



Berichte und Abhandlungen / Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (vormals Preußische Akademie der Wissenschaften) ; Band 4

Berlin: Akademie-Verl., 1997
ISBN: 3-05-003197-2

Persistent Identifier: [urn:nbn:de:kobv:b4-opus-28681](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:b4-opus-28681)

Die vorliegende Datei wird Ihnen von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften unter einer Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (cc by-nc-sa 4.0) Licence zur Verfügung gestellt.



BERLIN-BRANDENBURGISCHE
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

(vormals Preußische Akademie der Wissenschaften)

Berichte und Abhandlungen

Band 4



Akademie Verlag

Herausgeberin: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
Redaktion: Renate Nickel, Kathrin Künzel
Redaktionsschluß: 31. Mai 1997

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften :
Berichte und Abhandlungen / Berlin-Brandenburgische
Akademie der Wissenschaften (vormals Preussische Akademie
der Wissenschaften). – Berlin : Akademie Verl.
Erscheint jährlich – Aufnahme nach Bd. 1 (1995)

Bd. 1 (1995) –

ISBN 3-05-003197-2

© Akademie Verlag GmbH, Berlin 1997
Der Akademie Verlag ist ein Unternehmen von WILEY-VCH.

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

Druck und Bindung: Druckhaus „Thomas Müntzer“ GmbH, Bad Langensalza

Printed in the Federal Republic of Germany

Inhalt

I. Wissenschaftliche Vorträge in den Klassen

Bärbel Friedrich	Wasserstoff: eine früh verfügbare Energiequelle der biochemischen Evolution	9
Bernd Hillemeier	Innovationen am Baustoffmarkt – Neue Baustoffe sichern das Bauen	23
Christoph Polze	Beiträge zur Systemarchitektur	41
Wolfgang Hackbusch	Numerische Mathematik und ihre Wechselwirkung mit der gegenwärtigen Rechnerentwicklung	55

II. Akademievorlesungen

Timothy Garton Ash	Geschichtsaufarbeitung nach dem Kommunismus Das deutsche Beispiel im europäischen Vergleich	71
Wolfgang K. Giloi	Die Ungnade der frühen Geburt – in memoriam Konrad Zuse (1910–1995) – . . .	93
Theodor Hiepe	„Rinderwahnsinn“ – ein Wahnsinn? BSE – eine seuchenhaft auftretende Rinderkrankheit und deren Folgen	111

III. Festschrift zum 100. Todestag von Emil du Bois-Reymond (1818–1896)

Randolf Menzel	Einführung	145
Rolf Winau	Emil du Bois-Reymond Leben und Werk	149
Ernst Florey	Das 5. Welträtsel – Ignorabimus? Über die Unmöglichkeit, bewußtes Empfinden physiologisch zu erklären.	161
Wolf Singer	Bewußtsein, etwas „Neues, bis dahin Unerhörtes“	175

Anhang

Hinweise zu den Autoren	193
-----------------------------------	-----

I.

Wissenschaftliche Vorträge in den Klassen

Bärbel Friedrich

Wasserstoff: eine früh verfügbare Energiequelle der biochemischen Evolution

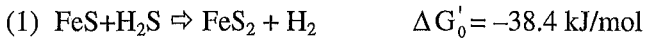
*(Vortrag in der Sitzung der biowissenschaftlich-medizinischen Klasse
am 18. Mai 1995)*

1 Einführung

Der biologischen Evolution ging vor etwa 4,5 Milliarden Jahren eine chemische Evolution voraus. Diese hat sich in einer, anoxigenen, d. h. weitgehend sauerstofffreien Umgebung vollzogen, in der neben Wasser die gasförmigen Verbindungen Methan, Kohlendioxid, Stickstoff, Ammoniak, Kohlenmonoxid und Wasserstoff sowie beträchtliche Mengen an Sulfiden vorhanden waren. Es herrschten hohe Temperaturen, und es ist allgemein anerkannt, daß unter diesen reduzierenden Bedingungen, katalysiert durch Sonnenlicht, elektrische Entladung und vulkanische Aktivitäten, biochemisch wichtige Moleküle wie Zucker, Aminosäuren, Nucleinsäuren, Fettsäuren und deren Polymere entstehen konnten. Diese „Ursuppentheorie“ wurde im Laboratorium experimentell gestützt (Dickerson, 1985). Skeptiker bezweifeln freilich, daß die Konzentration der Stoffe in wässriger Lösung unter den natürlichen Gegebenheiten für eine effiziente Polymerensynthese ausgereicht haben könnte, zumal die Bildung von Proteinen und Nucleinsäuren auf Dehydratisierungsreaktionen beruht. Der Münchener Chemiker und Patentanwalt Günter Wächtershäuser hat diesen Widerspruch aufgegriffen (Wächtershäuser, 1992) und das Konzept von der biochemischen Evolution überzeugend durch folgende Postulate modifiziert:

- Die Biomoleküle sind nicht durch spontanes Zusammenlagern in einer „präbiotischen Suppe“ entstanden, sondern sie haben sich durch Synthese an positiv geladenen, relativ dehydrierten Oberflächen gebildet, an denen die negativ geladenen monomeren Ausgangsmoleküle akkumulieren.
- Pyrit (FeS_2) wird als Matrix für den zweidimensionalen Syntheseprozess favorisiert, der elementare Stoffwechselzyklen und schließlich primitive Zellstrukturen hervorgebracht haben könnte.

- Die Annahme, daß der chemolithoautotrophe Stoffwechsel auf der urzeitlichen Eisen-Schwefel-reichen Erde zuerst entstanden ist, wird überzeugend begründet. Tatsächlich ist die chemolithoautotrophe Lebensweise typisch für eine Vielzahl hyperthermophiler Archaea, die, phylogenetischen Kenntnissen folgend, sehr frühen Ursprungs sind. Sie besitzen die Fähigkeit, bei Temperaturen über 80 °C zu wachsen und aus der mit Wasserstoff getriebenen Reduktion von Schwefel (S⁰) Energie zu gewinnen (Lithotrophie), die sie nutzen, um Kohlendioxid über den reduktiven Tricarbonsäure-Zyklus in Zellsubstanz zu fixieren (Autotrophie).
- Das Evolutionskonzept gewinnt durch eine weitere Beobachtung an Aussagekraft; die Entstehung von Pyrit ist exergon:



Die Reaktion liefert also Energie und könnte die oben genannten chemischen Synthesen batterieartig katalysieren.

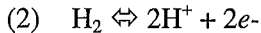
In Übereinstimmung mit diesen Thesen ergibt sich die plausible Schlußfolgerung, daß der bei der Pyritbildung freigesetzte Wasserstoff frühen Lebewesen als eine urtümliche Energiequelle gedient haben könnte. Ein einfacher Energiemetabolismus, der nur drei enzymatisch beschleunigte Reaktionen einschließt, ist wie folgt denkbar: Wasserstoff wird an einer biologischen Membran durch das Enzym Hydrogenase in Protonen und Elektronen gespalten. Letztere werden von einem zweiten elektronenakzeptierenden Redoxprotein, der Schwefel-Reduktase, aufgenommen und zur Reduktion von Schwefel genutzt. Das entstehende H₂S fließt nach Gleichung 1 in den Reaktionsprozeß der Pyritbildung zurück. Der aufgebaute Protonengradient wird von einer primitiven ATPase mit der Synthese von ATP gekoppelt. Damit ist Wasserstoff nicht nur für unsere heutige industrialisierte Gesellschaft ein attraktiver, da umweltverträglicher Energieträger, sondern wäre bereits von einer Gruppe frühzeitlicher Lebewesen erfolgreich als biologisch verwertbare Energiequelle erschlossen worden.

Im folgenden möchte ich an einem Modell, das in der eigenen Arbeitsgruppe erforscht wird, die bisher bekannten Voraussetzungen beschreiben, die für die Biogenese und Funktion eines H₂-umsetzenden Biokatalysators, genannt Hydrogenase, erfüllt sein müssen.

2 Verbreitung und Eigenschaften von Hydrogenasen

Vor etwa 65 Jahren beschrieben Stephenson und Stickland (1931) Bakterien, die Wasserstoff zu bilden oder zur Reduktion physiologischer bzw. artifizieller Ak-

zeptoren zu nutzen vermögen. Diese Organismen verfügen über das Enzym Hydrogenase und katalysieren folgende reversible Reaktion:



Hydrogenasen sind ubiquitär (Wu/Mandrand, 1993) und in allen drei Entwicklungslinien des phylogenetischen Stammbaums anzutreffen, den Bacteria, Archaea und Eukarya. In nahezu allen Gruppen der Bacteria, auch Eubakterien genannt, gibt es hydrogenasehaltige Organismen. Darunter befinden sich Gram-positive und Gram-negative, Phototrophe sowie die hyperthermophilen Vertreter *Aquifex pyrophilus* und *Hydrogenobacter thermophilus*. Die beiden letztgenannten bilden den tiefsten Verzweigungspunkt des phylogenetischen Stammbaums der Bacteria, was die These stützt, daß Hydrogenasen frühe Bausteine der Evolution sind. Damit im Einklang steht die Präsenz dieser Enzyme in methanogenen und hyperthermophilen, schwefelabhängigen Archaea. Prominentester Vertreter ist *Pyrodicticum* mit einem Temperaturoptimum von 105 °C. Unser Wissen über Hydrogenasen in Repräsentanten der nuklearen Domäne, der Eukarya, ist noch sehr begrenzt. Nachweislich sind Hydrogenasen in Algen gefunden worden. Interessant ist die Erkenntnis, daß energieliefernde Systeme jüngeren Ursprungs, z. B. die mitochondriale NADH-Ubichinon-Oxidoreduktase (Complex I), Strukturelemente von Hydrogenasen enthalten (Friedrich/Weiss, 1996).

In den 70er Jahren wurden durch physiologische Studien, Isolierung und biochemische Charakterisierung von Hydrogenasen umfangreiche Daten über Funktion, Zusammensetzung und katalytische Eigenschaften dieser Enzymfamilie gewonnen (Schlegel/Schneider, 1985). Neue Erkenntnisse über deren molekularen und atomaren Aufbau sowie den Katalyse-Mechanismus lieferten molekularbiologische Arbeiten, begleitet von Röntgenstrukturanalysen und spektroskopischen Untersuchungen (Voordouw, 1992; Volbeda et al. 1995; Albracht, 1995). Hydrogenasen katalysieren die in Gleichung 2 dargestellte Reaktion und werden aufgrund ihres Metallgehaltes in zwei Hauptgruppen klassifiziert:

- nur Eisen-enthaltende [Fe]-Hydrogenasen. Sie sind in strikt anaeroben Organismen anzutreffen und durch extreme Sauerstoffempfindlichkeit gekennzeichnet.
- Eisen- und zusätzlich Nickel-enthaltende [NiFe]-Hydrogenasen. Nickelionen sind für die katalytische Aktivität dieser am weitesten verbreiteten sauerstofftoleranten Enzyme essentiell. Eine Variante der Klasse 2, [NiFeSe]-Hydrogenase, enthält außerdem Selen und kommt sowohl in sulfatreduzierenden Bacteria als auch in methanogenen Archaea vor.

Interessant ist das Auftreten multipler Hydrogenasen in einem einzigen Organismus. Diese Isoenzyme unterscheiden sich häufig in Zusammensetzung und/oder Funktion. So besitzt das Enterobakterium *Escherichia coli* drei [NiFe]-Hydro-

genasen, von denen eine H_2 freisetzt und zwei H_2 oxidieren. Das methanogene Bakterium *Methanococcus voltae* enthält die genetische Information zur Bildung von vier Hydrogenasen: zwei [NiFe]- und zwei [NiFeSe]-Enzyme, die sich jeweils in ihrer Elektronenakzeptorspezifität unterscheiden. Gleiches trifft für die zwei [NiFe]-Hydrogenasen des Gram-negativen Bakteriums *Alcaligenes eutrophus* zu, von denen eines NAD^+ als Akzeptor nutzt und direkt mit H_2 reduziert. Schließlich sind in Sulfatreduzenten der Gattung *Desulfovibrio* alle drei Typen von Hydrogenasen vereint (Wu/Mandrand, 1993).

Die erste und bisher einzige dreidimensionale Struktur einer Hydrogenase wurde 1995 von einer französischen Gruppe publiziert (Volbeda et al., 1995). Sie gab am Beispiel des periplasmatischen Enzyms aus *Desulfovibrio gigas* einen Einblick in den atomaren Aufbau einer Standard-[NiFe]-Hydrogenase, wie sie in Abb. 1 schematisch dargestellt ist. Obgleich das H_2 -aktivierende Zentrum noch nicht vollständig aufgelöst werden konnte, lassen die Daten in Verbindung mit zwischenzeitlich erzielten Strukturverfeinerungen und infrarotspektroskopischen Analysen (Albracht, 1995) folgende Aussagen zu:

- Das aktive Zentrum ist binuklear, d. h. es besteht aus Ni- und Fe-Atomen, die über vier bzw. zwei cysteinstämmige Thiolgruppen mit dem Protein verknüpft sind. Ein Paar dieser Schwefelliganden überbrückt die beiden Metalle.
- Die zunächst in der Kristallstruktur als H_2O gedeuteten nicht-proteingebundenen Moleküle am Eisenatom sind spektroskopischen Erkenntnissen zufolge ungewöhnliche diatomare CO- bzw. CN-Liganden. Damit ist ein völlig neues redoxaktives Metallzentrum entdeckt worden.

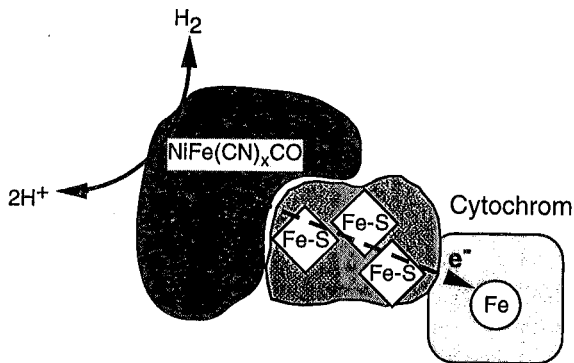


Abb. 1
Struktur einer Standard-[NiFe]-Hydrogenase
[modifiziert nach Volbeda et al., 1995]

- Die kleine elektronentransferierende Untereinheit der Hydrogenase verfügt über eine breite Kontaktfläche zur großen Untereinheit, so daß das [NiFe]-Zentrum tief im Innern des oligomeren Proteins verborgen ist. Drei [Fe-S]-Cluster sind in der kleinen Untereinheit aneinandergereiht und sind wahrscheinlich am Elektronentransfer vom katalytischen Zentrum auf den Primärakzeptor, in diesem Fall ein Cytochrom *c*, beteiligt.

3 Das H₂-oxidierende Enzymsystem in *Alcaligenes eutrophus*

Molekulare Untersuchungen an chemolithoautotrophen Archaea sind gegenwärtig nur sehr begrenzt möglich, da das erforderliche experimentelle Instrumentarium noch lückenhaft ist. Um den Katalysemechanismus, die Bildung aktiver Hydrogenase sowie die Regulation der daran mitwirkenden Komponenten auf molekularer Ebene aufzuklären, wählten wir das chemolithoautotrophe Bakterium *Alcaligenes eutrophus* als Modell. Es gehört zur größten, physiologisch diversen Gruppe der Purpur- oder Proteobakterien und ist leicht kultivierbar. *A. eutrophus* wächst bei mittleren Temperaturen (30–37 °C) fakultativ chemolithoautotroph, d. h. der Organismus verwertet neben H₂ und CO₂ eine Vielzahl von organischen Substraten chemoorganoheterotroph und nutzt neben Sauerstoff auch Nitrat bzw. Nitrit als terminalen Elektronenakzeptor der Atmung. Aufbauend auf breiten Kenntnissen der Physiologie und Biochemie der H₂-Oxidation (Bowien/Schlegel, 1981; Schlegel/Schneider, 1985), entwickelten wir für *A. eutrophus* ein genetisches System und erkannten im Verlauf dieser Studien die essentielle Funktion von Nickelionen für die Bildung aktiver Hydrogenase (Friedrich/Friedrich, 1990). Der aktuelle Kenntnisstand über die Struktur und Funktion der beiden [NiFe]-Hydrogenasen in *A. eutrophus* ist in einem Modell veranschaulicht (Abb. 2).

