfrage waren.

Der Sozietät ging es vor allem darum, eine für sie günstige landesrechtliche Regelung im Sinne von Art. 38(2)EV zu erreichen und mit eigenen Vorstellungen in die Offensive zu gelangen. Eine Arbeitsgruppe beim Präsidenten erarbeitete Konzepte zur Neufestlegung des wissenschaftlichen Profils, für eine strukturelle und personelle Reorganisation (u.a. S. 410, 416, 431). Die Überlegungen für die Neugestaltung der Mitgliedschaft zielten auf eine Eigenbewertung der wissenschaftlichen Kompetenz der Mitglieder (S. 442-447). Zugleich setzte die Sozietät ihre normale Arbeit in monatlichen wissenschaftlichen Sitzungen von Klassen und Plenum fort, auf denen u.a. auch ihre von Auswärtigen zu Ordentlichen umgewandelten Mitglieder Günter Spur (Berlin-West) oder Hermann Haken (Stuttgart, S. 9, 17) vortrugen.

Die Berliner Parlamente waren nicht geneigt, der Fortbestandsgarantie des Einigungsvertrages für die Gelehrtensozietät zu folgen. Auf Antrag der Fraktion Grüne/AL im Abgeordnetenhaus (S. 411-413, 417) und Bündnis90/Grüne/UFV in der Stadtverordnetenversammlung (S. 423) verabschiedeten sie Ende Oktober 1990 Beschlitsse, die den Senat aufforderten, die Gelehrtensozietät fortzuführen, "gleichwohl" den Mitgliederbestand aufzulösen und neu zusammenzusetzen. Die Mitgliedschaft sei, so heißt es in den Begründungen zu den Anträgen, ein Ergebnis der Kaderpolitik der SED.

#### Berliner Quellenkunde

Die gewollte Zweideutigkeit des Beschlußtextes machte der Berliner Wissenschaftsverwaltung den Weg frei, um eine landesrechtliche Regelung überhaupt zu umgehen, die AdW-Gelehrtensozietät auszuschalten und eine neue Berliner Akademie zu installieren. Die diesen Vorgang betreffenden Unterlagen sind allerdings im Jahrbuch nur spärlich zu finden. Sie beschränken sich auf Hinweise dieser Art: "19. (Oktober) Notiz SV in Vorbereitung auf Wissenschaftsausschuß 22.10. 1990" (S. 416) oder "7. (November) SV intern - Vorschlag Gründungsausschuß für Berliner Akademie" (S. 429). Immerhin enthielte die Notiz vom 19. Oktober, wenn sie denn zum Abdruck gekommen wäre, die für den Leser aufschlußreiche Feststellung zur beabsichtigten Behandlung von Art. 38(2)EV: .... Der Einigungsvertrag hat insoweit einen Auftrag an das Land gerichtet. Politisch ist dieser Auftrag so zu verstehen, daß die Gelehrtengesellschaft weitergeführt wird, rein rechtlich bleibt es dem Land unbenommen, die Gelehrtengesellschaft auch einzustellen und die Akademie nicht fortzuführen".

Und in der Notiz der zuständigen Abteilung III der Senatsverwaltung vom 7. November 1990 an die Senatorin Riedmüller-Seel hätte man u.a. lesen können: "Die öffentliche Debatte über die Zukunft der Gelehrtengesellschaft droht uns zu überholen. ...Wir schlagen jetzt vor, unverzüglich die Initiative an uns zu ziehen. Die Angelegenheit muß schnell angeschoben werden, um die Diskussion um die West-Berliner Akademie möglichst zu beenden, uns unabhängig von den Bemühungen des Präsidenten Klinkmann zu machen, möglichen wissenschaftsfremden basisdemokratisch orientierten Auflagen aus dem parlamentarischen Raum zuvorzukommen." Das Papier unterbreitet dann einen Personalvorschlag für einen Gründungsausschuß zur Neukonstituierung einer Akademie der Wissenschaften für Berlin, der eine Empfehlung zur Aufgabenstellung abzugeben hätte. "Die Frage der Neugründung oder Fortsetzung einer eventuell existierenden Körperschaft ist dann eine technische Frage; insofern kann ein Rechtsgutachten über die alte Preußische Akademie parailel laufen."

Etwa 30 solcher Dokumente, die die Jahrbuchredaktion zum Abdruck vorbereitet hatte und die Aufschluß über Haltung und Vorgehensweise der Senatsverwaltung bei der (Nicht-)Erfüllung von Art. 38(2)EV geben könnten, wurden nach Redaktionsschluß aus dem Druckmanuskript entfernt - von wem, das bleibt offen, weder Redaktion oder Verlag noch die inzwischen nicht mehr existente Herausgeberin kommen dafür infrage, und erst recht nicht die BBAW, die zum Schluß mit den Druckkosten des AdW-Jahrbuches belastet wurde. So bleibt hier vieles undokumentiert, das zur Erhellung des Gesamtprozesses hätte beitragen können.

Für die Gelehrtensozietät kam es nach der Festlegung der Parlamente darauf an, den Rechtspositionen des Einigungsvertrages Geltung zu verschaffen. Die Auseinandersetzungen zu diesem Punkt wurden vor allem mit der Senatsverwaltung und später in der Planungsgruppe geführt. Dazu vermittelt das Jahrbuch ein Anzahl wichtiger Dokumente. Leider hat auch hier eine waltende Hand eingegriffen und wichtiges Material unterdrückt, etwa das Schreiben des Senators vom 1. November 1991 an Klinkmann, in der die Rechtsposition des Senats gegenüber der Gelehrtensozietät erläutert wird und die mit der Behauptung eingeleitet wird, es sei unstrittig, daß der Mitgliederbestand vor Inkrafttreten des Einigungsvertrages von keiner Einrichtung fortgeführt werden solle. Es könne nicht bezweifelt werden, daß die AdW "durch den Einigungsvertrag als Körperschaft des öffentlichen Rechts aufgelöst wurde, ihr Eigentum auf

das Land Berlin übergegangen ist und die Gelehrtengesellschaft ausschließlich als Personenverband fortbesteht".

Man hätte auch gern etwas von dem berüchtigten Thieme-Rechtsgutachten gelesen, das mit seiner die Fachleute erheiternden halsbrecherischen iuristischen Konstruktion dem Senator nach seinen eigenen Aussagen<sup>3</sup> den Rechtsmantel für sein Vorgehen lieferte, oder von dem Gegengutachten, das die Sozietät bei Pieroth (Marburg) und Schlink (Bonn) einholte. Für die Zusammenfassung von ie zwei Seiten wäre allemal noch Platz gewesen. So sollen an dieser Stelle wenigsten die Titel der Gutachten genannt werden, die für sich gesehen andeuten, worum es ging: "Rechtsgutachten über den Fortbestand und die Wieder-Ingangsetzung der Preußischen Akademie der Wissenschaften" (Thieme), und: "Fortbestand und Umfang der Gelehrtensozietät der Akademie der Wissenschaften der (ehemaligen) Deutschen Demokratischen Republik" (Pieroth, Schlink).

Beim Nachweis der Tätigkeit der Planungsgruppe im Jahrbuch ist der Leser erneut unangenehm berührt. Man darf daran erinnern, daß es sich ja um das Jahrbuch der AdW der DDR handelt, deren Gelehrtensozietät laut Art. 38(2)EV landesrechtlich fortgeführt werden sollte. Die Bildung der Planungsgruppe durch das Land Berlin war jene Maßnahme - die einzige Maßnahme -, die je nach Lesart zur landesrechtlichen Regelung der Fortführung der Gelehrtensozietät ohne die komplette Übernahme ihres Mitgliederbestands oder schlechtestenfalls zu einer neukonstituierten Akademie führen sollte. Ausgerechnet die Arbeitsmaterialien dieser Gruppe finden sich an einer Stelle wieder, wo der normale Menschenverstand sie nicht vermutet hätte: im Jahrbuch der Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1990 - 1992<sup>4</sup>, einer Akademie, die im Juli 1990 durch das Parlament aufgelöst wurde, bevor es das Wort Einigungsvertrag überhaupt gab, die nur bis Ende 1990 existierte und die mit Art.

Akademie der Wissenschaften zu Berlin. The Academie of Sciences and Technology in Berlin, Jahrbuch 1990 - 1992, Verlag de Gruyter Berlin, New York

1993.