Der Organismus besitzt eine membrangebundene Hydrogenase (MBH), die in ihrer dimeren Form der in Abb. 1 beschriebenen Standard-Hydrogenase sehr ähnlich ist. Anders als das lösliche periplasmatische Enzym aus *D. gigas* koppelt die MBH nicht mit Cytochrom *c*, sondern ist auf der periplasmatischen Seite über ein Cytochrom *b*-artiges Protein fest mit der Membran verankert (Bernhard et al., 1996). Dieser Membrananker dient sehr wahrscheinlich gleichzeitig als primärer Elektronenakzeptor und leitet die Elektronen über Komponenten der Atmungskette auf Sauerstoff. Verbunden ist dieser Prozeß mit der Errichtung eines Protonengradienten und der Konservierung biochemischer Energie in Form von ATP. Die Entfernung des Cytochrom *b*-ähnlichen Proteins durch Ausschaltung des dafür kodierenden Gens, unterbricht den Elektronenfluß vom Wasserstoff zum Sauerstoff. Das weiterhin mit künstlichen Elektronenakzeptoren reagierende

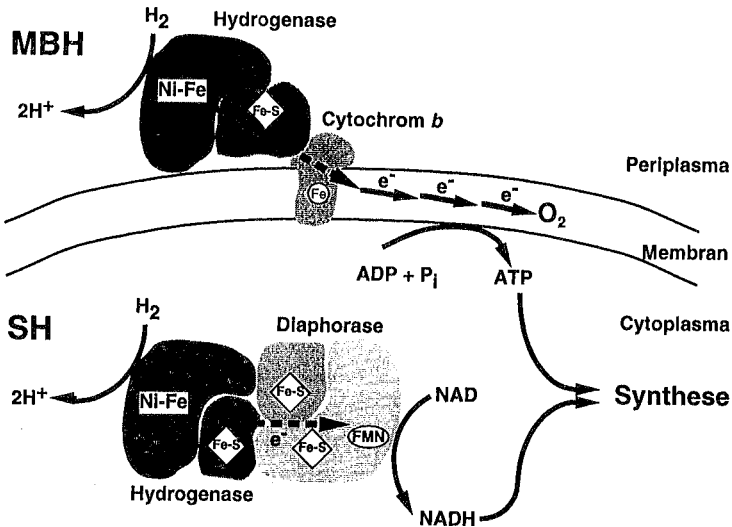


Abb. 2

Zusammensetzung und Funktion zweier [NiFe]-Hydrogenasen in *A. eutrophus*

MBH-Mutantenenzym ist erwartungsgemäß nicht mehr membrangebunden, sondern löslich und im periplasmatischen Raum der Zelle lokalisiert.

Die lösliche Hydrogenase (SH) in *A. eutrophus* ist ein cytoplasmatisches Enzym. Sie besteht aus zwei heterologen Komponenten, dem Hydrogenase- und dem Diaphorase-Dimer (Abb. 2). Das Hydrogenase-Dimer zeigt Ähnlichkeit zu der Standard-Hydrogenase (Abb. 1), auffällig ist jedoch eine Verkürzung der elektronentransferierenden Untereinheit, die anzeigt, daß die Elektronen auf einen anderen Akzeptor fließen. Die Verbindung zu diesem Endakzeptor (NAD⁺) wird durch Assoziation mit dem Flavin- und [Fe-S]-haltigen Diaphorase-Dimer hergestellt. Dieser Teil der SH vermittelt NADH-Oxidoreduktase-Aktivität und zeigt bemerkenswerte Homologien zu drei peripheren Untereinheiten der NADH-Ubichinon-Oxidoreduktase (Complex I) aus Mitochondrien und bakteriellen Species (Friedrich/Weiss, 1996). Die Verwandtschaft von Hydrogenasen und Complex I wird darüber hinaus auch beim Vergleich des membranständigen Anteils mit dem Hydrogenase-Dimer sichtbar und deutet darauf hin, daß beide Enzyme einen gemeinsamen Ursprung haben.

Die SH versorgt bei Wachstum auf H₂ die Zellen vornehmlich mit Reduktionsäquivalenten (NADH) für Biosynthesen. Mutantenstudien zeigten jedoch, daß die physiologische Funktion der beiden Enzyme austauschbar ist, d. h. der Ausfall der MBH wird durch die SH kompensiert und umgekehrt. Die SH weist interessante Eigenschaften auf, die sie von den Standard-[NiFe]-Hydrogenasen abheben. Ur-

sprünglich war dieser Enzymtypus rar und außer in *Alcaligenes* Species nur in dem Gram-positiven *Rhodococcus erythropolis* (früher als *Nocardia opaca* bezeichnet) gefunden worden. Inzwischen mehren sich die Befunde, daß insbesondere Cyanobakterien über SH-homologe Hydrogenasen verfügen (Friedrich/Schwartz, 1993).

Durch einen molekulargenetischen Ansatz wurden weitergehende Informationen über die Beschaffenheit des katalytischen Zentrums und den Reaktionsmechanismus der SH aus *A. eutrophus* gewonnen. Hierbei konzentrierten wir uns zunächst auf die Analyse der H₂-aktivierenden Untereinheit HoxH (Abb. 2). Durch Nucleinsäuresequenzierung liegen inzwischen über 30 Primärsequenzen von [NiFe]-Hydrogenasen in Datenbanken vor. Ein multipler Vergleich führte zur Definition einer Konsensussequenz (Voordouw, 1992), die vier typische Elemente aufweist, die auch in der HoxH Untereinheit anzutreffen sind (Abb. 3). Durch gerichtete Mutagenese wurden die in Abb. 3 gekennzeichneten Aminosäurereste der Elemente 1 und 4 von HoxH ausgetauscht. Die resultierenden Mutantenproteine wurden auf ihre katalytischen Eigenschaften, den Nickelgehalt und ihre oligomere Struktur geprüft (Abb. 3).

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Experimente lassen sich wie folgt zusammenfassen:

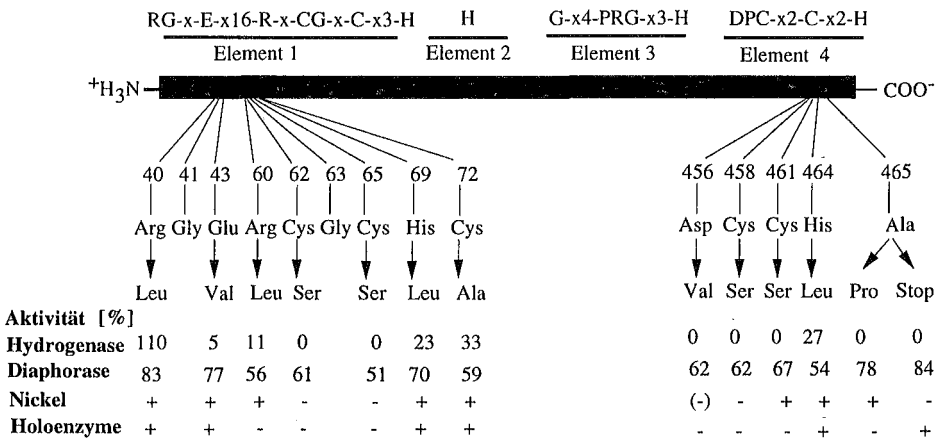


Abb. 3

Isolierung und Eigenschaften von SH Mutantenenzymen durch Aminosäureaustausch

- Der Austausch der beiden N- und C-terminalen Cysteinpaare, die als Koordinationspunkte des binuklearen Metallzentrums gelten, hat einen vollständigen Verlust der H₂-Aktivierung zur Folge, gleichwohl bleibt die durch den Diphoraseteil katalysierte NADH-Oxidoreduktase-Aktivität erhalten. In drei der vier Mutantenproteine ist Nickel nicht mehr detektierbar, was die Metallkoordinationsfunktion dieser Aminosäuren stützt. Außerdem findet keine vollständige Assemblierung der Untereinheiten zum oligomeren Holoenzym statt, was für gravierende strukturelle Veränderungen infolge der Mutationen spricht.
- Auch die übrigen Aminosäureaustausche (die beiden endständigen werden später diskutiert) vermindern – mit Ausnahme von Arg40 – die H₂-aktivierende Funktion der SH beträchtlich. Anders als in der erstbeschriebenen Mutantengruppe, scheinen die Mutationen jedoch keinen Einfluß auf die Nickelbindung zu haben und in einigen Fällen sogar die Bildung des Holoenzym zuzulassen. Wir verfolgen die Hypothese, daß in diesen Isolaten der Protonenfluß blockiert ist. Um weitere Einblicke in die Mutantenproteine zu erhalten, werden derzeit mit Kooperationspartnern spektroskopische Analysen (ESR und FTIR) an z. T. gereinigten Proteinen durchgeführt, und es laufen Experimente zur Kristallisation der SH, über deren Erfolg noch keine Prognosen gemacht werden können.

4 Die Synthese aktiver Hydrogenase impliziert eine Serie posttranslationaler Schritte

Die hohe Komplexität des H₂-spaltenden Zentrums war unerwartet. Einen wahrlich verblüffenden Grad an Komplexität förderten genetische Studien zutage, die auf die Entschlüsselung der Hydrogenasebiosynthese abzielten. Diese Untersuchungen wurden vornehmlich an *Escherichia coli* (Maier/Böck, 1996) und einigen anderen Vertretern der Proteobakterien durchgeführt. In meinen Ausführungen beschränke ich mich weitgehend auf den von uns bearbeiteten Modellorganismus *A. eutrophus*.

Die genetische Information zur Bildung der beiden [NiFe]-Hydrogenasen ist in *A. eutrophus* auf einem Riesenplasmid verankert, dessen Größe (450 kb) etwa einem Zehntel des *E. coli* Chromosoms entspricht. Dieses Plasmid ist durch Zellkontakt konjugativ auf Empfängerzellen übertragbar. Inzwischen wurden mehr als 30 Hydrogenase-spezifische Gene in einer 80 kb umfassenden DNA Region auf dem Plasmid pHG1 lokalisiert (Friedrich/Schwartz, 1993). Die Strukturgene der SH und der MBH flankieren beidseitig den Hydrogenase (*hox*) Genbereich (Abb. 4). Sie sind jeweils assoziiert mit einer wechselnden Zahl sogenannter akzessorischer Gene, die für Hilfsproteine codieren. Obgleich die konkrete

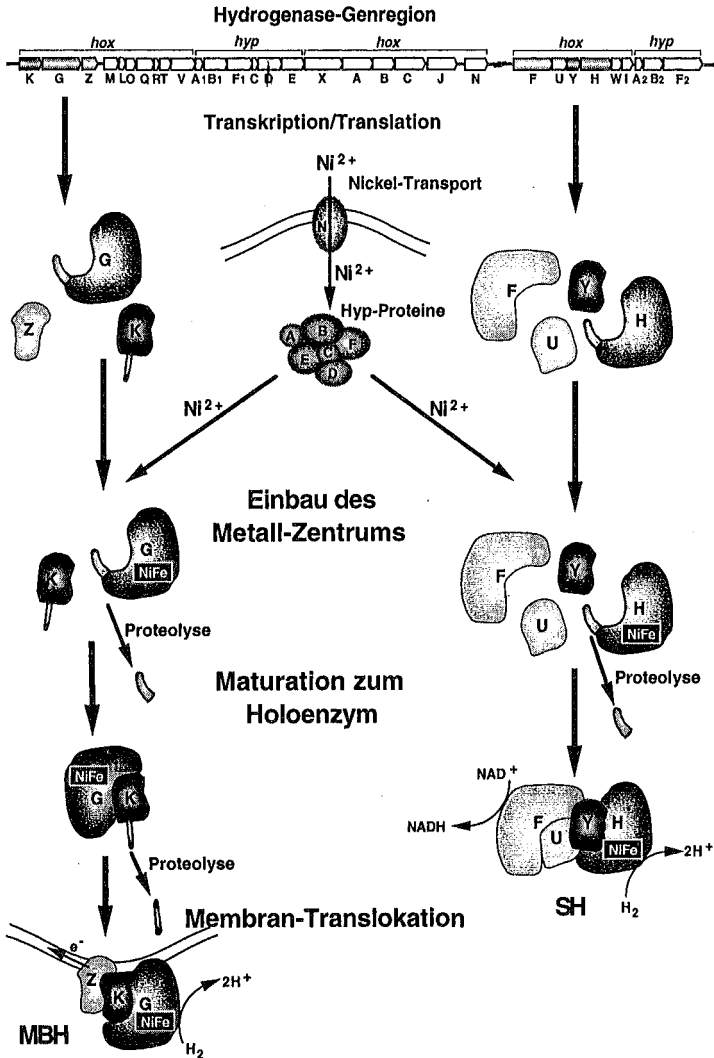


Abb. 4

Modell der Biogenese von [NiFe]-Hydrogenase am Beispiel der NAD⁺-reduzierenden (SH) und der membrangebundenen Hydrogenase (MBH) aus *A. eutrophus*

Reaktionsweise dieser Proteine noch weitgehend ungelöst ist, weisen Mutantanalysen darauf hin, daß sie eine besondere Aufgabe bei der Synthese katalytisch aktiver Hydrogenasen spielen (Friedrich/Schwartz, 1993). Dieser Weg wird nachfolgend kurz referiert:

Dem essentiellen Bedürfnis für Nickelionen bei der H_2 -Spaltung begegnet der Organismus durch Entwicklung eines aus mehreren Komponenten bestehenden Metallversorgungssystems, das gleichermaßen beiden Hydrogenasen dient. Mutationen in diesen Genen wirken demzufolge pleiotrop, d. h. sie beeinträchtigen sowohl die SH- als auch die MBH-Aktivität. Im zentralen Teil des Hydrogenase-Genkomplexes wurden mindestens vier regulatorische Komponenten identifiziert. Sie vermitteln die Fähigkeit, äußere Reize, z. B. die Gegenwart von Wasserstoff, zu sensieren und das Signal auf die Ebene der Genexpression zu transduzieren. Somit werden die in mehreren Transkriptionseinheiten organisierten Hydrogenasegene koordiniert an- und abgeschaltet; das Resultat ist ein funktionstüchtiges Regulon (Lenz et al., 1997). Die Transkriptionskontrolle des Systems wurde in dem Vortrag nur kurz gestreift und wird hier nicht weiter dokumentiert, da dies den Rahmen der Abhandlung sprengen würde.

Abb. 4 veranschaulicht die einzelnen Abschnitte der Hydrogenasebildung, die nach Transkription der Hydrogenasegene und Translation der mRNA ablaufen, bzw. in Vorbereitung auf die Proteinmaturation erfolgen:

- Um die Versorgung der Hydrogenasen mit Nickelionen zu gewährleisten, bildet *A. eutrophus* neben den allgemeinen Metallaufnahmesystemen eine sehr spezifisch wirkende Nickel-Permease (Eitinger/Friedrich, 1991). Dieses wahrscheinlich aus acht α -Helices bestehende integrale Membranprotein katalysiert die Aufnahme von Nickelionen mit ungewöhnlich hoher Affinität. Inzwischen wurden weitere Permeasen dieses Typs in anderen Bakterien identifiziert, und laufende Untersuchungen von T. Eitinger und Mitarbeitern konzentrieren sich auf die Frage, durch welche strukturellen Merkmale die spezifische Erkennung von Nickelionen vermittelt wird und wie der Transportprozeß im Detail abläuft.
- Nickelionen sind zwar essentiell für das Wachstum mit Wasserstoff, gleichzeitig wirken diese Metallionen toxisch auf die Lebensvorgänge in der Zelle, wie dies auch für höhere Organismen – den Menschen eingeschlossen – bekannt ist (Hausinger, 1987). *A. eutrophus* und andere H_2 -Oxidierer scheinen das Dilemma zwischen Notwendigkeit und Übel dahingehend zu lösen, indem sie die Nickelionen nach Eintritt ins Cytoplasma an speziell dafür bereitgestellte Proteine binden. Diese Hyp Proteine, von denen drei in *A. eutrophus* als doppelte Genkopien vorliegen, bilden vermutlich einen Komplex. Sie weisen interessante Strukturmerkmale auf (Dernedde et al., 1996). So enthalten HypB und HypF bis zu 15 eng aneinandergereihte Histidin-Reste, die potentiell Metallkomplexierungseigenschaften besitzen. Außerdem treten in vier der sechs Hyp Proteine alternierende Cysteinmotive auf, die typische Metallbindungsdomänen signalisieren. Die mutagene Inaktivierung der einzelnen *hyp* Gene hat zur Folge, daß beide Hydrogenasen zwar gebildet werden, gleichwohl katalytisch inaktiv sind, da ihnen Nickel fehlt. Das bedeutet, die Präsenz der Hyp Proteine

ist für den spezifischen Einbau von Nickelionen essentiell. Ob und inwieweit die Hyp Proteine auch bei der Assemblierung von Eisen und den umgebenden diatomaren Liganden mitwirken, ist derzeit noch unbekannt.

- Der Metallassemblierung folgt ein ungewöhnlicher Maturationschritt, bei dem durch jeweils spezifische Proteasen mindestens 15 Aminosäuren vom carboxy-terminalen Ende der H₂-aktivierenden Untereinheit entfernt werden. Im Falle der SH wurde durch Proteinsequenzierung die Prozessierungsstelle exakt zwischen His 464 und Ala 465 bestimmt (Abb. 3) und *in vitro* die Beteiligung des akzessorischen Genproduktes HoxW an der Konversion des Vorläufers in die mature Form gezeigt (Thiemermann et al., 1996). Ähnliche Befunde an anderen Hydrogenasen (Vignais/Toussaint, 1994; Maier/Böck, 1996) sprechen für die Gesetzmäßigkeit dieses Prozesses bei der Biosynthese von [NiFe]-Hydrogenasen. Diese Beobachtung führte zu der Annahme, daß die C-terminale Extension das Polypeptid in einer Metallaufnahme-kompetenten Konformation hält. Molekulargenetische Befunde stützen diese Hypothese. So akkumulieren Metalleinbau-geschädigte Hyp Mutanten die Vorläuferform (Dernedde et al., 1996), während ein durch gezielte Mutation artifiziell verkürztes Polypeptid kein Nickel assembliert, wohl aber zum inaktiven Holoenzym oligomerisiert (Abb. 3). Dieses Mutantenprotein ist ein interessantes Untersuchungsobjekt für weitergehende Analysen des katalytischen Zentrums; hierbei interessiert insbesondere die Frage, ob der Eiseneinbau und die Verknüpfung der diatomaren Liganden in diesem Protein noch stattfinden.
- Der Grad der Komplexität wächst im Falle der MBH-Biogenese durch Translokation und Verankerung des Enzyms mit der Membran. Diese Schritte schließen den bisher beschriebenen Maturationsprozeß ab (Abb. 4). Mutantenproteine, die im Metalleinbau oder der C-terminalen Proteolyse getroffen sind, werden nicht über die Membran exportiert. Für die Translokation beider MBH Untereinheiten ist eine ungewöhnlich lange, in diesem Fall 47 Aminosäuren umfassende Signalsequenz in der kleinen Untereinheit verantwortlich. Wird sie durch Mutagenese entfernt, verbleiben beide Untereinheiten im Cytoplasma. Die große H₂-aktivierende Untereinheit ist frei von einem N-terminalen Signalpeptid (Bernhard et al., 1996). Die vorliegenden Resultate deuten auf eine gemeinsame Translokation beider Untereinheiten in einem zumindest partiell gefalteten Zustand. Damit weicht die Hydrogenase von dem allgemeinen Proteinsekretionsmodell ab. Es mehren sich Hinweise, daß auch andere cofaktorhaltige Proteine einen besonderen Weg der Translokation durchlaufen (Berks, 1996). Deshalb wird die weitere Analyse der MBH-spezifischen akzessorischen Proteine von Interesse sein (Abb. 4); sie könnten u. a. einen besonderen Sekretionsapparat darstellen.

5 Schlußbemerkungen

Um das simpelste Substrat auf Erden, molekularen Wasserstoff, als biologische Energiequelle zu erschließen, bedarf es eines aufwendig strukturierten enzymatischen Katalysators, dessen Synthese eine Vielzahl posttranslationaler Schritte umfaßt. Haben die Ausführungen über die komplexe Zusammensetzung und Biogenese der [NiFe]-Hydrogenasen die ursprünglich geweckte Erwartung, es könne sich um ein besonders primitives energielieferndes System handeln, entkräftet? Oder aber repräsentiert das hier vorgestellte Beispiel, das zumindest in der Gruppe der Proteobakterien hochgradig konserviert zu sein scheint, ein besonders weit entwickeltes System?

Die molekularen Erkenntnisse über Aufbau und Wirkungsweise von [NiFe]-Hydrogenasen aus methanogenen Archaea widersprechen dieser Annahme, z. B. weist die kürzlich publizierte genomische Sequenz von *Methanococcus jannaschii* neben Hydrogenase-Strukturgenen auch die für den Metalleinbau typischen akzesorischen Genprodukte auf (Bult et al., 1996). Es verbleibt die Möglichkeit, daß die ersten Hydrogenasen nur Eisen, also kein Heterometall, enthielten. Das würde sie zwar sauerstofflabil machen, aber in der anoxygenen urzeitlichen Atmosphäre dürfte Sauerstoff keine Barriere gewesen sein. Derzeit gibt es kaum molekulare Untersuchungen über [Fe]-Hydrogenasen; allerdings deuten die biochemischen Studien auf die Existenz eines ebenfalls komplex strukturierten katalytischen Zentrums hin (Adams, 1990). So dürfen wir gespannt auf die Resultate von molekularbiologischen und biochemischen Studien über Hydrogenasen aus hyperthermophilen Archaea sein, die derzeit in verschiedenen Laboratorien anlaufen; sie könnten eine Antwort auf die hier gestellten Fragen liefern.

Literatur

- Adams, M. W. W. (1990): The structure and mechanism of iron-hydrogenases. In: *Biochim. Biophys. Acta*, 1020, S. 115-145.
- Albracht, S. P. J. (1995): Hydrogenasen: Wasserstoffkatalysatoren aus der Natur. In: *Biospektrum*, 5, S. 42-45.
- Berks, B. C. (1996): A common export pathway for proteins binding complex redox cofactors. In: *Molec. Microbiol.*, 22, S. 393-404.
- Bernhard, M., Schwartz, E., Rietdorf, J. & B. Friedrich (1996): The *Alcaligenes eutrophus* membrane-bound hydrogenase gene locus encodes functions involved in maturation and electron transport coupling. In: *J. Bacteriol.*, 178, S. 4522-4529.
- Bowien, B. & H. G. Schlegel (1981): Physiology and biochemistry of aerobic hydrogen-oxidizing bacteria. In: *Annu. Rev. Microbiol.* 35, S. 405-452.

- Bult, C. J., White, O., Olsen, G. J., Zhou, L., Fleischmann, R. D., Sutton, G. C. et al. (1996): Complete genome sequence of the methanogenic archaeon, *Methanococcus jannschii*. In: *Science*, 273, S. 1058-1073.
- Dernedde, J., Eitinger, T., Patenge, N. & B. Friedrich (1996): *hyp* gene products in *Alcaligenes eutrophus* are part of a hydrogenase-maturation system. In: *Eur. J. Biochem.*, 235, S. 351-358.
- Dickerson, R. E. (1985): Chemische Evolution und der Ursprung des Lebens. In: *Spektrum der Wissenschaft, Evolution*, S. 42-59.
- Eitinger, T. & B. Friedrich (1991): Cloning, nucleotide sequence, and heterologous expression of a high affinity nickel transport gene from *Alcaligenes eutrophus*. In: *J. Biol. Chem.*, 266, S. 3222-3227.
- Friedrich, B. & C. G. Friedrich (1990): Hydrogenases in lithoautotrophic bacteria. In: Codd, G. A., Dijkhuizen, L. & F. R. Tabita (eds.), *Advances in Autotrophic Metabolism*, Dordrecht: Kluwer, S. 55-92.
- Friedrich, B. & E. Schwartz (1993): Molecular biology of hydrogen utilization in aerobic chemolithotrophs. In: *Annu. Rev. Microbiol.*, 47, S. 351-383.
- Friedrich, T. & H. Weiss (1996): Modular evolution of the respiratory NADH: ubiquinone oxidoreductase and the origin of its modules. In: *J. Theoret. Biol.*, in press.
- Hausinger, R. P. (1987): Nickel utilization by microorganisms. In: *Microbiol. Rev.*, 51, S. 22-42.
- Lenz, O., Strack, A., Tran-Betcke, A. & B. Friedrich (1997): A hydrogen-sensing system in transcriptional regulation of hydrogenase gene expression in *Alcaligenes* species. In: *J. Bacteriol.*, in press.
- Maier, T. & A. Böck (1996): Nickel incorporation into hydrogenases. Mechanism of metallocenter assembly. In: Hausinger, R. P., Eichhorn, G. L. & L. G. Marzilli (eds.), *Advances in Inorganic Biochemistry*, 11, S. 173-192.
- Schlegel, H. G. & K. Schneider (1985): Microbial metabolism of hydrogen. In: Moo-Young, M. (ed.), *Comprehensive Biotechnology*, Oxford: Pergamon, S. 439-457.
- Stephenson, M., L. H. Stickland (1931): XXVII Hydrogenase: a bacterial enzyme activating molecular hydrogen. The properties of the enzyme. In: *Biochem. J.*, 25, S. 204-214.
- Thiemermann, S., Dernedde, J., Bernhard, M., Schroeder, W., Massanz, C. & B. Friedrich (1996): Carboxyl-terminal processing of the cytoplasmic NAD-reducing hydrogenase of *Alcaligenes eutrophus* requires the *hoxW* gene product. In: *J. Bacteriol.*, 178, S. 2368-2374.
- Vignais, P. M. & B. Toussaint (1994): Molecular biology of the membrane-bound H₂ uptake hydrogenases. In: *Arch. Microbiol.*, 161, S. 1-10.
- Volbeda, A. M., Charon, H., Piras, C., Hatchikian, E. C., Frey, M. & J. C. Fontecilla-Camps (1995): Crystal structure of the nickel-iron hydrogenase from *Desulfovibrio gigas*. In: *Nature*, 373, S. 580-587.
- Voordouw, G. (1992): Evolution of hydrogenase genes. In: *Advances in Inorganic Chemistry*, 38, S. 397-422.
- Wächtershäuser, G. (1992): Groundworks for evolutionary biochemistry: the iron-sulphur world. In: *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 58, S. 85-202.

Wu, L.-F. & M. A. Mandrand (1993): Microbial hydrogenases: primary structure, classification, signatures and phylogeny. In: FEMS Microbiol. Rev., 104, S. 243-270.

Bernd Hillemeier

Innovationen am Baustoffmarkt – Neue Baustoffe sichern das Bauen

(Vortrag in der Sitzung der Technikwissenschaftlichen Klasse am 18. Oktober 1996)

Einleitung

„Energie, Nahrungsmittel und Werkstoffe, wie die Menschen mit diesen drei Dingen in der Zukunft umgehen, wird ihr Schicksal und ihren Lebensstandard bestimmen.“ (Philip H. Abelson). Das gilt auch für Baustoffe, denkt man nur an gesicherte Arbeitsplätze. Die Bauwirtschaft beschäftigt in Deutschland etwa 3 Millionen Menschen. Sie ist der größte Wirtschaftszweig unserer Volkswirtschaft. Das jährliche Bauvolumen von etwa 570 Mrd. DM entspricht 16 % des Brutto-sozialprodukts (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, 1996).

Die Prognose besitzt ebenfalls Aktualität für die Wechselwirkung zwischen Mensch, Bauwerk und Umwelt, für den Konflikt zwischen gebauter Umwelt und Verlust von Natur. Im Jahr 1995 wird in Deutschland pro Minute eine Wohnung fertiggestellt, täglich werden 580 Millionen DM in den Wohnungsbau investiert, entsprechend der Hälfte der gesamten Bruttobauinvestitionen.

Werkstoffe nehmen eine Schlüsselposition in der Technologie des Bauens ein. Sie bestimmen Wirtschaftlichkeit, Bauzeit, Dauerhaftigkeit und Qualität von Bauwerken. Strategische Zielrichtung im Bauwesen ist deshalb die Forschung und die Weiterentwicklung der Baustoffe (Abb. 1).

1 Entwicklung der Werkstoffe

Historiker klassifizieren traditionell die Zeitalter der Menschheit nach den Materialien ihrer Zeit. Sieben Zeitalter, drei klassische und vier moderne, lassen sich demnach erkennen: die Steinzeit (100.000 v. Chr.), die Bronzezeit (3000 v. Chr.), die Eisenzeit (1000 v. Chr.), die Zementzeit (Null), die Stahlzeit (1800), die Siliciumzeit (1950) und die Zeit der Neuen Werkstoffe (1990) (Abb. 2).

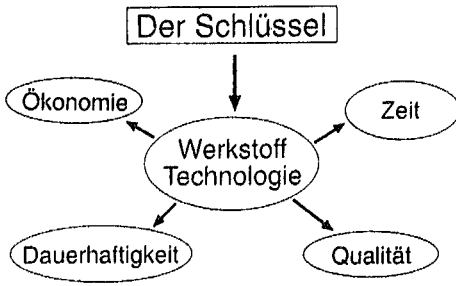


Abb. 1
Kriterien für Bauprozesse

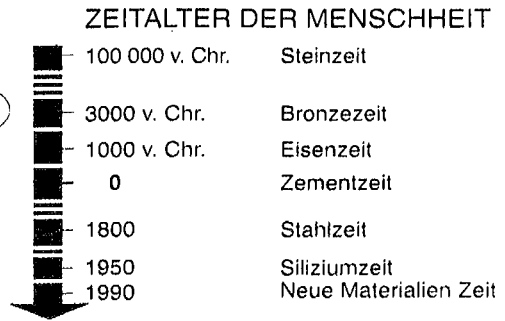


Abb. 2
Die Zeitalter der Menschheit

Weiterentwicklungen sind die Folge von Durchbruchinnovationen oder Erneuerungsinnovationen, von Revolution oder Evolution. Die Materialzeitalter stellen Revolutionen dar.

Die Neuerungen und ihre Verbreitung vollziehen sich in immer kürzeren Zeitabständen. Die sieben Zeitalter veranschaulichen die kürzer werdenden Zyklen: die industrielle Revolution benötigte 100 Jahre für ihre weltweite Verbreitung, die Siliziumtechnologie brauchte nur noch zehn Jahre, um von den USA nach Japan zu gelangen, das durch staatliche Förderprogramme die Weiterentwicklung beschleunigte. Für alle anderen Länder ist der Vorsprung uneinholbar. Wer heute bei Neuentwicklungen den Start verpaßt, sollte das Rennen aufgeben. Bei der Anwendung der Robotertechnik im Bauwesen steht Deutschland jetzt an einer solchen Schwelle der Entscheidung.

Die immer kürzer werdenden Zyklen zwischen den neuen Technologien bergen aber die Gefahr, daß nicht genügend Zeit für ihre Erprobung zur Verfügung steht. Mit Bauen assoziierten wir immer Sicherheit und Beständigkeit. Das Bauwesen erfüllte diese Forderung, indem es bewährte Konstruktionsprinzipien beibehielt und die Qualitätsforderungen an den Werkstoff dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis und praktischen Erfahrung anpaßte. Die Bauordnungen verankern dieses Prinzip. Die Zulassungsgremien der Bauaufsicht werden Entscheidungen mit Zugeständnissen an die Sicherheit immer schneller treffen müssen. Hier haben wir einen Zielkonflikt, der nur gemeinsam von der Praxis und der Wissenschaft gelöst werden kann.

2 Traditionsbaustoffe – Massenbaustoffe

Große Bauvolumen verlangen nach Massenbaustoffen. Die Masse an *Beton*, die jährlich in hochentwickelten Staaten wie Deutschland verbaut wird, läßt sich mit einer Merkmahl darstellen. Die Zahl ist: $1,3 \text{ m}^3$ Beton pro Einwohner und Jahr (Abb. 3).

Im Stahlbeton nimmt der Beton die Druckkräfte und der Massenbaustoff Stahl die Zugkräfte auf. Bei dem Messeturm in Frankfurt, dem mit 256,5 m höchsten Bürohaus Europas, wurden in die 60 m mal 60 m große und bis zu 6 m dicke Gründungsplatte 2.500 t Stahl eingebaut. Die Menge ergäbe in Eisenbahnschienen eine Länge von 50 km. Die aktuellen Bauvorhaben in Berlin werden neue Rekorde aufstellen.

In Deutschland ist fast 30 % der Bodenfläche mit Wäldern bedeckt. Über 600.000 Arbeitsplätze hängen vom nachwachsenden Rohstoff *Holz* und seiner Nutzung ab. Durch Umweltschutz wird die Waldfläche sorgsam gehütet, so daß in deutschen Wäldern nach dem vor 200 Jahren eingeführten Prinzip der Nachhaltigkeit nur soviel Holz genutzt wird, wie laufend nachwächst.¹ Für kontinuierlichen Nach-

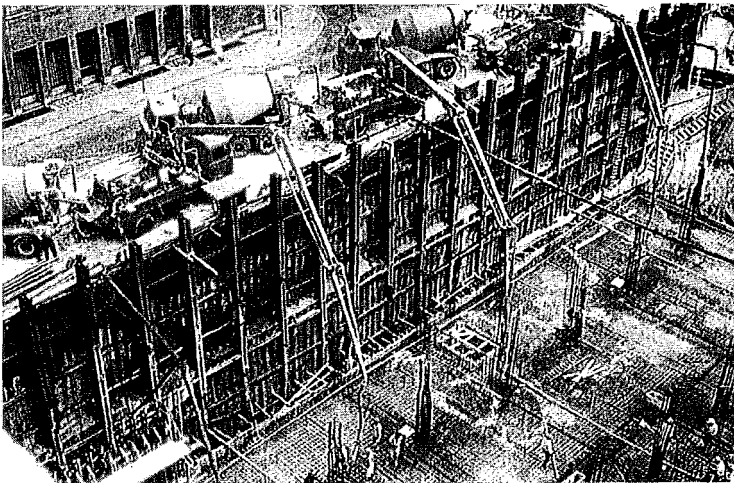


Abb. 3
Der Einbau von Transportbeton als Pumpbeton

¹ Sustainable development – nachhaltige Entwicklung; der Begriff für behutsamen Umgang mit unserer Welt stammt aus der Forstwirtschaft.

schub ist gesorgt. Holz ist ein sympathischer Werkstoff, der an Bedeutung gewinnt und innovative Lösungen für Verbindungstechniken und Dauerhaftigkeit sucht. Auf die traditionellen *Massenbaustoffe* Beton, Stahlbeton, Stahl, Holz und Mauerwerk kann auch in Zukunft nicht verzichtet werden. Kunststoffe werden im konstruktiven Ingenieurbau aus Kostengründen und wegen teilweise fehlender technologischer Eignung nur in Verbindung mit anderen Werkstoffen, z. B. als Beschichtungen oder Fasern, eine Rolle spielen. Dagegen ist ihre Bedeutung für den Innenausbau auch künftig unbestritten.

3 Neue Baustoffe

Verbundbaustoffe vereinigen in sich in idealer Weise die Vorzugseigenschaften verschiedener Baustoffe. So entstehen Baustoffe, die gleichzeitig steif und duktil, wasserdicht und wärmedämmend oder hochfest und leicht sind (Abb. 4).

Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton sind seit langer Zeit, z. B. als Verbundträger, entwickelt und erprobt. Neuere Untersuchungen zeigen, daß die Feuerwiderstandsdauer betonummantelter oder -gefüllter Stahlbauteile wesentlich ge-

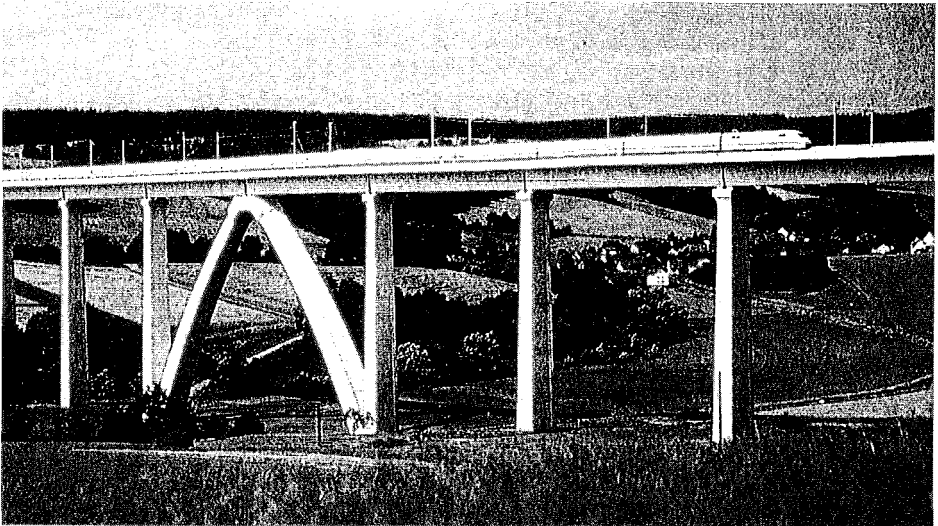


Abb. 4

Hochleistungsbaustoff Beton:

Die Rombachtalbrücke bei Schlitz auf der Neubaustrecke Hannover – Würzburg

steigert werden kann. In diesem Bereich sind noch konstruktive Weiterentwicklungen notwendig, Werkstoffprobleme sind zu lösen, Verbindungstechniken zu entwickeln.

Hochgezüchtete „intelligente“ Werkstoffe leiten neue revolutionäre Entwicklungen ein. Schier unendliche Werkstoffvariationen werden denkbar, wenn man Nanopartikel aus Metallen oder nichtmetallisch-anorganischen Stoffen erzeugt und sie in andere Materialien einbettet. Dann entstehen *Nanokomposite*. Die Grenzen zwischen den klassischen Werkstoffen Glas und Keramik, Kunststoff und Metall zerfließen. Bereits anwendungsreife, hauchdünne, unsichtbare Beschichtungen machen empfindliche Aluminiumoberflächen korrosions- und kratzfest. Damit veredelte Glas- oder Kunststoffscheiben beschlagen nicht mehr.

Smart materials, adaptive Materialien, haben keine festen Eigenschaften mehr, sondern variieren diese selbsttätig aufgrund äußerer Einflüsse. Die sich selbst abdunkelnden Gläser sind ein Beispiel dafür.

Die Schlüsselwerkstoffe für den künftigen technischen Fortschritt gibt es nicht mehr zu kaufen: Metalle, Glas oder Kunststoff entwickelt man direkt mit dem Produkt (Schmidt, INM).

Fundamentale Theorien versuchen, makroskopische Eigenschaften aus mikroskopischen Strukturen und Wechselwirkungen vorauszusagen. Für alle physikalischen Systeme gilt, daß die makroskopischen Eigenschaften und das Verhalten der Werkstoffe durch die Struktur und die Wechselwirkungen auf mikroskopischem Gebiet bestimmt werden.

Für den am weitesten verbreiteten Baustoff Beton sollen Entwicklung und Tendenzen aufgezeigt werden.

3.1 Beton, ein Begriff

Die Elemente modernen Stahlbetons sind überall gegenwärtig. Beton assoziiert Widerstandsfähigkeit und Langlebigkeit. Jedes „Ja“ ruft aber auch ein „Nein“ hervor: Dauerhaftigkeit kann bedrückend sein, wenn Wandel und Wechsel das Denken und Tun beherrschen.

Zubetonierte Welt, der häufig zitierte Begriff drückt Angst vor dem Verlust von Natur aus. Beton ist zum Synonym ungeschlachter, monumental wirkender, mißliebiger Architektur geworden. In fast jede geometrische Form läßt sich das Gemenge aus Kies, Wasser und Zement, verstärkt durch Stahl, bringen. Oft geriet die flexible Bauweise in unternehmerische Hände, die ihr nicht gewachsen waren. Hier gilt es, zu reparieren und Baufehler nicht zu wiederholen. Die Geschichte der modernen Architektur – zugleich die Konstruktions- und Gestaltungsge-

schichte des Betons – zeigt aber, daß es an diesem Werkstoff mehr zu bewundern als zu kritisieren gibt.

3.2 Beton, steinalt und modern

Beton ist, wie man weiß, ein steinaltes Material. Die Römer haben es verwendet, Vitruv hat es beschrieben. Sein Aufbau aus drei Volumenteilen Kies und einem Volumenteil Bindemittel scheint naturgegeben. Nagelfluh ist Naturbeton aus Gneis, Granit oder Amphibolit-Geröll, eingebettet in Kalkstein. Die Schwelle des Löwentors in Mykene ist aus diesem Material gebaut, fest und dauerhaft.

Durch das Tor fahrende Wagen haben darin ihre Fahrspuren hinterlassen. Die Oberfläche glänzt wie poliert – noch nach mehr als 3.000 Jahren (Abb. 5).

Der Beton war es auch, der Impulse für die Weiterentwicklung zunächst noch konkurrierender Werkstoffe gab. Hochfeste Stahldrähte stehen heute zur Verfügung,



Abb. 5

Das Löwentor in Mykene.

Die Schwelle aus dem Naturbeton Nagelfluh glänzt wie poliert noch nach mehr als 3.000 Jahren

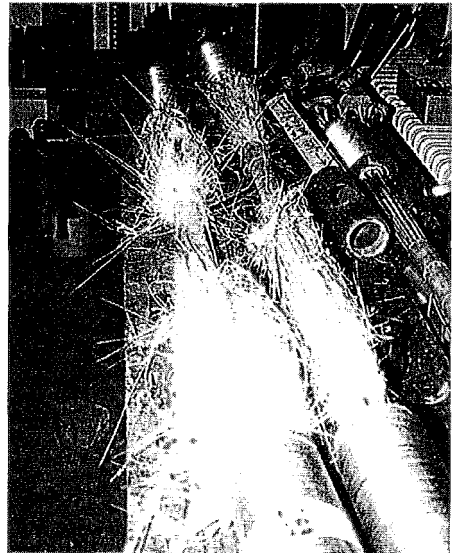


Abb. 6

Glasfaserspannglied
im Bruchversuch

die dank der Vorspannung wirtschaftliche Bauverfahren wie Freivorbau und Taktschieben ermöglichen.

Beton inspiriert: man ersetzt beispielsweise neuerdings korrosionsanfälligen Spannstahl durch Spannglieder aus Glasfaserverbundwerkstoff. Erste Brücken dieser neuen Bauweise entstanden in Düsseldorf und Berlin (Abb. 6).

Beton ist Massenbaustoff und Hochleistungswerkstoff zugleich. An der Gestaltung seiner Zukunft ist nicht nur das Bauwesen interessiert. Wer Neuerungen für Beton entwickelt, kann sich großer Absatzmengen sicher sein. Mit Beton kann praktisch jedermann umgehen – er ist preiswert, leicht verfügbar, einfach herstellbar und ungefährlich im Umgang.

Faszinierend bleibt, wie aus flüssigem Beton innerhalb kurzer Zeit harter Stein wird. So arbeiten wir mit diesem Wunderwerkstoff spielerisch und kreativ im Unterricht und technologisch-industriell bei Bauaufgaben für eine moderne Industriegesellschaft.

Ein bekanntes Beispiel ist der Messturm von Helmut Jahn in Frankfurt. Er ist das erste Projekt einer neuen Generation von Hochhäusern in Europa. Seine gläserne Spitze liegt 256,50 Meter über der Fußgängerebene des Messegeländes (Abb. 7).

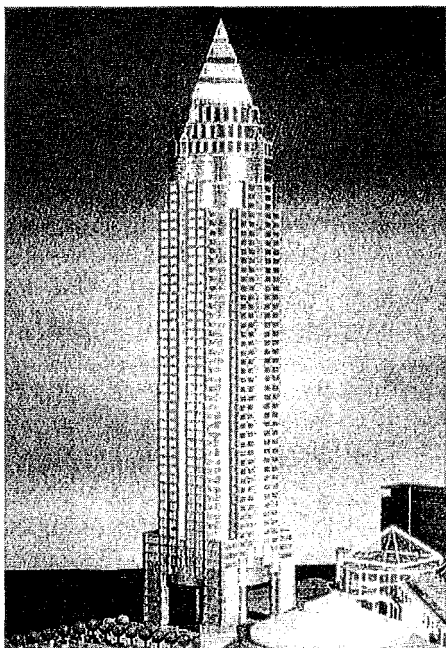


Abb. 7
Der Messturm in Frankfurt (Main)

Die sehr kurze Zeit von 37 Monaten für die Gesamtabwicklung des schlüsselfertigen Gebäudes verlangte ungewöhnliche technische und organisatorische Maßnahmen. Der Turm wuchs in jeder Woche um zwei Geschosse. Während im oberen Teil noch der Beton floß, wurde unten schon die Fassade montiert und der Innenausbau begonnen. Die ersten Geschosse wurden vermietet, während oben noch gearbeitet wurde.

3.3 Innovation durch Kooperation: Fließbeton

Der Einbau von Beton mit großen Betonierkolonnen ist Vergangenheit. Die chemische Industrie hat den Fließbeton ermöglicht. Beim Messeturm in Frankfurt liefen 17.000 m³ Fließbeton in drei Tagen und drei Nächten in einem Zug in das mächtige Fundament. Vier Pumpstationen wurden gleichzeitig von den anrollenden Transportbetonfahrzeugen bedient. Sechs Transportbetonwerke und alle Transportbetonfahrzeuge des Großraums Frankfurt waren ausschließlich für diese Betonieraufgabe im Einsatz. Aneinandergereiht hätten sie eine Schlange von 30 km Länge gebildet.

4 Umwelt- und Ressourcenschonung

Die Bewahrung der natürlichen Ressourcen ist eine Orientierungslinie der Industrie. Ökologisches Handeln geht über isolierte Maßnahmen hinaus und bezieht die Bereiche Stoffe, Energie, Emission, Abgas und Abwasser sowie deren Wechselwirkungen ein. Maßnahmen der Vermeidung und verbesserten Entsorgung zielen dabei sowohl auf die Produkte als auch auf die Prozesse. „Responsible Care“ und „Sustainable Development“ (etwa „nachhaltige Entwicklung“) werden so zu unternehmens- und forschungsbezogenen Umschreibungen der Umweltverantwortung.

4.1 Beton im Umweltschutz

In bezug auf das Sicherheitskonzept technischer Anlagen, wie es im Wasserhaushaltsgesetz (WHG), dem Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (AbfG) und der TA Abfall angesprochen ist, ist wiederum Beton der geeignete Baustoff. Gemeint ist der unbeschichtete Beton. Die Technik befaßt sich mit der Sicherheit von Betonkonstruktionen bei technischen Anlagen im Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen. Die Forschungsziele sind Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit und geringe Rißanfälligkeit.

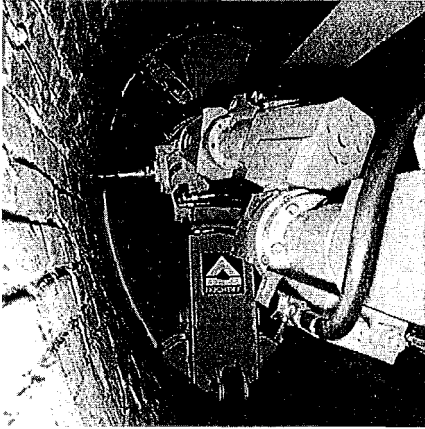


Abb. 8

Resistenter Fugenmörtel und Robotereinbau



Abb. 9

Stahlfaserbeton – Bruchzustand

Ein spezielles Problem ist die Bedrohung von Boden und Grundwasser durch schadhafte Abwasserkanäle, das aber durch neuartige, zementgebundene Baustoffe gelöst wird. Die Arbeiten in den Abwassersammlern müssen von Robotern durchgeführt werden (Abb. 8).

4.2 Faserverbundwerkstoffe

Faserverbundwerkstoffe können hohe Anforderungen an mechanische und thermische Eigenschaften bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung erfüllen (Abb. 9). Die Weiterentwicklung und Nutzung derartiger Werkstoffe verweist auf Fortschritte im Bereich der Verfahrens- und Fertigungstechniken zu ihrer Gewinnung, Bearbeitung und Wiederverwertung.

Stahlfasern verbessern nahezu sämtliche Eigenschaften des Betons. Besonders wird die Duktilität gesteigert. Der Beton wird unempfindlicher gegen Risse. Bodenplatten in Fabrikationshallen oder die Betonplatten der Flugpisten werden inzwischen dünner und ohne schlaffe Bewehrung mit weniger als 50 kg Fasern pro Kubikmeter Beton hergestellt.

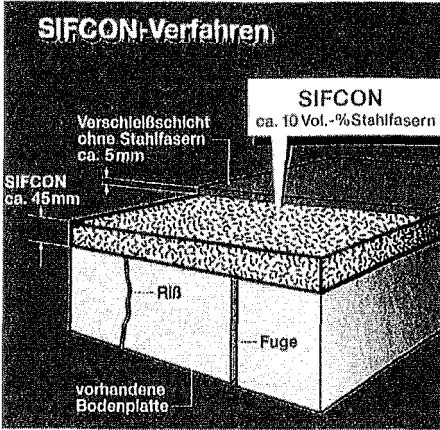


Abb. 10
SIFCON-Verfahren



Abb. 11
SIFCON-Einbau (Philipp Holzmann AG)

SIFCON (slurry-infiltrated-fibre-concrete) stellt ein Extrem der Fasereinmischung in Beton dar (Abb. 10 und 11). Etwa 10 V-% Fasern werden vorgepackt und anschließend mit Zementleim injiziert. Hochfeste, hochdichte und bruchfeste Betonschichten daraus dienen dem Umweltschutz, der Dauerhaftigkeit und der Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken.

4.3 Resistenter Beton

Forschung und Entwicklung ermöglichten immer schlankere Beton und Stahlbetonkonstruktionen bei gesteigerter Sicherheit. Ein besonderes Beispiel dafür sind Naturzugkühltürme (Abb. 12). Ihre Wanddicke beträgt bei Höhen von bis zu 165 m im Mittel nur etwa 16 cm. Ein Naturzugkühlturm ist damit vergleichsweise nicht dicker als die Schale eines Eies.

Die Beanspruchung der dünnen Schalen der Naturzugkühltürme ist durch ihre große spezifische Oberfläche gegenüber anderen Stahlbetonbauwerken besonders hoch. Zu den allgemeinen Belastungen aus der Atmosphäre kommen die Einflüsse aus Kühlturmschwaden mit ihren geringen Härtegraden, aus Algenbewuchs und Mikroorganismen, aus stark schwankenden Temperaturen, Frosteinwirkung und besonderer Windbelastung.

Zu den normalen Beanspruchungen kommen weitere hinzu: In Kohlekraftwerken werden die Rauchgase in Wäschern weitgehend gereinigt und dann über Kühltürme abgeleitet. Für den damit verbundenen sauren Angriff muß Beton wider-

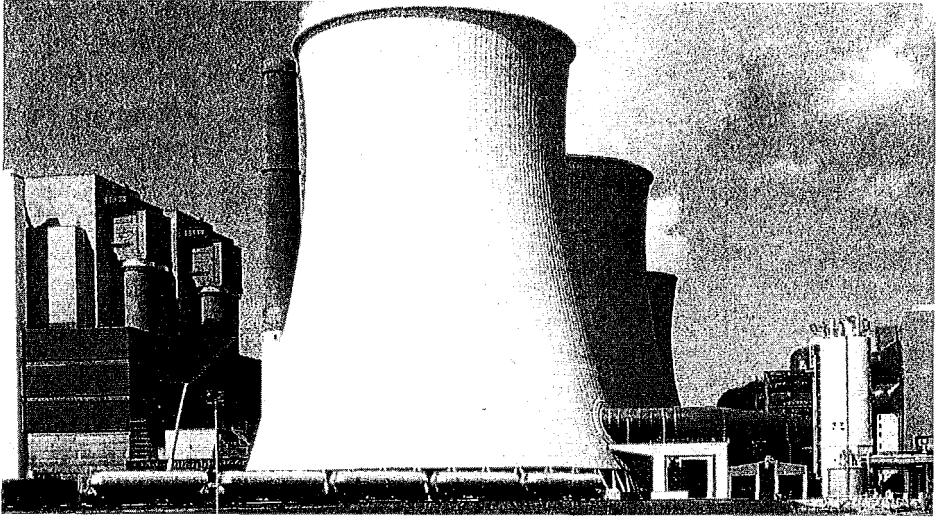


Abb. 12
Kühltürme mit hohen Anforderungen an Dauerhaftigkeit

standsfähig gemacht werden. Die Betontechnologie ermöglicht das. Wo sorglos gearbeitet wurde, kann Beton mit Kunstharzbeschichtungen in geeigneter Weise nachträglich geschützt werden. Ziel ist aber – wie bei Bauwerken des Umweltschutzes – ein von Natur aus dichter und widerstandsfähiger Beton.