U. a. vor Journalisten auf einer Pressekonferenz am 21 Januar 1992, auf der er Bilanz über ein Jahr seiner Wissenschaftspolitik in Berlin zog. Er habe das mit dem Thieme-Gutachten zur Verfügung gestellte Angebot eines Rechtsmantels gern aufgegriffen, wonach die alte Preußische Akademie fortbestehe und neukonstitujert werden könne. Eine Identifizierung mit der Gelehrtensozietät oder ein Anknüpfen an sie komme für ihn und für das Land Berlin überhaupt nicht in Frage, das sei undiskutabel und werde strikt abgelehnt.

38(2)EV nichts zu tun hatte, selbst wenn es in der Wendezeit verstohlene Kontakte zwischen den Präsidenten der AdW und dem AWB-Präsidenten Albach über eine mögliche Zusammenarbeit gegeben hatte, die aber zum Zeitpunkt der Bildung der Planungsgruppe längst erkaltet waren. Es gehört schon eine ungewöhnliche Souveränität gegenüber den Fakten und ein kontrafaktisches Selbstbewußtsein dazu, nach der vom Parlament beschlossenen Auflösung in der Planungsgruppe und ihrer Tätigkeit eine "Überleitung auf die Gesamtberliner Akademie der Wissenschaften" (Titel von Kapitel 2, in der die Materialien abgedruckt sind) zu sehen und unbeitrbar anzunehmen; die Planungsgruppe bereite eine Neuauflage der Akademie Berlin-West vor.

Im Jahrbuch Ost wird an mehreren Stellen auf bereits im Jahrbuch West veröffentlichte Dokumente zur Planungsgruppe verwiesen und auf den eigenen Abdruck verzichtet. Dazu gehören die von der Planungsgruppe ausgearbeiteten Empfehlungen zur Gründung einer Akademie der Wissenschaften zu Berlin und die hierzu eingeholten Stellungnahmen der Präsidenten der anderen deutschen Akademien und der großen Wissenschaftsorganisationen. Die Ausnahme bildet die Stellungnahme von Präsident Klinkmann zu den Empfehlungen im Namen der Gelehrtensozietät, die auf diese Weise weder im Jahrbuch Akademie-Ost noch im Jahrbuch Akademie-West erschien. Nicht veröffentlicht wurden auch die Protokolle der Sitzungen der Planungsgruppe, die eigentlich zum Abdruck im Jahrbuch Ost vorbereitet waren.

### Open end. Unerklärbares und unerklärtes Ende einer Sozietät

Das letzte Dokument zur Gelehrtensozietät im Jahrbuch ist ihre Stellungnahme vom 21. Januar 1992 zur 2. Fassung des Staatsvertrages über die
Akademie der Wissenschaften (S. 521). Hier endet die Dokumentation,
obwohl die Gelehrtensozietät danach noch weiter existierte - leibhaftig
wie de jure. Wie es mit der Gelehrtensozietät weiter- und zu Ende ging,
ob sie in der neukonstituierten Akademie aufging und was mit ihren
Mitgliedern geschah, erfährt der Leser aus dem letzten Jahrbuch der
DDR-Akademie nicht. Das Jahrbuch ist der Rechtsauffassung des Senats
erlegen, der die Gelehrtensozietät mit dem Erlöschen der Institute zum
31. Dezember 1991 für aufgelöst bezeichnete und diese im Widerspruch
zu Art. 38(2)EV stehende Behauptung schon 1991 wiederholt vor den
Medien und auch im Parlament bekräftigte, beispielsweise so: "Soweit
weiterhin Sitzungen des Plenums und der Klassen der Gelehrtensozietät

stattfinden, geschieht dies nicht in der früheren Rechtsgestalt der Gelehrtensozietät als öffentlich-rechtliche Einrichtung, sondern als eine privatrechtliche Einrichtung,"<sup>5</sup>

Das Konzept der Jahrbuchredaktion hatte ursprünglich vorgesehen, die Dokumentation bis zum Inkrafttreten des Staatsvertrages über die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften am 1. August 1992 zu führen und damit den historischen Anschluß sicherzustellen. Aber da die Herausgeberin respektierte, daß die Berliner Wissenschaftsverwaltung darüber anders dachte, bot sie ihr das Konzept zur Entscheidung an, und die Verwaltung nutzte die Gelegenheit, ihre verengte Sicht von Art. 38(2)EV auch auf das Akademiejahrbuch auszudehnen.

Hier ist also doch eine "historische Lücke" entstanden, die die Herausgeberin KAI e.V. mit dem Jahrbuch vermeiden wollte (Vorwort). Vielleicht hätte Präsident Klinkmann darauf Einfluß nehmen können, wenn er noch als Herausgeber fungiert hätte. Doch er war nicht mehr in der Partie, seine Herausgeberschaft war im Herbst 1992 extern und abrupt beendet worden, nachdem noch im Sommer 1992 zwischen ihm und dem KAI e.V.-Geschäftsführer Grübel Einvernehmen und feste Absprachen in dieser Frage bestanden<sup>6</sup>. Klinkmanns Proteste versickerten in einem sich hinziehenden Schriftverkehr, der mit dem Erscheinen des Jahrbuchs sein Ende fand. So wurde die unvergleichliche und kulturhistorisch einmalige Situation geschaffen, daß das Jahrbuch einer Akademie durch eine Behörde in seinem Konzept verfälscht und in seinem Inhalt beschnitten und zu allem Übel noch durch die einsame Entscheidung eines Unbeteiligten ohne die Akademie selbst und ihren Präsidenten herausgegeben wurde. Ihre Mitglieder durften ihr Jahrbuch käuflich erwerben,

Antwort von Wissenschaftssenator Erhardt auf eine Kleine Anfrage des Abgeordneten Fischbeck (Bündnis 90/Grüne) vom 14. 8, 91, abgedruckt in: Landespressedienst vom 10. 10. 91, S. 9. Auch auf der bereits erwähnten Pressekonferenz am 21. Januar 1992 nahm der Senator zu dieser Frage Stellung und erklärte erneut, die Gelehrtensozietät sei mit dem 31. 12. 1991 beendet, sie habe davor bestenfalls als eine private BGB-Vereinigung existiert und sei demzufolge rechtlich nicht mehr existent.

Diepold Salvini-Pławen an Klinkmann in einem Schreiben vom 15. Dezember 1992: "Sie hatten gemeinsam mit Herrn Grübel, meinem Vorgänger als Geschäftsführer, wohl ins Auge gefaßt, die Herausgeberschaft für das Jahrbuch gemeinsam zu übernehmen. Als neuer Geschäftsführer kann ich mich mit diesem Vorhaben nicht anfreunden, Ich habe mich entschieden, daß KAI e.V. der Herausgeber sein wird und im Hinblick auf die ungeklärten Zuständigkeiten auch sein maß."

wenn sie es denn lesen wollten, obwohl ihnen ein Belegexemplar zugestanden hätte und vor Tische von der Herausgeberin auch fest zugesichert war.

Der Zeitverkürzung fiel also auch jener Teil einer möglichen Dokumentation zum Opfer, der Auskunft hätte geben können, wie die Sozietät ihr wissenschaftliches Leben und ihre Auseinandersetzung um die von ihr vertretene Rechtsposition weiterführte, wie die Eigenevaluation der Akademiemitglieder verlief und welches Ergebnis sie brachte und wie die von der Sozietät und ihrem Präsidenten angestrebte Anwartschaft auf Mitgliedschaft endete. Nicht informiert wird, wie die Gelehrtensozietät sich zum Staatsvertrag und zur neukonstituierten Berlin-Brandenburgischen Akademie positionierte und wie, wann, ob und warum sie schließlich ihre Arbeit einstellte. Es bleibt undokumentiert, ob es einen juristischen Schlußpunkt ihrer Existenz gegeben hat, oder ob sie vielleicht doch noch existiert, möglicherweise in Anlehnung an die Thiemesche Denkschleife diesmal nicht als öffentlich-rechtliche Körperschaft ohne Mitglieder (wie die Preußische Akademie zu DDR-Zeiten in der Auffassung des Senators), sondern als Mitgliederbestand ohne eine Körperschaft als Rechtshülle und ohne Vermögen. Im Text des Gesetzes zum Staatsvertrag über die Neukonstituierung der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften jedenfalls ist die Auflösung der Gelehrtensozietät nicht vorgesehen, obwohl der Staatsvertrag der Senatsverwaltung dazu diente, den Akademiemitgliedern das Erlöschen ihrer Mitgliedschaft glaubhaft zu machen, und obwohl in Artikel 12 (2) geregelt wird, daß das nirgendwo festgestellte Vermögen der nicht mehr existierenden Sozietät an die BBAW übergeht.