4.4 Hochleistungsbeton

Hochleistungsbetone sind extrem dicht und hochfest. Heute ist noch über 80 % allen Betons Beton der Festigkeitsklasse B 25 mit einer charakteristischen Druckfestigkeit von 25 N/mm^2 . Die Norm DIN 1045 endete mit ihren Festigkeitsklassen bei B 55. Seit kurzem wurde sie erweitert bis auf B 95 und mit Zustimmung im Einzelfall bis auf B 115. B 200 wird demnächst auch auf Baustellen hergestellt werden können. Pulverbetone bis B 800 befinden sich im Experimentierstadium. Es ist nicht mehr die Festigkeit, die uns heute Grenzen setzt, vielmehr ist es das Erreichen der benötigten Verarbeitbarkeit und Verarbeitungszeit (Abb. 13, 14, 15).

HPC INTERNATIONAL

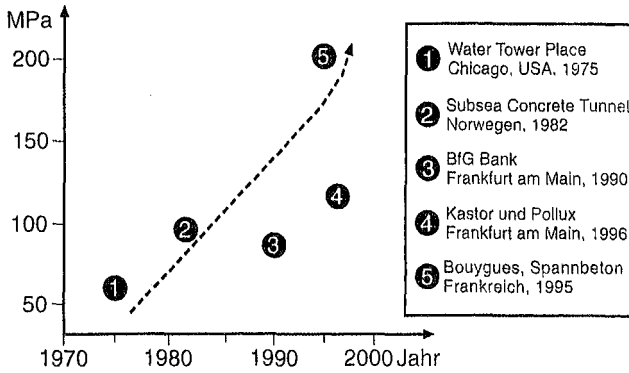


Abb. 13

High Performance Concrete (HPC), Hochleistungsbeton:
Herausragende Bauvorhaben für hochfesten Beton

Zement PZ 45 F		470 kg/m ³
Silica - Trockenmasse		35 kg/m ³
Flugasche		120 kg/m ³
Mainsand	0/2 mm	539 kg/m ³
	2/5 mm	468 kg/m ³
Basaltsplitt	11/16 mm	786 kg/m ³
Wassergehalt		120 l/m ³
Fließmittel	max.	38 l/m ³

Abb. 14

Hochfester Beton B 115,
Rezeptur Hochtief

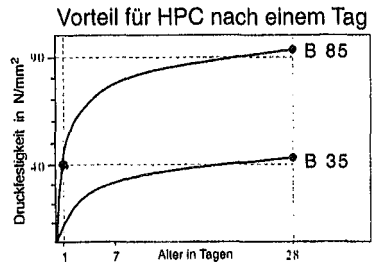


Abb. 15

Vorteile für HPC nach einem Tag:
Er hat die Eigenschaften eines 28 Tage
alten Betons B 35. Die Baufeuchte ist
reduziert. Nachbehandlungen und
Ausschalen behindern nicht mehr
die Wirtschaftlichkeit

Nur wenige Grundprinzipien müssen erkannt und beherrscht werden, um die vielen Qualitätsforderungen an den Idealbaustoff Beton sicher erfüllen zu können. Die Grenzen des Betons ergeben sich nur aus den Grenzen unserer Phantasie. Forschungsziel ist heute, die Dichtheit des Betons zu erhöhen. Die Verwendung von Flugaschen aus der Kohleverbrennung dient der Wassereinsparung, der besseren Verdichtungswilligkeit und der dichteren Packung im Feinteilbereich des Betons.

Im Feinstteilbereich unter $3\ \mu\text{m}$ führt die Praxis für das Ausfüllen der Hohlräume zwischen den Zementkörnern neuartige Stoffe ein: Silicafume, eine Größenordnung kleiner als Zement. Silicafume besitzt eine spezifische Oberfläche von etwa $25\ \text{m}^2/\text{g}$ und ist damit um eine Größenordnung feiner als Zement oder Flugasche. Wegen der außerordentlich reaktionsfähigen Feinstruktur ordnet man Silicafume den künstlichen Puzzolanen zu, die zusammen mit dem vom Zement gebildeten Kalziumhydroxid zu Kalziumsilikathydraten reagieren und hochfesten Zementstein bilden.

Noch eine Größenordnung kleiner als Silicafume ist synthetische Fällungskieselsäure. Sie besitzt die außerordentlich große Oberfläche von etwa $200\ \text{m}^2/\text{g}$. Bei dem neuartigen SiO_2 -Naßspritzbeton findet Fällungskieselsäure eine außergewöhnliche Anwendung [2] (Abb. 16).



Abb. 16
 SiO_2 -Naßspritzbeton

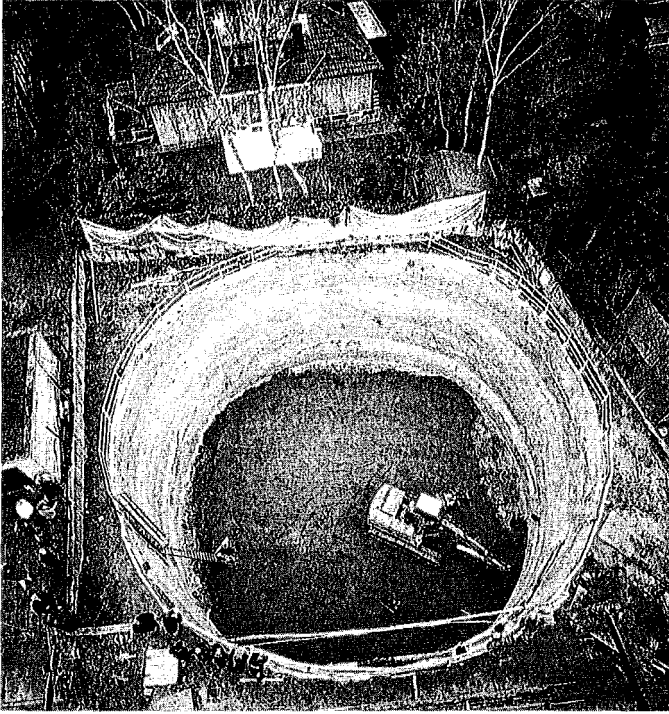


Abb. 17

SiO₂-Naßspritzbeton bei der wirtschaftlichen Herstellung von Schachtbaugruben (Hochtief)

SiO₂-Spritzbeton verzichtet weitgehend auf chemisch wirkende Beschleuniger. Ein neuartiges Dosiergerät bringt das pulverförmige Siliziumdioxid zusammen mit der Treibluft gleichmäßig in den Naßspritzbeton ein (Abb. 17).

Superverflüssiger auf der Basis von Melamin Sulfonsäure-Formaldehyd-Kondensat sind für Silicafume besonders geeignet. Wasserzementwerte unter 0,3 werden erreicht. W/z-Werte hinunter bis zu 0,13 werden in Norwegen erstmalig bei hochverschleißfesten, Spike-beanspruchten Straßenbelägen verwendet.

4.5 Qualitätssicherung

Qualitätssicherung bedeutet Strategie zur Fehlervermeidung, bedeutet nicht, die Zahl der Kontrollen zu erhöhen, sondern die Zahl der Mitdenkenden. Im Bauwesen tun wir uns schwer, die neue Denkrichtung sinnvoll für Kosteneinsparung und

Imageverbesserung zu nutzen. Qualität wird heute noch allgemein als technische Aufgabe gesehen und nicht als Funktion der Unternehmensführung. Der Planung kommt gegenüber der Ausführung immer die größere Bedeutung zu. Eine Anleitung zum systematischen Handeln in diesem Sinn ist in den Normen EN 29000 bis 29004 gegeben.

Das spezifische QS-System ist um so wirksamer, je besser es den Mitarbeiter als Mittelpunkt aller Aktivitäten sieht; er wird in speziellem Maße geschult. Er profitiert selbst von seinen Lernfortschritten und Erfolgserlebnissen und wird so gestärkt für mehr Verantwortung in einer Arbeit, die hohen Qualitätsforderungen entspricht.

Die Anwendung moderner Qualitätsmanagementprinzipien verlangt – wie alle technologischen Prozesse – nach Weiterentwicklung. Qualitätskontrolle wirkt innerbetrieblich straffend. Sie erreicht schnörkellose Arbeitsabläufe, deckt Fehler frühzeitig auf, wirkt nachhaltig gegen Pfusch und spart so Kosten. Sie bringt aber keine Innovation von sich heraus. Geistesblitze entstehen bekannterweise nicht durch Absicherungen und Reglementierungen, sondern durch das freie Spiel der Phantasie. „Niemals hätte es ein Programm ‘first man on the moon’ gegeben, hätte man nur die Controller arbeiten lassen.“ (R. Mecklinger, Fichtel & Sachs). Engpässe ergeben sich noch durch nicht genug entwickelte Qualitätsverbesserungssysteme. Die Streuungen der Materialparameter müssen reduziert werden. Die Schulung der Mitarbeiter in Planung, Entwicklung und auf der Baustelle ist zu optimieren. Eine weitsichtige Forschungspolitik entscheidet darüber, ob Deutschland die neuen Werkstoffe einmal exportieren kann oder importieren muß.

5 Innovation und Umwelt: Leitbilder künftiger industrieller Produktion

Ein Vergleich aktueller Prognoseergebnisse zwischen Deutschland und Japan zeigt eine weitgehende Übereinstimmung in bezug auf Technologiethemata und Zeiträume der Realisierung. Die gezeigten Technologiefelder sind gleichzeitig als Anwendungsfelder und Forschungsfelder zu begreifen.

Komplexes Materialverhalten zu erfassen, ist das Ziel in der Forschung und auch bei praktischen Bauaufgaben. Die Realität ist grundsätzlich nichtlinear, besonders bei Annäherung an Grenzbeanspruchungszustände. Stahlbeton in gerissenem Zustand, Druckbehälter aus Stahl unter hohen Temperaturen, Baugrund, Konsolidierungsprobleme wassergesättigter Tonböden können nicht mehr mit den klassischen Stoffgesetzen berechnet werden. Nicht nur Strömungen, Konvektionen, Diffusion durch poröse Körper, sondern auch Schadstofftransporte in Bauteilen und Schädigungsvorgänge sind physikalisch genauer in Stoffgesetzen zu erfassen. [5]

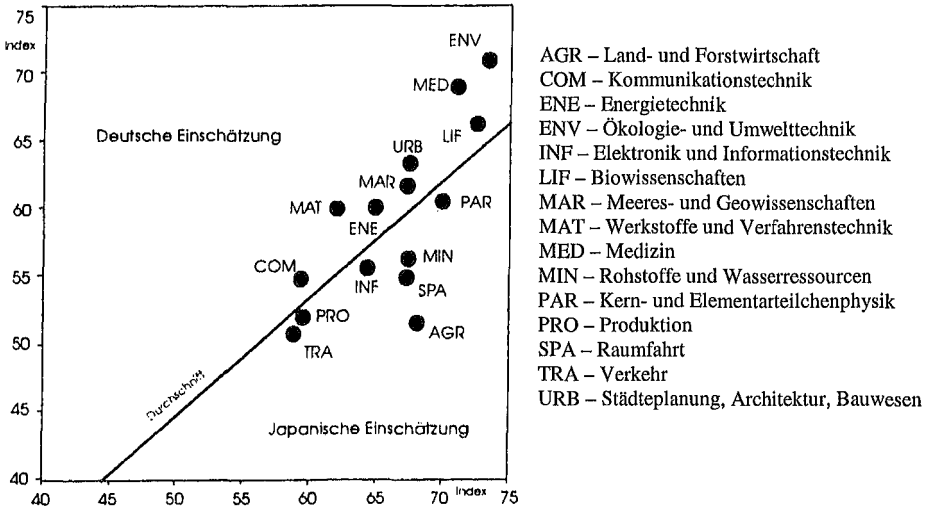


Abb. 18

Einschätzung der zukünftigen Wichtigkeit von Technologiefeldern
 (Basis: Vergleich des japanischen und deutschen Delphi-Berichts,
 Quelle: ISI/NISTEP 1994)

Sowohl Stoffparameter als auch die Stoffgesetze sollen modellmäßig immer besser beschrieben und genauer an Versuchsergebnisse angepaßt werden. Man steht bei den Schädigungs- und Dauerbeständigkeitskriterien noch relativ am Anfang (Abb. 18).

6 Ausblick

Die schnelle Umsetzung von Forschungsergebnissen in neue Produkte und Verfahren ist Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit innovativer Unternehmen. Die Universität hat dabei die „Bringschuld“, die Industrie die „Holschuld“. Deshalb sollen in Berlin besonders fortschrittlichen Unternehmen des Mittelstands Einblick in unsere Labore gegeben und neueste Produktentwicklungen theoretisch und im Versuch vorgestellt werden. Die Prototypen und Lösungen sollen bewertbar dargestellt werden. Die Universität braucht das Unternehmen, um die Forschungsergebnisse gemeinsam in marktreife Produkte umzusetzen.

Wer mit einem innovativen Produkt hohe Produktionszahlen und hohe Verkaufserlöse erreichen will, wird auf dem Weltmarkt antreten müssen. Wer die Prognosen des Wirtschaftswachstums in der Welt kennt (zuerst kommen – weit vor Westeuropa und Amerika – die asiatischen Nationen), der weiß auch: Man kann nicht mehr nur national oder EU-weit denken. Der globale Wettbewerb ist eine große Herausforderung und wird auch dadurch entschieden, wie man sich international darstellt. Einen wichtigen Faktor für das eigene Unternehmen stellt die internationale Ausrichtung dar.

Es kann also von einer zunehmenden Dezentralisierung der betrieblichen Leistungserstellung ausgegangen werden, und zwar sowohl hinsichtlich der inneren Strukturierung als auch in bezug auf die geographische, also weltweite Verteilung der Arbeit. Forschung und Produktion kann bereits heute an jedem Punkt der Welt in gleicher Qualität stattfinden. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein von Energie und qualifiziertem Personal. Die Produktion wird sich künftig aber dorthin verlagern, wo auch der Bedarf, der Markt ist. [6]

Welche neuen Ideen in den nächsten 25 Jahren unsere Bauingenieur-Modelle bestimmen werden, weiß man nicht. „Man kann nicht in die Zukunft schauen. Aber man kann den Grundstein für etwas Zukünftiges legen. Denn Zukunft kann man bauen“ (Antoine de St. Exupéry).

Quellenhinweise

- [1] Humphreys, C. J. in Briggs et. al.: The science of new materials. Oxford: Blackwell Publishers, 1992.
- [2] Pohl, R., Deuse, T., B. Hillemeier : Neues Naßspritzbetonverfahren – Synthetisches amorphes Siliziumdioxid als Zusatzstoff. In: Beton, 40 (1990), Nr. 2.
- [3] Spur, G. et al.: Bericht der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Optionen zukünftiger industrieller Produktionssysteme“. In: Jahrbuch 1994 der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, S. 367-388.
- [4] Zukunftsaufgaben in der Bauforschung. Prioritäre Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zur Innovationsbeschleunigung im Bauwesen. Der Bundesminister für Forschung und Technologie, Bonn. Düsseldorf: Beton-Verlag, 1981.
- [5] Duddeck, H.: Entwicklung der Berechnungsmodelle des Bauingenieurs: Woher? Wohin? In: Bautechnik, 70 (1993), Heft 11.
- [6] Spur, G.: Innovation, Arbeit und Umwelt – Leitbilder künftiger industrieller Produktion. Projektbericht der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Berlin 1995.

Christoph Polze

Beiträge zur Systemarchitektur

(Vortrag in der Sitzung der Technikwissenschaftlichen Klasse am 18. Oktober 1996)

Die Ausführungen gehen auf einen Klassenvortrag zurück, in dem das Lehr- und Forschungsgebiet „Systemarchitektur“ am Institut für Informatik der Humboldt-Universität zu Berlin vorgestellt werden sollte. In diesem Aufsatz werden nur die dort angesprochenen Forschungsprojekte beschrieben.

Systemarchitektur wird hier als Architektur von Softwaresystemen verstanden, steht daher in engem Zusammenhang zum software engineering oder zur Softwaretechnik, die in der Entwicklung der Wissenschaftsdisziplin Informatik eine schon recht lange Tradition haben.

Die weltweite Vernetzung von Rechnern, die Heterogenität der verschiedenen Fabrikate in der Informations- und Kommunikationstechnik, sowie die unterschiedlichen Implementierungswerkzeuge zwingen dazu, daß sich die Architektur von Softwaresystemen grundsätzlich als Architektur verteilter Systeme versteht. Wir stellen daher drei Fallstudien verteilter Systeme vor, um anhand deren Charakteristika und ihrer Einordnung in die Softwarearchitektur einige Schlußfolgerungen zu präsentieren.

Im ersten Fallbeispiel werden als Zielgrößen Flexibilität und Adaptierbarkeit in den Vordergrund gestellt. Das zweite Beispiel widmet sich dem Anliegen, verteilte Systeme zu verwalten. Das Management verteilter Systeme ist aus durchaus unterschiedlichen Motiven von hohem Interesse.