Unbeschrieben bleibt im Jahrbuch auch, wie die Planungsgruppe und das von ihr benannte Wahlgremium für die ersten 50 Mitglieder der neuen Akademie agierten. Vereinzelte Dokumente aus diesem Komplex sind im Akademiejahrbuch (West) 1990-92 und auch im ersten Jahrbuch der BBAW enthalten, doch ein reales Bild von den letzten Monaten der Gelehrtensozietät und damit von einem wichtigen Teil der Berliner Akademiegeschichte kommt dadurch nicht zustande.

Man kommt zu dem Schluß, daß das Jahrbuch offenkundig nicht zu Ende geführt wurde und daß bei nicht wenigen wichtigen Problemkreisen zusätzlicher Dokumentations- und, dem folgend, Interpretationsbedarf besteht. Hier sind Nacharbeit und Nachdenken angesagt. Wer dieses leisten wird, ist weitgehend offen. Es wäre an der Zeit, hier Zeichen zu

setzen. Es ist beispielsweise schlecht vorstellbar, daß eine Akademie, die auf ein für sie neukonstruiertes 300jähriges Jubiläum zusteuert, 50 Jahre ihrer Vorgeschichte für mitglieds- und geschichtslos deklariert, nur weil es einigen ihrer Zuwendungsgeber momentan nicht in den politischen Kram paßt. Sie kann wohl auch kaum für den Unfug verantwortlich germacht werden, den Politiker vor und nach 1989 angerichtet haben und muß sich dem wohl auch nicht anschließen. Es ist jedenfalls nicht recht vorstellbar, daß man Wissenschaftler wie Butenandt, Bohr, Heisenberg, v. Laue, Einstein, Planck, (allesamt Nobelpreisträger), Lise Meitner, Lukacs, Rössle, Hartung, Baumgarten und wie auch immer die anderen Mitglieder hießen, die als Mitglieder der Preußischen Akademie Mitglieder der Deutschen Akademie der Wissenschaften wurden und sich dazu bekannt haben, nicht posthum aus der Mitgliederliste streichen kann, weder aus der der Preußischen noch aus der der Deutschen. Es darf daran erinnert werden, daß es die Mitglieder sind und nicht ihre juristische Verfassung und deren spitzfindige Traumdeuter, die immer noch das ausmachen, was eine Akademie in ihrem Wesen ist.

Bleibt als Letztes noch darauf zu verweisen, daß es keinen Sinn macht, über die vielen redaktionellen Unstimmigkeiten, die zahllosen Schludrigkeiten, Druckfehler und gestalterischen Unzulänglichkeiten des Jahrbuchs zu reden. Zum einen wird es keine Nachauflage und demzufolge keine Möglichkeit zu Korrekturen geben. Zum anderen mußte die Redaktion sozusagen mitten in der Arbeit aufhören, weil die ABM-Stellen der Redaktion (die überhaupt nur durch gerichtliche Nachhilfe zustandegekommen waren) ausgelaufen waren und auch eine freiwillige unentgeltliche Weiterarbeit von mehreren Monaten die Schwierigkeiten eines solchen Unternehmens nicht ausräumen konnte. So wirkt das Jahrbuch in manchen Zügen wie ein Halbfabrikat, dessen Zwischenbearbeitungsstand ohne weiteres fachgerechtes Hinsehen gedruckt wurde.

Verlegerisch ist das Jahrbuch eine ganz unglückliche Leistung, die von der Mißachtung des Gegenstandes und der vorangegangenen redaktionellen Arbeit durch den Akademiverlag zeugt. Es scheint, als hätte der Verlag, dem die Lektorierung und Gestaltung oblag, für jeden deutlich machen wollen, daß diesem Verlagstitel - anders als früheren und zeitgenössischen Akademiejahrbüchern - nicht seine Zuneigung galt. Dieser Nachweis ist ihm überzeugend gelungen, zum Ruhm des Verlages wird der Titel nur insofern beitragen, als er überhaupt erschienen ist. Denn der interessierte Leser nimmt all diese Widrigkeiten in Kauf, sie sind

marginal gegenüber der Tatsache, daß das Jahrbuch existiert. Aus dieser Sicht sollte die wissenschaftliche Öffentlichkeit allen, die daran mitgearbeitet oder sich dafür eingesetzt haben, ihren Dank nicht versagen.

Herbert Wöltge

#### Bei anderen gelesen:

Dieter Simon

# Das Gedächtnis der Juristen\*

I.

Vom Gedächtnis der Menschen, ihrem individuellen und kollektiven, war in den letzten Jahren viel die Rede. "Memoria" hat es bis zum Modewort gebracht.

Bei Worten ist es nicht geblieben. Die aufregende zweigleisige Funktion der Memoria, ihre wundersame Fähigkeit, bald mit der Erinnerung und bald mit deren Negation, dem Vergessen, operieren zu können, bringt Gedächtnis bei schlechterdings jedem Ereignis ins Spiel.

Schönes und Erhabenes ist zu erinnern. Häßliches und Schändliches soll vergessen werden. Oder auch umgekehrt: Erinnerung an all das Böse soll zum Guten mahnen und Vergessen auch des Guten Spielraum für die Schöpfung des Besseren schaffen. Eine Gedächtnis-Industrie hat sich installiert, sie hat sich mit dem Tourismus verbunden und gebiert in immer kürzeren Abständen Erinnerungsprodukte: Museen, Gedenkstätten, Ausstellungen, Denkmäler ... Pluralisierung der Interessen, Zunahme des Wissens und Schärfung historiographischen Bewußtseins haben die Gegenstände vervielfältigt und die Abstände verkürzt. ... Wo immer in der erinnerungsträchtigen Erdkruste sich ein kleines Loch zeigt oder gegraben wird, da hüpfen die Knochen der Vergangenheit in die Gegenwart; werden rasch umzäunt, für das Publikum gesperrt, sorgfältig kartographiert und dann andächtig folgenloser Besichtigung preisgegeben. Die Memorialisierung der Welt hat, das ist bekannt, alles und alle erfaßt. Dem Sachverhalt verdankt sich eine umfangreiche Meta-

Auszug aud der Akademievorlesung von Dieter Simon, gehalten am 9. November 1995. Die Vorlesung erscheint in: Berichte und Abhandlungen der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Band 2, Akademie Verlag Berlin 1996. Vorabdruck mit freundlicher Genehmigung des Autors und des Verlages.

Deutungs- und Grübelliteratur, die auf der Suche nach Gründen für diesen Vorgang auch Zutreffendes herausfand.

Die bedeutsamen Erfolge der modernen Hirnforschung werden benannt, die, gemeinsam mit den Einsichten psychologischer und medizinischer Kognitionsforschung, das allgemeine und philosophische Interesse am Gedächtnis belebt hätten. Das ist richtig, denn zentrale Elemente der Erkenntnistheorie des radikalen Konstruktivismus und manche Teile der jüngeren soziologischen Systemtheorie wären ohne diese naturwissenschaftlichen Entdeckungen nicht denkbar gewesen.

Auch die Entwicklung der Computertechnik, die es nahelegte, den Datenspeicher der Maschinen als Gedächtnis zu analogisieren und die umgekehrt dazu anregte, dem menschlichen Gedächtnis mit einem verfehlten Speichermodell nachzujagen, werden in diesen Kontext gestellt - ebenso der Fragenkomplex der künstlichen Intelligenz und die ihm nahestehende Endophysik.

Aber der wichtigste Grund für die Konjunktur des Gedächtnisses liegt außerhalb der erwähnten, auf Wissenschaft beschränkten Entwicklungen: Geplagt vom "Furor des Verschwindens" (Enzensberger) suchen die Gesellschaft und der Einzelne erinnernd nach sich selbst, nach ihrer "Identität", gehen gegen ihre Unsicherheiten vor, indem sie sich "Kontinuität" und "Tradition" schaffen und beschaffen.