Schließlich soll das dritte System das Augenmerk auf die Gesichtspunkte der Mobilität und Personalisierung lenken. Alle drei Beispiele sind am Lehrstuhl Systemarchitektur des Instituts für Informatik der Humboldt-Universität bearbeitet worden. Das zuletzt Genannte ist zugleich Ausgangspunkt für weitere Projekte.

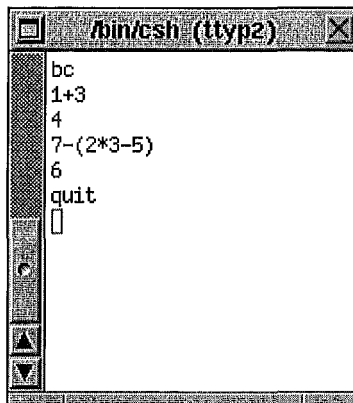
Das Project FOCS
(Flexible Object-oriented TeleCommunication Services)

Telekommunikationssysteme bilden ein viel beachtetes Anwendungsfeld neuer Programmierparadigmen und neuer softwaretechnischer Ansätze. Zugleich steht die Telekommunikation sowohl in der Technik als auch bei der Verbreiterung der Nutzungsformen in einem revolutionären Umbruch. Hochgeschwindigkeits-Datenautobahnen, Multimedia-Dienste für alle Bürger, universelle Erreichbarkeit an jedem Ort, zu jeder Zeit, für jedermann durch Mobilkommunikation sind Schlagworte, die diesem Umbruch Ausdruck verleihen.

Das Projekt FOCS ordnet sich in diese aktuelle Entwicklung ein. Aus der Sicht der Informatik sind Telekommunikationssysteme spezifischen Anwendungen angepaßte verteilte Systeme, die aus einzelnen Komponenten zusammengesetzt werden. Abhängig vom jeweils gewünschten Abstraktionskonzept werden diesen Komponenten bestimmte Aufgaben zugeordnet. Dem Projekt FOCS liegt ein verteiltes System von *Dienstaniestern* zugrunde.

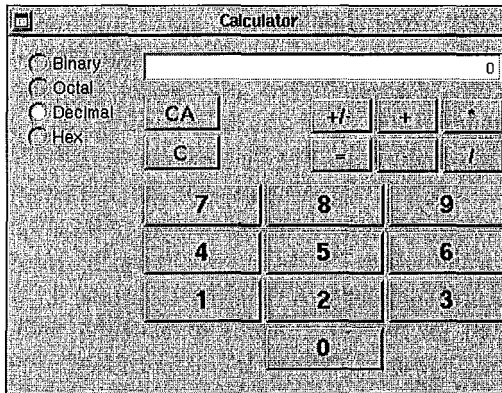
Zur einführenden Demonstration sei ein elementares Beispiel an den Anfang gestellt. Wir betrachten einen einfachen Taschenrechner. Aus der Sicht von FOCS kann er mit zwei Dienstaniestern DA1 und DA2 auskommen. Dienstanbieter DA1 ist der Rechenprozeß, der die Arithmetik des Taschenrechners übernimmt, und Dienstanbieter DA2 stellt die Verbindung zum Benutzer her.

Für den Dienstanbieter DA2 sind unterschiedliche Varianten vorstellbar. Die Interaktion, die Eingabe von Zahlen und Operationen, die Darstellung der Ergebnisse kann über ein Bildschirmfenster ablaufen, ohne jeden graphischen Komfort. So zeigt es das folgende Bild.



```
bin/csh (tty2)
bc
1+3
4
7-(2*3-5)
6
quit
█
```

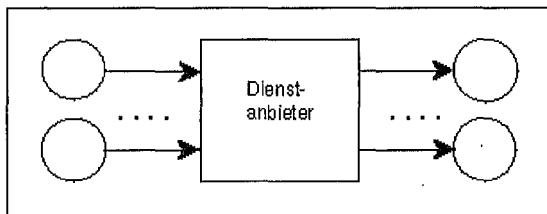
Eine andere Variante nutzt die Pixelgraphik des Bildschirms aus und bietet das Bild eines Taschenrechners mit Anzeigefeld und graphisch imitierten Tasten für Ziffern und Operationszeichen. Das kann etwa so aussehen.



Wieder andere Realisierungen könnten akustische Hilfsmittel verwenden. Die Ausgabe kann auf einen Telefonhörer gelenkt werden. Über die Tasten des Telefons lassen sich Zahlen und Operationen eingeben. Bevor der Dialog richtig beginnen kann, wird der Nutzer am Telefon selbstverständlich zuerst eingewiesen. Danach kann er seine Aufgaben eingeben und die Resultate abhören. Solch eine Variante könnte für Benutzer hilfreich sein, die mit entsprechenden Behinderungen leben müssen.

Vielleicht liegt der Dienstanbieter DA1 auch in mehreren Varianten vor, vielleicht mit unterschiedlicher Rechengenauigkeit oder abgestimmt auf vorgegebene Zahlbereiche, in dualer oder dezimaler Arithmetik, in einer Intervallarithmetik oder was sonst noch erwogen werden kann. Dann wäre aus der Gesamtheit der Angebote ein Dienst zu konfigurieren, der an Situationen angepaßt werden kann, die aus irgendwelchen Gründen vorliegen.

Elementare Dienstanbieter von FOCS haben folgende Struktur:



Es gibt Input-Plätze. Der funktionale Teil observiert die Belegung der Input-Plätze mit Informationen und wird davon abhängig aktiv, verarbeitet diese Informationen nach dem ihm eigenen Algorithmus und belegt Output-Plätze. Resultate werden auf Output-Plätze gebracht, ohne darauf zu achten, was damit passiert, kümmere sich darum, wer will oder kann.

Das System FOCS sieht Möglichkeiten vor, aus elementaren komplexere Dienstanbieter zusammenzufügen, die dann aber über die gleiche Schnittstellenstruktur, die aus Input- und Output-Plätzen besteht, miteinander verknüpft werden müssen. Ein Broker ist Bestandteil des Systems. Er verwaltet das Zusammenwirken der vorhandenen Dienstanbieter, und zwar dynamisch, so daß während des Betriebes des FOCS-Systems auch aktuelle Änderungen der Arbeitsbedingungen berücksichtigt werden können.

In diesem Sinne ist das System flexibel und adaptierbar. Dies resultiert aus dem besonderen Ansatz, Dienstanbieter über Plätze in einer losen Kopplung miteinander kommunizieren zu lassen. FOCS unterscheidet sich diesbezüglich von klassischen message passing Modellen, bei denen neben dem selbstverständlich fixierten Absender außerdem der Empfänger bekannt sein muß. FOCS überläßt die Weiterverarbeitung der Nachrichten Dienstanbietern je nach deren speziellen Fähigkeiten. Konkurrieren mehrere geeignete Dienstanbieter um die Übernahme und Verarbeitung der Informationen, entscheidet darüber ein dem System FOCS innewohnender Auswahlalgorithmus.

FOCS erlaubt die Definition sogenannter Virtueller Maschinen. Das sind Aggregationen von Dienstanbietern, die ein Benutzer des Systems seinen individuellen Belangen entsprechend ausgestalten kann. Wenn er sich mit seinem Paßwort an das System FOCS wendet, steht er immer seiner nach subjektiven Aspekten ausgeprägten Virtuellen Maschine gegenüber.

Damit wird bereits eine Leistungseigenschaft angelegt, die eigentlich erst in dem dritten im Vorwort angekündigten Modellsystem ausgeführt wird und als Personalisierung bezeichnet werden soll.

FOCS ist netzwerktransparent, Dienstanbieter können auf getrennten Knotenrechnern des verteilten Systems plaziert sein, Virtuelle Maschinen können ihrerseits mehrere Knoten des Systems ansprechen, stellen aus dieser Sicht ein Subsystem dar.

Das System FOCS ist prototypisch implementiert worden. Als Programmierumgebung wurde SMALLTALK benutzt. Diverse Zusatzwerkzeuge, wie zum Beispiel Mittel zur graphischen Komposition von zusammengesetzten Dienstanbietern, wurden in Studien- und Diplomarbeiten konzipiert und implementiert.

Der Prototyp FOCS ist mehrfach vorgeführt worden. Insbesondere die Demonstration des Taschenrechners als Virtuelle Maschine hat die Leistungskraft des Ansatzes hinsichtlich der beiden Zielstellungen, flexibel und adaptionsfähig zu

sein, eindrucklich gezeigt, wenn je nach Ausstattung mit Realisierungsvarianten für die Dienstanbieter von den akustischen Interaktionsmitteln Gebrauch gemacht wurde. Das System hat sich während seines Betriebs die jeweils geeigneten Ressourcen aus der Menge verfügbarer ausgesucht und diese zum Einsatz gebracht.

Das Projekt MACS

(Management Architecture for TeleCommunication Services)

Die Managementproblematik ist als Nebenprodukt der Rechnervernetzung entstanden. Erstes Anliegen war die zentralisierte Administration von Rechnern und ihrer Betriebssysteme. Alle Computerfirmen bieten dafür proprietäre Werkzeuge an, die inzwischen höchst respektable Leistungs- und Funktionsumfänge aufweisen und hinsichtlich der Bedienoberflächen modernste Visualisierungstechniken benutzen.

Die dabei gestellten Fragen können auch an verteilte Systeme heutiger Prägung gerichtet werden. Die Komposition der Softwaresysteme oder ihre Zerlegung in Komponenten überlagert die physische Netzstruktur. Verteilte Softwaresysteme sind hinsichtlich ihrer Zuordnung zu Geräten netzwerktransparent. Dennoch erfordert der Betrieb solcher Softwaresysteme ein vielschichtiges und diffiziles Management, das auf die Dienste des verteilten Systems abgestimmt ist und darauf Einfluß nehmen kann.

Das Spektrum zu formulierender Fragestellungen ist eher größer geworden. Sie betreffen den Betriebszustand des verteilten Systems. Sie zielen auf die Manipulation des Systems, beispielsweise auf die Rekonfigurierung, womöglich während des laufenden Betriebes, oder darauf, Funktionen oder Datenbestände innerhalb der Knoten des Systems migrieren zu lassen, um damit eine effektivere Arbeit zu ermöglichen. Es kann sein, daß bereits beim Entwurf des Systemkonzepts Parameter für die Einflußnahme auf den Betrieb des Systems vorgesehen wurden. Dann kann es Aufgabe des Managements sein, Parameterwerte abzufragen und Neueinstellungen auszurechnen.

Es gibt unterschiedliche Personengruppen, die mit den Diensten verteilter Systeme in Berührung kommen und unterschiedliche Interessen an der Beeinflussung der Dienste haben.

Der Dienstanutzer ist daran interessiert, den Dienst seinen persönlichen Wünschen hinsichtlich Erscheinungsbild, Leistungsfähigkeit und Kosten möglichst gut anzunähern.

Der Anbieter eines Dienstes will den Zugang zu seinem Dienst steuern, Kosten in Rechnung stellen, aber ist auch verpflichtet, eine verabredete Dienstgüte zu sichern. Der Netzwerkbetreiber schließlich hat für eine Menge um Ressourcen

konkurrierender Dienste die Funktionstüchtigkeit des Netzes aufrechtzuerhalten und die zugesicherten Leistungsparameter ständig zu kontrollieren. Die Architektur des Managements soll diese Sichten geeignet unterstützen.

Nicht zusätzliche, gewissermaßen aufgepfropfte Managementlösungen werden verlangt. Vielmehr sollen sie kanonisch in das vorhandene System eingebunden sein. Die Architektur von Softwaresystemen kann insbesondere daran gemessen und bewertet werden, wie gut sich solche Forderungen erfüllen lassen.

Beispielsweise wurden in dem zuvor beschriebenen System FOCS Managementanliegen insoweit berücksichtigt und unterstützt als Dienstanbieter mit zusätzlichen Input- oder Output-Plätzen für die Entgegennahme oder Bereitstellung von Informationen zum Management ausgestattet werden. Daraufhin kann ein Dienstanbieter und zwar als Bestandteil des Systems, FOCS war ja ein System von Dienst Anbietern, auf ganz natürliche Weise dem Systemmanagement gewidmet sein. Diesbezügliche Untersuchungen wurden in der Tat als studentische Arbeiten in Angriff genommen.

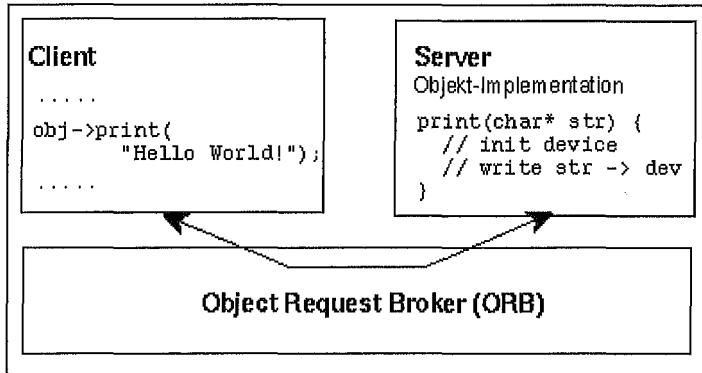
Für die weitere Arbeit an der Architektur verteilter Systeme, sowohl im Projekt MACS als auch in dem anschließend vorzustellenden Projekt MINT wird der Standard CORBA der Object Management Group (OMG) zugrunde gelegt. Die OMG ist ein Konsortium von Softwareentwicklern, Netzbetreibern, Hardwareproduzenten und kommerziellen Anwendern, das sich zum Ziel gesetzt hat, die Kooperation möglichst vieler vorhandener Systeme zu unterstützen, und Standards zu formulieren, nach denen neue Systeme entworfen werden sollen.

Die Abkürzung CORBA steht für Common Object Request Broker Architecture und verfolgt das ehrgeizige Ziel, die Zusammenarbeit von Software recht unterschiedlicher Herkunft, heterogener Implementationsquellen, divergierender Hardwarebezüge zur Erbringung einer großen Palette von Diensten zusammenzuführen. Dem Ansatz von CORBA liegt das im folgenden angedeutete Schema zugrunde. Die Verwandtschaft zur wohlbekannteren Client-Server-Programmierung ist offenkundig. Der Mehrwert besteht darin, daß im hohen Maße heterogene Komponenten zusammenwirken können.

Das beispielhaft angebotene Schema umfaßt einen Server, der als Terminalobjekt vielleicht einen realen Bildschirm bedient, und einen Client, der die Dienste des Servers nutzt. Er sendet eine Nachricht an den Server, die dieser auf den Bildschirm schreibt.

Die Implementierung dieses Schemas erfordert folgende Schritte. Zur Herrichtung des Servers ist die Interface-Beschreibung in der im OMG-Standard vorgeschlagenen Sprache IDL (Interface Definition Language) zu formulieren. Diese muß einem Compilerlauf unterzogen werden. Zudem muß der Server selbst implementiert, d.h. in irgendeiner Programmiersprache beschrieben und übersetzt werden. Der fertige arbeitsbereite Server muß registriert werden. Dazu kommt

sein Interface in ein extra zu verwaltendes Repository. Dies ist im allgemeinen Fall seinerseits ein verteiltes System. Dieser und weitere Aspekte mögen darauf hindeuten, daß hier schnell und unvermittelt Systeme mit einer erheblichen Komplexität entstehen können.



Schließlich muß in ähnlicher Schrittfolge der Client hergestellt werden, und vielleicht weitere oder viele Clients. Wenn Server und Clients aktiviert sind, beginnt die Arbeit des Systems. Es erbringt die installierten Dienste und das Anliegen des Managements wird aktuell.

Die Qualität und der Leistungsumfang des Managements wird durch die Architekturvorkehrungen bestimmt, die im Systemkonzept berücksichtigt worden sind. Das Projekt MACS und seine weiterführende Bearbeitung ist diesem Ziel gewidmet.

Das Projekt MINT (*Mobile Intelligent Network Terminal*)

In diesem Projekt werden die Erfolgsaspekte von FOCS, die sich vor allem in seinen Fähigkeiten zur flexiblen Anpassung an die Ressourcen ausdrücken, aufgegriffen und auf die mannigfachen Bedürfnisse der Benutzer ausgedehnt.

Wenn man den Horizont des Endanwenders an den Anfang stellt, so steht ihm zumeist ein Personal Computer gegenüber, oder eine Workstation oder eine Workstationfarm, oder ein Großrechner, an dem der PC als Terminal fungiert. Der PC oder die Workstation befinden sich in einem Rechnernetz, in einem lokalen Netz, und darüber haben sie den Anschluß an das weltweite Verbundsystem der heutigen Informations- und Kommunikationsstruktur.

Fokus des Projekts MINT ist die Mobilität der Nutzer. Der Anwender soll nicht mehr an seinen PC-Arbeitsplatz gebunden bleiben, er soll überall arbeiten dürfen und können. Seine von ihm persönlich ausgestaltete subjektive Arbeitsplattform soll er möglichst orts- und endgeräteunabhängig angeboten bekommen. Beide Leistungsziele sind nicht trivial. Während beispielsweise Videokonferenzsysteme Mobilität überflüssig machen sollen, wird hier mobiles Verhalten zum Ausgangspunkt.

Basiskonstrukt des Ansatzes für MINT sind *PWE's (Personal Working Environments)*. Eine PWE ist eine Gesamtheit von Objekten. Objekte übernehmen Rollen. Die gewünschten Dienste, an denen der Nutzer interessiert ist oder auf die er angewiesen ist, sind durch abstrakte Rollen beschrieben. Der Umgang mit email, mit news, subjektiv konfigurierte Textverarbeitungshilfen, mit on-line-Diensten, aber auch ganz und gar private Arrangements können Gegenstand von abstrakten Rollen sein. Rollen müssen systemabhängig implementiert werden, vielleicht als Dienstleistungen von Agenten, um einen gern gebrauchten Begriff aus der KI-Szene zu verwenden.