Bald werden jede Straße und jedes Haus von einem Schilderwald der Erinnerung umstellt sein, um festzuhalten, was doch nicht zu fixieren ist. Was 1858 Johann Gustav Droysen in seiner *Historik* für die Historiker und ihre Bücher 1858 schrieb, gilt heute, wo die Welt niemandem mehr unveränderbar anvertraut und vorgegeben und für alle zur Geschichte geworden ist, für jeden:

"Geschichte ist nicht die Summe der Geschehnisse, nicht aller Verlauf aller Dinge, sondern ein Wissen von dem Geschehenen und das so gewußte Geschehene. Ohne dies Wissen würde das Geschehene sein, als wäre es nicht geschehen. Denn soweit es äußerlicher Natur war, ist es vergangen; nur erinnert, soweit und wie es der wissende Geist hat, ist es unvergangen; nur gewußt ist es gewiß."

Der Gesellschaftstheoretiker Niklas Luhmann, der sich - ausnahmsweise im kulturwissenschaftlichen *mainstream* schwimmend - zur Zeit anschickt, eine Theorie des Gedächtnisses zu entwerfen, sieht zwar die Hauptfunktion des Gedächtnisses im Vergessen und widerspricht damit

der vielhundertjährigen Verehrung des guten Gedächtnisses, wie sie die andächtigen Geschichten über große Feldherren von Xerxes bis Napoleon memorieren, Heerführer, deren Charisma sich unter anderem darin bewies, daß sie sich an jeden einzelnen Soldaten ihrer Riesenheere erinnern konnten. Aber das ist nicht wirklich ein Widerspruch.

Eben weil das Gedächtnis ständig räumt, um Kapazität freizumachen für die Informationsverarbeitung, aber das Nicht-Mehr-Gewußte wie das Nichtgewußte nicht ist, eben deswegen schwellen die Magazine an, die Bücher unterstützen die Köpfe und die Maschinen entlasten die Bücher, um die Welt zu vergrößern, deren Komplexität wir doch eigentlich reduzieren möchten.

Was dann wieder neue Anstrengungen verlangt, um auf den immensen Fluten der Geschehnisse zu kreuzen und die Lage zu erkennen.

II.

An Juristen pflegt man in solchen Zusammenhängen eher nicht zu denken. Das wird für selbstverständlich gehalten, wer juristische Experten für nichts anderes hält als die trockenen Exegeten des Seienden, allenfalls geeignet und befugt, der Herrschaft die Aufmarschpläne zu liefern, aber nicht kompetent zum Entwurf der Ziele. Tatsächlich könnte vor solcher Fehlbewertung bereits Hitlers schäumende Wut auf die Juristen bewahren oder die Schizophrenie der jungen DDR, die den Juristen zwar die Ausarbeitung der Verfassung anvertraute, ihnen deren Kommentierung aber untersagte. Ein Beispiel mag zeigen, wie die Dinge liegen: Die DDR hat bekanntlich eine Akademie der Wissenschaften hinterlassen, die aus Gründen, die uns hier nicht interessieren sollen, aufgelöst wurde. Alsbald entstand die Frage nach den Folgen. Wie so häufig, wenn einer gestorben ist, begann man zu ergründen, wer er gewesen. War nur die Akademie der Wissenschaften der DDR verschieden? Oder auch die Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin? Hatte der Tod auch die Preußische Akademie der Wissenschaften in Berlin erfaßt? Und wo war eigentlich die Akademie der Wissenschaften in Berlin von 1813 hingeraten? Schwierige Fragen; Fragen, deren Beantwortung man mit Vorliebe Juristen überläßt.

Also fragte man den Juristen Werner Thieme - und der begann im Wege eines Rechtsgutachtens sich zu erinnern.

Seit wir über die Schrift verfügen, kann jede Erinnerung irgendwo beginnen. Denn sie ist von persönlicher Erfahrung unabhängig und vom

Gehirn externalisiert. Thieme begann 1945 und stellte fest, daß bis dahin die *Preußische Akademie der Wissenschaften in Berlin* nach allgemeiner Meinung jedenfalls noch bestanden habe.

In Kriegszeiten geht allerdings mancherlei unter, so daß jetzt die Frage gestellt werden mußte, ob dies auch für die Preußische Akademie galt. Zunächst war unübersehbar, daß es irgendwann keine Mitglieder dieser Akademie mehr gab. Aber das hatte noch nichts zu bedeuten. Denn anders als private Vereine, deren Ende gekommen ist, wenn das letzte Mitglied in dieser oder jener Weise entschwindet, muß bei staatlichen Gründungen der Staat auch das Ende durch Auflösung herbeiführen. Akademien sterben nicht, sie müssen liquidiert werden. Das aber hatte der preußische Staat nicht getan: weder er, obwohl er, wie sorgfältig festgestellt wurde, zunächst noch existierte - er wurde erst 1947 aufgelöst - noch irgendeine andere Macht, die vielleicht an seiner Stelle befugt gewesen wäre.