Zur Erläuterung der mit MINT verfolgten Ziele sei ein Szenario skizziert: Ein Nutzer definiert die ihm wichtige Arbeitsumgebung durch drei Rollen. Er möchte über email kommunizieren können, er will schriftliche Dokumente ausdrucken können, wo immer er sich aufhält. Schließlich interessiert er sich für das tägliche Kinoprogramm. Ist er in Berlin, seinem Hauptwohnsitz, wird er im lokalen Netz seines Instituts seine mailbox besitzen, aus der er seine emails lesen und beantworten kann. Will er drucken, so findet er das Ergebnis am Laser-Drucker im Nachbarraum. Fragt er nach dem Kinoprogramm, zeigt ihm sein Display das Berliner Kinotableau. Tags darauf ist er in Paris. Seine Arbeitsumgebung (PWE) sollte die gleiche geblieben sein. Er setzt sich in Paris an ein Netzterminal, ruft das email-System. Selbstverständlich wird ihm die heimatliche Berliner mailbox zugänglich gemacht. Will er drucken, so informiert man ihn über einen Drucker, der ihm an seinem jetzigen Arbeitsort einfach erreichbar ist. Schließlich bekommt er das Kinoprogramm seines Pariser Aufenthaltsortes angezeigt, das Berliner würde ihm wenig nützen.

Als Lösungsansatz wird dem Projekt MINT ein Schichtenmodell unterlegt:

Die Basisschicht verwaltet Objekte und realisiert die Inter-Objekt-Kommunikation. Darüber wird in einer Schicht die Objektvermittlung (Trading) vollzogen. In der nächsten Schicht werden alle Aufgaben im Bereich der Personalisierung angesiedelt. Es wird nicht überraschen, daß hier mannigfache Fragen nach individuellen Attributen, aber auch diverse Gültigkeits- und Zulässigkeitsprüfungen vorgesehen werden müssen. Es schließen sich Aufgaben im Bereich des Managements der Dienste an. Die Verbindungen zum vorher beschriebenen Projekt MACS helfen dabei. Weiterhin muß auf die Gestaltung der Nutzeroberflächen Einfluß

genommen werden, internationalisierte Zeichensätze und Symbole sind zu berücksichtigen.

Bisher und quasi als vorbereitende Startphase wurde eine prototypische Implementierung des MINT-Ansatzes fertiggestellt. Ein Server auf der Basis des WWW (World Wide Web) verwaltet die persönlichen Arbeitsumgebungen, Rollen wurden als Skripts für WWW (CGI-Skripts, – Common Gateway Interface) programmiert. Die Fortführung der Arbeit verwendet das CORBA-gerechte Programmiersystem Orbix und sichert damit die Konformität mit den Standards der OMG.

Schlußfolgerungen

Wenn die hier vorgestellten drei Modellsysteme ein gewisses Interesse geweckt haben sollten, so belegen sie aber auch zugleich die allgemeine Situation auf dem Gebiet der Architektur von Softwaresystemen.

Leitlinien oder Kriterien zur Bewertung der architektonischen Ausgestaltung von Softwaresystemen gibt es kaum. Softwaresysteme funktionieren oder auch nicht, sie sind effektiv oder auch langsam, sie sind robust oder stürzen gelegentlich ab. Die Frage danach, ob ein System besser ist als ein anderes, ist schon recht schwer zu beantworten, wenn man sich vorstellt, womöglich objektive Maßstäbe anwenden zu wollen.

Die reale Welt, das wirkliche Leben wird von einer auffälligen Spontaneität regiert. Da erfinden einige Physiker des CERN das World Wide Web. Alle Welt stürzt sich darauf. Nach mehr als 20 Jahren wird das Internet, das bis dato doch eher speziellen, genau spezifizierten Zielen diente, populär, in einem Ausmaß, das die Leistungsfähigkeit der installierten Übertragungsmöglichkeiten plötzlich zum Engpaß werden läßt.

Da erleichtert sich ein Team zur Mikroprozessorprogrammierung für Anwendungen in consumer electronics die Arbeit und formuliert eine objektorientierte Sprache, so daß die Programmportierung auf immer neue Chips vereinfacht wird. Daraufhin wälzt sich wie eine Lawine die Sprache JAVA über die Fachwelt. Nun füllen die dazu verfaßten Bücher in den Buchläden meterweise die Regale. Es werden Mikroprozessoren gefertigt, die JAVA direkt abarbeiten können. Damit eröffnen sich revolutionäre Perspektiven.

Daneben arbeiten mit hoher Intensität fleißige Standardisierungsgremien der ISO (International Standard Organization), aus der das berühmte OSI-Schichtenmodell der Datenübertragungstechnik hervorgegangen ist (OSI steht für Open Systems Interconnection), die OSF (Open Systems Foundation) mit ihrem DCE-Ansatz (Distributed Computing Environment) oder die OMG (Object Management

Group). Jedoch die Bezüge zur Praxis kommen oftmals zu spät oder zu langsam. Beispielsweise sind die von der OMG ausgelösten Implementierungen der CORBA noch gar nicht fehlerfrei, wie konkrete Anwendungsfälle belegen. Schon einfache Versuche begründen die Herausgabe neuer Releases, weil die Zahl der beobachteten Fehler zu groß ist.

Dagegen etablieren sich oftmals de facto-Standards, wie z. B. Adobe's PostScript von XEROX, die Protokolle TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol) vor den Referenzen des OSI-Schichtenmodells der ISO. Die Sprache HTML (HyperText Markup Language) dominiert das World Wide Web, wenngleich die in Graz entwickelte Sprache Hyper-G, die ähnliche Ziele verfolgt, wirklich leistungsfähiger ist. Firmenstandards wie das Network File System oder die Sprache JAVA von Sun Microsystems setzen sich nahezu von selbst durch, weil sie Lücken schließen oder einfach „gut“ sind. Zudem prägen überragende Absatzzahlen und die massenhafte Verbreitung von Systemen Arbeitsregimes, die dadurch Standardcharakter erlangen oder zu Standards werden. Dies wird besonders augenfällig an der Geschichte der Mikroprozessoren, die in diesen Tagen gerade 25 Jahre währt. Sollte man an das Architekturverständnis anderer Disziplinen anknüpfen, die zudem auf eine jahrzehntealte Tradition zurückschauen? Ausschreibungen, Architektur-Wettbewerbe, von starken Gremien ausgelobt und von erfahrenen Juroren begutachtet, sind im Bauwesen in aller Welt selbstverständlich. Die Informatik staunt. Für die Software-Architektur ist es an der Zeit, dorthin Brücken zu schlagen und mit den Erfahrungen anderer Fachrichtungen neue Wege zu begehen.

Literatur

Berichte der Arbeitsgruppe Systemarchitektur

- Balfanz, D.: Eine vertragsbasierte Architektur in flexiblen Telekommunikationssystemen. Diplomarbeit, Institut für Informatik, Humboldt-Universität Berlin, 1995.
- Balfanz, D.: Contracts in a Commercial Teleservice Environment. St. Petersburg (Russia), June 12-15, 1995. First International Workshop on High Speed Networks and Open Distributed Platforms.
- Burkhard, B.: Application Management implemented as a Distributed Application – the MACS Project. Proceedings of the IFIP/IEEE International Conference on Distributed Platforms (ICDP'96), Dresden, March 1996.
- Burkhard, B. & J.-P. Redlich: Management in Flexible, Personalized Communication Systems. St. Petersburg (Russia), June 12-15, 1995. First International Workshop on High Speed Networks and Open Distributed Platforms.
- Erpel, U.: Dynamische Präsentationssteuerung in multimedialen Systemen. Diplomarbeit, Institut für Informatik, Humboldt-Universität Berlin, 1995.

- Krause, H.: Programmierung verteilter Systeme mit Teleagenten. Diplomarbeit, Institut für Informatik, Humboldt-Universität Berlin, 1995.
- Redlich, J.-P.: FOCS – A Toolkit for flexible Telecommunications Systems. Proceedings of the Annual Conference of the Internet Society and the 5th Joint European Networking Conference (INET'94/JENC5) INET'94/JENC5, Prague, Tschech Republic, June 15-17, 1994.
- Redlich, J.-P. & D. Balfanz: Through Object Orientation Towards Flexible Teleservices. Proceedings TOOLS-USA-94. Technology of Object-Oriented Languages and Systems (TOOLS 14). Santa Barbara, CA.
- Redlich, J.-P. & D. Balfanz: Concepts for a Flexible Service Architecture. Proceedings of the Second International Conference on Intelligence in Broadband Services and Networks (IS&N), Aachen, Sept. 5-7, 1994.
- Redlich, J.-P.: Eine objektorientierte Architektur für die Entwicklung von flexiblen Telekommunikationsanwendungen. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin, Juli 1995. Fortschritt-Bericht VDI-Verlag, Reihe 10, Nr. 378 Informatik.
- Redlich, J.-P.: Corba 2.0, Praktische Einführung für C++ und Java. Addison-Wesley, 1996.
- Redlich, J.-P. & D. Balfanz: Requirements for Personalized User Environments in Telecommunications. 3rd International Workshop on Services in Distributed and Networked Environments, IEEE Technical Committee on Distributed Processing, Macau, June 1996.
- Proceedings 16th International Conference on Distributed Computing Systems, Hong Kong, May 1996.
- Tsaoussidis, V.: Information Processing in a Service-oriented Management System. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin, Februar 1995.
- Tsaoussidis, V.: A Service-oriented Management System. Proceedings of the Engineer's Conference at Networkd + INTEROP '95, Las Vegas, Nevada.

Weitere Literatur (Auswahl)

- Abeck, A. & H.-G. Hegening: Integrated Network and System Management. Addison-Wesley, 1994.
- Bal, H. E.: Programming Distributed Systems. Prentice Hall, 1991.
- Bal, H. E., Steiner, J. G. & A. S. Tanenbaum: Programming Languages for Distributed Computing Systems. ACM Computing Surveys 21(3), September 1989, 261ff.
- Becher, J.: Konfigurierung verteilter, heterogener Informationsverarbeitungssysteme. Dissertation am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe, 1993.
- Black, U.: Network Management Standards – The OSI, SNMP and CMOL Protocols. McGraw Hill Inc., New York, 1992.
- De Prycker, M.: Asynchronous Transfer Mode, Solution for B-ISDN. Computer Communications and Networking, Ellis Horwood, 1993.

- Dulay, N., Kramer, J., Sloman, M. & K. Twidle: Distributed System Construction: Experience with the CONIC Toolkit. LNCS Nr. 309, Springer-Verlag, 1988, 189ff.
- Eckardt, T. & T. Magedanz: The Role of Personal Communications in Distributed Office Environments. ISADS 95, Phoenix, Arizona, USA, April 1995.
- Krüger, G.: Rechnergestützte Telekommunikation (Telematik) in Forschung, Lehre und Gesellschaft. Nova Acta Leopoldina NF 72, Nr. 294 (1996), 333-352.
- Krumm, H.(Hg.): Entwicklung und Management verteilter Anwendungssysteme. GI/ITG Fachgruppe 'Kommunikation und verteilte Systeme', GI Fachgruppe 'Betriebssysteme', Tagungsband des 2. Arbeitstreffens, Dortmund, Oktober 1995.
- Macartney, A. J. & G. S. Blair: Flexible trading in distributed systems. Computer Networks and ISDN Systems 25, Noth-Holland, 1992, 145ff.
- Magee, J., Dunlay, N. & J. Kramer: Structuring Parallel and Distributed Programs. Workshop on Configurable Distributed Systems, Imperial College of Science, 1992, 102ff.
- O'Mahony, D., Spinner, A. & F. Williams: The EuroBridge Methodology for Telecommunications Service Specification. ICC, 1993, 1536ff.
- Marcus, R.: Integrating Object Technology into Future Computing Environments. TOOLS-14/USA, Santa Barbara, August 1994.
- Mühlhäuser, M., Gerteis, W. & L. Heuser: DOCASE: A Methodic Approach To Distributed Programming. Communications of the ACM, Vol. 36, No. 9, September 1993, pp. 127.
- Ouibrahim, H.: Access Signalling Architecture Based On An Object Oriented Service Description. Proc. Workshop on Broadband Communications, Estoril, 1992.
- Polze, A.: Objektorientierung und lose gekoppelte Kommunikation als Basis für die Entwicklung offener, verteilter Anwendungssysteme. Dissertation am Fachbereich Mathematik der Freien Universität Berlin, Juni 1994.
- Popescu-Zeletin, R., Tschammer, V. & M. Tschichholz: 'Y' distributed application platform. In: Computer Communication, Bd. 14 (1991), 366ff.
- Schill, A.: Migrationssteuerung und Konfigurationsverwaltung für verteilte objektorientierte Anwendungen. Dissertation, Universität Karlsruhe, Institut für Telematik, Januar 1990.
- Schill, A.: DCE – Das OSF Distributed Computing Environment – Einführung und Grundlagen, Springer, 1993.
- Sloman, M.(Ed.): Network and Distributed Systems Management. Addison-Wesley, 1994.
- Solvie, G.: Adaptive Kommunikationsunterstützung in offenen Systemen, Fortschrittsberichte VDI, Reihe 10, Nr. 301, VDI-Verlag, 1994.
- Spaniol, O., Popien, C. & B. Meyer: Dienste und Dienstvermittlung in Client/Server Systemen. Thomson's Aktuelle Tutorien, Bonn, 1994.
- Stransky, B.: Distributed Objects Based on CORBA and OSF/DCE. DCE-Workshop der Universität Karlsruhe, Tagungsband, Springer, 1993, 26ff.
- Tanenbaum, A. S.: Distributed Operating Systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
- Vinoski, S.: Distributed Object Computing With CORBA. C++ Report magazine, July/August 1993.

- Watson, A. J.: The ANSAware Trader Tour. Proc. APM Trading Workshop, APM Ltd., Cambridge, England, September 1990.
- Wayner, P.: Agents away. BYTE, Mai 1994, 118ff.
- Zimmermann, M., Feldhofer, M. & O. Drobnik: Verteilte Anwendungen: Entwurf und Realisierung. PIK 16(2), April-Juni 1993, 62ff.
- Zitterbart, M., Stiller, B. & A. Twantawy: Application-Driven Flexible Protocol Configuration. ITG/GI-Fachtagung, Informatik Aktuell, Springer, 1993, 384ff.
- Object Request Broker 2.0. OMG TC Document No 92.12.10, 1992.
- Open Software Foundation: OSF Distributed Computing Environment. Rationale; OSF, Cambridge, USA, 1992.
- ISO/IEC JTC1/SC21/WG7:
- Reference Model of Open Distributed Processing. Part 1: Overview and Guide, CD-Standard, Southampton (U.K.), 1994.
 - Reference Model of Open Distributed Processing. Part 2: Descriptive Model, Committee Draft, April 1993.
 - Reference Model of Open Distributed Processing. Part 3: Prescriptive Model, Committee Draft, April 1993.
 - Reference Model of Open Distributed Processing. Part 4: User Model, Working Draft, Dezember 1991.
 - Reference Model of Open Distributed Processing. Part 5: Architectural Semantics, Working Draft, August 1992.
- ISO/IEC JTC1/SC21/WG7: Working Document on Topic 9.1 – ODP Trader. July 1993.
- RACE Common Functional Specifications (CFS) H430: „The Inter-Domain Management Information Service (IDMIS)“, Issue D, December 1993.
- TINA Consortium: Telecommunication Information Network Architecture – Work Program Proposal, Draft Issue 4, January 1993.

Wolfgang Hackbusch

Numerische Mathematik und ihre Wechselwirkung mit der gegenwärtigen Rechnerentwicklung

*(Vortrag in der gemeinsamen Sitzung der Biowissenschaftlich-medizinischen
und der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse am 14. Februar 1997)*

1 Zur Geschichte der Numerischen Mathematik

Einerseits ist die Numerische Mathematik eine sehr junge Disziplin, andererseits stehen numerische Aspekte, d. h. Aspekte des rechnerischen Umgehens mit Zahlen am Anfang der Mathematikgeschichte überhaupt. Daß sich die Mathematik in der sumerisch-akkadisch-babylonischen Kultur so erfolgreich entwickeln konnte, lag nicht zuletzt an der Tatsache, daß das babylonische Zahlensystem in etwa unserer modernen Gleitkommaarithmetik entsprach. Ein auf der Basis 60 beruhendes System wurde sowohl für den ganzzahligen wie auch für den gebrochenen Anteil verwendet, wobei allerdings der „Dezimal“-Punkt bzw. der Exponentialteil nicht angegeben wurden (vgl. Neugebauer [3]). Eine ähnlich konsequente Zahlendarstellung im 10er-System wurde erst 1585 von dem Holländer S. Stevin eingeführt, vorher wurde im Nachkommabereich weiterhin das 60er-System (Minuten, Sekunden, ...) verwendet. Stevin war ein Vertreter der „Rechenmeister“, die sich um 1600 einer regen Nachfrage nach Rechenfertigkeiten erfreuen konnten. Der bis heute tradierte Name von Adam Ries (Riese) spricht für die Popularität der Rechenmeister. Die Entwicklung der Logarithmen ist z. B. eine wichtige Entwicklung jener Zeit.