Also, so scheint es, mußten die Zeitgenossen der ersten Nachkriegszeit eigentlich vom Fortbestand der Akademie ausgehen. Das taten sie auch, wie die am 1. August 1946 durchgeführte Wiedereröffnungsfeier bezeugt. Der Präsident sprach von "unserer Akademie", die "unter neuem Namen zu einer neuen Periode ihres Daseins" aufbreche. Aber diese "Wiedereröffnung" durch Mitglieder der vorigen Preußischen Akademie war für Phantasieprodukt der Thieme ein seinerzeitigen Juristen Festversammlung. In Wahrheit handelte es sich, wie er der Vergangenheit verordnete, um die Eröffnung einer ganz anderen Akademie, die Deutsche Akademie der Wissenschaften genannt wurde. Mochten die Beteiligten auch noch so fest an eine Wiedereröffnung glauben: es war doch eine neue Akademie. Denn schließlich hatte sie eine neue Satzung und - was noch viel wichtiger war - einen neuen Geist.

Der alte Geist blieb in der alten Akademie, die recht eigentlich zu einer Geisterakademie wurde und von der es, wie in Geistergeschichten sonst auch, deshalb zu recht heißen konnte: "und wenn sie nicht gestorben sind, dann leben sie noch heute".

Da offenbar die Preußische Akademie nicht gestorben war, lebte sie 1990 noch, und da sie auch damals nicht aufgelöst wurde, müßte sie eigentlich immer noch leben. Und das tut sie ja auch: hic et nunc! Da das Leben nicht mehr ganz so kräftig war, mußte sie wiederbelebt, "neukonstituiert", wie wir sagen, werden und brach alsdann "unter neuem Namen zu einer neuen Periode ihres Daseins" auf. Diese Feststellung hat zwar

eine gewisse formale Ähnlichkeit mit der vorhin zitierten Äußerung des Präsidenten Stroux, aber der fundamentale Unterschied zwischen "Wiedereröffnung" und "Neukonstituierung" sollte allgemein klar sein. Schließlich ist das erste deutsch und das zweite lateinisch.

Die Folge dieser Distinktion begegnet Ihnen heute abend unter dem klugen Namen Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. Diese ist demnach trotz neuen Namens, neuer Satzung und neuer Mitglieder keine neue Akademie, sondern die alte, sogar die uralte, von Leibniz gegründete, denn im Jahre 2000 wird sie ihr 300jähriges Bestehen feiern - es sei denn, ein anderer Jurist erklärt uns zu jenem Zeitpunkt, daß wir nur glauben, dieser Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften anzugehören, während wir in Wirklichkeit in keiner oder in einer ganz anderen Akademie leben - womöglich in der AdW der DDR.

Das Beispiel zeigt, was Juristen vermögen und warum es ratsam ist, die Operationen ihres Gedächtnisses zu beobachten. Sie formatieren mit normativer Kraft die Welt, in der wir leben. Geltung triumphiert über Faktizität und läßt Gewolltes vergehen, Nichtgewolltes entstehen. Sie entwerfen die Geschichten, die wir zu erinnern haben und verordnen uns, welche Konstellationen wir vergessen müssen.

Das Gedächtnis der Juristen scheidet die Vergangenheit von der Gegenwart und sagt, was künftig gegeben sein wird. Wie die Hadesfahrer der Antike steigen Juristen als Lebende durch die Zeit zu den Toten, um aus dem Schatten der Vergangenheit die Normen und nicht bloß die, sondern auch die Fakten, für die Gegenwart zu gewinnen. Im Mythos der Gegenwart finden diese Fahrten freilich nicht mehr statt, so daß es Thieme erspart bleiben wird, dem Verfasser von summum ius, summa iniuria, Johannes Stroux, dem großen Philologen und ersten Präsidenten der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, im Totenreich zu begegnen und erklären zu müssen, wie es möglich wurde, daß Stroux zugleich unbewußtes Mitglied einer ruhenden Körperschaft und bewußter Präsident einer Akademie war, die er für eine andere hielt.