Im Zuge der Entwicklung der Analysis wurden numerische Algorithmen mitentwickelt und waren inhaltlich nicht von der Analysis getrennt. So waren etwa Reihenentwicklungen von Funktionen kein Selbstzweck, sondern wurden als Berechnungsverfahren verwendet, wobei selbstverständlich Wert auf schnelle Konvergenz gelegt wurde. Stellvertretend seien zwei Namen genannt, die bis heute mit wichtigen und grundlegenden numerischen Algorithmen verbunden sind. Von I. Newton (1643–1727) stammen u. a.

- das „Newton-Schema“ (1675): Interpolation mit Hilfe dividierter Differenzen,
- die „Newton-Cotes-Formeln“ (Cotes 1711) für die Quadratur von

$$(1) \quad \int_a^b f(x) dx \sim \sum_j \omega_j f(x_j) \quad (\omega_j \text{ Gewichte, } x_j \text{ Stützstellen})$$

mit gleichabständigen Stützstellen,

- das „Newton-Verfahren“ (1669) zur Lösung einer nichtlinearen Gleichung.

Die genannten Verfahren sind auch heute noch Gegenstand jeder einführenden Vorlesung „Numerische Mathematik“, ebenso wie die folgenden Verfahren, die auf C. F. Gauß (1777–1855) zurückgehen:

- „Gauß-Elimination“ zur Lösung eines linearen Gleichungssystems,
- „Gauß-Seidel-Iteration“ (Gerling 1845) für die gleiche Aufgabe,
- „Gauß-Quadratur“ (1814), Quadratur von (1) mit spezifisch gewählten Stützstellen,
- „Methode der kleinsten Quadrate“ (1795) in der Ausgleichsrechnung.

Wer Genaueres zur Numerik jener Zeit erfahren möchte, sei auf Goldstine [1] verwiesen.

Zu einer eigenständigen Disziplin ist die Numerische Mathematik erst Mitte dieses Jahrhunderts in dem Moment geworden, als elektronische Rechner eingesetzt werden konnten. Warum gerade die elektronischen Rechner (und nicht etwa die schon länger verfügbaren mechanischen Rechner) den Anstoß zur Eigenständigkeit gaben, wird im Abschnitt 3 näher erläutert werden.

2 Die Beziehungen der Numerischen Mathematik zur Angewandten Mathematik

Eine Einteilung der verschiedenen mathematischen Bereiche in Reine und Angewandte Mathematik ist nicht sehr hilfreich. Jeder Teil der Mathematik kann dadurch angewandt sein, daß eine Beziehung zu einem außermathematischen Bereich hergestellt wird, der im oberen Teil der Abb. 1 mit „Anwendung“ bezeichnet ist. Diese Anwendung braucht noch nicht in der Sprache der Mathematik formuliert zu sein, so daß eine mathematische Modellierung erforderlich sein kann. Danach muß versucht werden, die entstehende mathematische Fragestellung im Sinne der Anwendung zu beantworten. Besonders fruchtbar für die Mathematik waren Anwendungen, die auf Fragen führten, welche im Rahmen der bisher entwickelten Mathematik nicht formalisiert werden konnten und so den Anstoß zu neuen Strukturen innerhalb der Mathematik gaben.

Die Numerische Mathematik hat ebenfalls einen Bezugspunkt außerhalb der Mathematik: den Rechner, der erst in jüngster Zeit der elektronische Rechner ist und davor der mechanische bzw. der menschliche Rechner war (vgl. unterer Teil

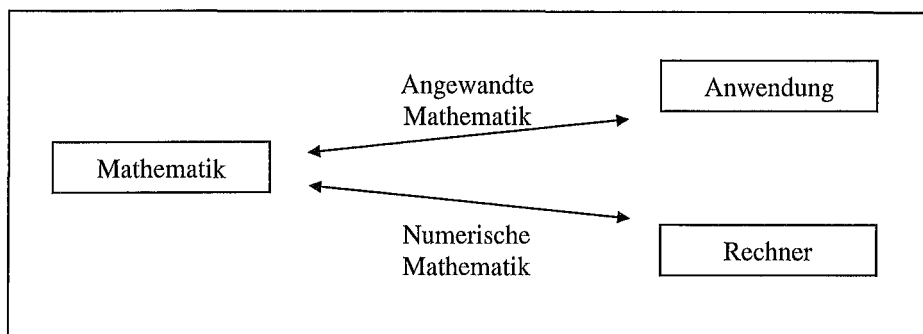


Abb. 1

der Abb. 1). Anders als die Anwendung stellt der Rechner keine Fragen an die Mathematik, sondern gibt im Gegenteil Antworten im Sinne der Lösung elementarer arithmetischer Aufgaben. Damit ist die Numerische Mathematik nicht mit der Angewandten Mathematik gleichzusetzen oder ein Teil von ihr. Allerdings gehen die Numerische Mathematik und die Angewandte Mathematik in den meisten Fällen gemeinsame Wege, da die Nachfrage nach numerischen Antworten typisch für Anwendungen von außen und eher untypisch für innermathematische Aufgaben ist.

3 Numerische Mathematik als selbständige Disziplin

Auf den ersten Blick erscheint es selbstverständlich, daß die Einführung moderner Computer den Anstoß zu einer sich schnell entfaltenden Numerischen Mathematik gegeben hat. Auf der anderen Seite kann man Argumente für das Gegenteil finden: Wie in Abschnitt 1 beschrieben, sind die grundlegenden numerischen Algorithmen schon seit mehr als 100 Jahren bekannt. War die Ausführung der Rechnungen vor der Einführung moderner Computer noch sehr mühsam, können heute die Rechnungen mit atemberaubender Geschwindigkeit durchgeführt werden. Dies deutet eher einen zufriedenstellenden Zustand an und keinen Mangel, der durch wissenschaftliche Fortschritte in der Numerischen Mathematik abzubauen wäre. Dafür, daß in der Tat wissenschaftliche Fortschritte erforderlich sind, seien im folgenden drei unterschiedliche Antworten angegeben:

1. Neuartige Fragestellungen
2. Stabilitätsproblematik
3. Problem der stets zu knappen Rechnerressourcen.

Zu 1. Viele numerische Aufgaben lassen sich erst bei umfangreichen Datenmengen sinnvoll stellen und können daher erst im Zeitalter der modernen Computer in Angriff genommen werden. Ein Beispiel dieser Art ist etwa die Bildrekonstruktion in der Computertomographie und die Klasse der „schlechtgestellten Probleme“ im allgemeinen.

Zu 2. Selbst bei klassischen Verfahren hat es bei der Einführung der elektronischen Rechner unangenehme Überraschungen gegeben. Bei der Mehrzahl der Algorithmen gibt es eine „Dimension“ oder „Problemgröße“, die im folgenden mit n bezeichnet sei. Solange man per Hand oder mechanisch gerechnet hat, war n erzwungenermaßen klein. Erst der Rechner eröffnete die Möglichkeit, den Grenzprozeß $n \rightarrow \infty$ besser auszuschöpfen. Welche Schwierigkeiten dabei entstehen können, sei anhand der schon oben erwähnten Newton-Cotes-Quadratur erläutert. Als Aufgabe sei die Integration von (1) für $f(x) = e^x$ und $a=0, b=1$ gestellt. Der Integralwert $e-1 = 1.718281828\dots$ soll durch Newton-Cotes-Formeln mit n Teilintervallen berechnet werden, wobei die Werte der Exponentialfunktion e^x einer Tafel mit 6 Dezimalstellen entnommen seien. Für $n=1$ Teilintervall liefert die „Trapezformel“ den Wert

$$0.5 * \exp(0) + 0.5 * \exp(1) = 1.86\dots \quad (\text{Fehler: } 0.14).$$

$n = 2$ Teilintervalle („Simpson-Formel“) ergeben den wesentlich besseren Wert

$$1/6 * \exp(0) + 2/3 * \exp(0.5) + 1/6 * \exp(1) = 1.7189\dots \quad (\text{Fehler: } 0.00058).$$

Für $n=4$ (Wert = 1.718282...) und $n=8$ (Wert = 1.7182816...) sind alle 6 Stellen exakt, was das optimale Resultat bei Eingabewerten ist, die nur auf 6 Stellen genau sind. Läßt man den Rechner nun die Näherung mit einer höheren Teilintervallanzahl n berechnen, so ergeben sich zunehmend unsinnigere Werte, z. B. $n=30$: 1.67, $n=38$: -4.5, $n=40$: +4.9. Dieses Fehlverhalten ist keineswegs eine generelle Eigenschaft von Quadraturverfahren. Das oben erwähnte Gauß-Quadraturverfahren, das nur anders definierte Stützstellen x_i (und damit auch andere Gewichte) besitzt, liefert für beliebig große n gute Resultate.

Die Newton-Cotes-Quadratur ist nur ein Beispiel für ein instabiles Verfahren. Auf vielen Feldern haben sich ähnliche Instabilitätsphänomene ergeben. Dies führte dazu, daß sich kurz nach Einführung der elektronischen Rechner Stabilitätstheorien der verschiedenen Bereiche entwickelt haben. Für den numerischen Laien ist die Stabilitätsproblematik oft schwer einsehbar. Noch brisanter ist die Frage, ob eine eventuelle Instabilität als eine solche erkannt werden kann. In vielen Fällen äußert sich die Instabilität durch offensichtlich unsinnige Werte, aber es gibt auch schleichende Instabilitäten, die sogar Konvergenz (gegen einen falschen

Wert) vortäuschen können. Im Zweifelsfall ist die numerische Expertise erforderlich, um festzustellen, ob den numerischen Resultaten zu trauen ist oder nicht.

Zu 3. Das Problem der stets zu knappen Rechnerressourcen ist wohl der stärkste Antrieb, den die Numerische Mathematik erfährt. Der folgende Abschnitt ist dieser Thematik gewidmet.

4 Permanent knappe Rechnerressourcen

4.1 Gleichungssysteme als Modellbeispiel

Die Lösung eines Systems von n Gleichungen mit n Unbekannten

$$(2) \quad \begin{array}{l} a_{11} x_1 + \dots + a_{1n} x_n = b_1 \\ \dots \\ a_{n1} x_1 + \dots + a_{nn} x_n = b_n \end{array} \quad \begin{array}{l} (x: \text{gesuchte Lösung}) \\ (n: \text{Dimension}) \end{array}$$

gehört zu den „simplen“ Problemen, auf die der oben erwähnte Eliminationsalgorithmus von Gauß eine generelle Antwort gibt. Lineare Gleichungssysteme treten auch auf, wenn die zu behandelnde Aufgabe nichtlinear ist, da dann die Lösung durch das Newton-Verfahren auf eine Folge linearer Probleme zurückgeführt wird. Eine besonders häufige Quelle linearer Gleichungssysteme sind partielle Differentialgleichungen, die Funktionen in zwei oder drei Raumdimensionen beschreiben. Im einfachsten Falle diskretisiert man die partiellen Differentialgleichungen, indem man ein zwei- oder dreidimensionales (quadratisches bzw. kubisches) Gitternetz der Schrittweite h über das betrachtete Gebiet spannt (vgl. Abb. 2).

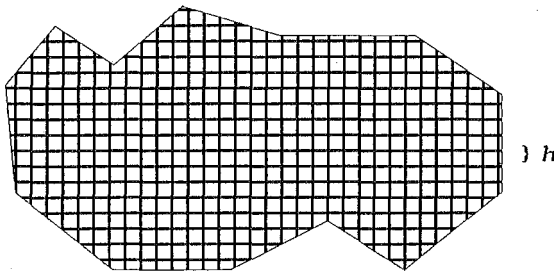


Abb. 2
Gitter der Schrittweite h

Im Falle eines beschränkten Gebietes führt die Schrittweite h zu $n = O(h^2)$ bzw. $n = O(h^3)$ Gitterpunkten (hier bedeutet $O(\dots)$ „proportional zu ...“). Jedem Gitterpunkt entspricht mindestens eine Unbekannte im entstehenden linearen Gleichungssystem. Schrittweiten $h=1/100$ oder $h=1/1000$ führen somit auf Gleichungssysteme bis zur Dimension $n \sim 1.000.000$ in zwei Raumdimensionen und $n \sim 1.000.000.000$ in drei Raumdimensionen. Es lassen sich weitere Beispiele anfügen, die eine noch höhere Größenordnung von n ergeben.

4.2 Zwei Thesen

Die hohen Dimensionen sind der Grund, warum lineare Gleichungssysteme zu einer schwierigen Aufgabe werden. Die Rechnung mit der zuletzt genannten Dimension $n \sim 1.000.000.000$ scheitert schon deshalb, weil ein entsprechender Speicher im Rechner nicht verfügbar ist. Die Tatsache, daß man Probleme rechnen möchte, die in ihrem Umfang die Kapazität der vorhandenen Rechner weit übersteigen, führt dazu, daß die in der Praxis auftretende Dimension der Gleichungssysteme durch die Kapazität des Rechners begrenzt ist. Hieraus läßt sich die folgende These ableiten:

These I. Die Dimension n für praktisch relevante Probleme ist von der Größenordnung des Maximums, das durch die Speicherkapazität des Rechners gegeben ist.

Die Rechnerkapazität ist insbesondere durch zwei Größen gekennzeichnet, die Rechengeschwindigkeit und den zentralen Speicherplatz. Beide steigen mit fast konstanter Rate, die in etwa mit dem Faktor 100 über 10 Jahre beziffert werden kann. Hierzu einige Daten (nach Siemens-Zeitschrift Special – FuE – Frühj. 1996) in Abb. 3.

Diese Daten belegen die zweite These:

These II. Die Rechengeschwindigkeit und der zur Verfügung stehende Speicherplatz steigen proportional.

Die Konsequenzen der beiden Thesen seien wieder anhand eines linearen Gleichungssystems erläutert. Der Gaußsche Eliminationsalgorithmus benötigt zur Lösung eines Systems der Dimension n im allgemeinen Fall $2n^3/3$ arithmetische Operationen (+, -, *, /). Seine Realisierung scheitert aber im allgemeinen an dem Speicherplatz, der für die Matrix benötigt wird. Die bei der Diskretisierung partieller Differentialgleichungen auftretenden Matrizen sind zwar schwachbesetzt (d. h. anstelle von n^2 Koeffizienten sind nur $O(n)$ Daten abzuspeichern), aber die Matrix entwickelt sich während der Elimination zu einer eher vollbesetzten Struktur. Als Alternative sei im folgenden die iterative Lösung mit Hilfe der Gauß-

Jahr	Speicher	Prozessor
1973	1 kbit	8080
1975	4 kbit	80186
1978	16 kbit	
1982	64 kbit	80286
1985	1 Mbit	80386
1989	4 Mbit	80486
1994	16 Mbit	Pentium

Tabelle 1
Zeitliche Entwicklung des
Speichers

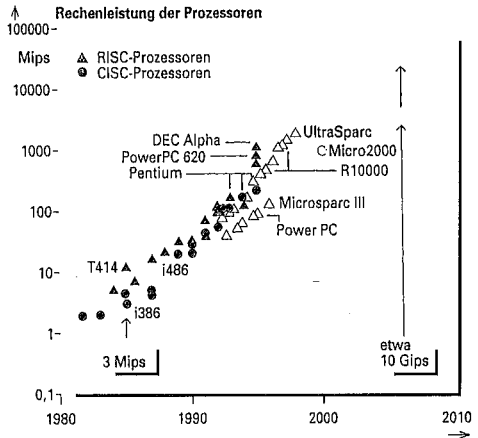


Abb. 3
Zeitliche Entwicklung der
Rechenleistung

Seidel-Methode (s. o.) verwandt. Für Standardaufgaben wie die Lösung der Poisson- oder Laplace-Gleichung führt die relativ langsame Konvergenz dieser Iteration dazu, daß ebenfalls $O(n^3)$ arithmetische Operationen zur Gleichungslösung erforderlich sind. Dafür bleibt der Speicheraufwand bei $O(n)$. Dieser Algorithmus soll im folgenden zugrundegelegt werden.

4.3 ... und ihre Folgen

Nach den oben angegebenen Daten werden nach 5 Jahren Rechner angeboten, die sich um den Faktor 10 verbessert haben. Wir nehmen daher an, eine Rechner-Neuinvestition habe gemäß These II sowohl den verfügbaren Speicher als auch die Rechengeschwindigkeit um den Faktor 10 ansteigen lassen. Nach These I möchte man nun aber Probleme der Dimension $10*n$ statt n lösen. Die Zahl der arithmetischen Operationen betrug $O(n^3)$ und steigt deshalb um den Faktor 1.000 an; wegen der gleichzeitig verbesserten Rechengeschwindigkeit bleibt ein Anstieg der Rechenzeit um den Faktor 100. Dies führt zu dem paradoxen Fazit, daß der schnellere Rechner mehr Zeit benötigt. Dieses Paradox stellt sich solange ein, wie Verfahren verwendet werden, deren Aufwand stärker als linear wächst: $O(n^\alpha)$ mit

$\alpha > 1$. Erst wenn ein Algorithmus lineare Komplexität besitzt, d. h. wenn er einen Aufwand proportional zur Dimension n besitzt, kompensieren sich der größere Aufwand und die gestiegene Rechengeschwindigkeit. Allerdings ist lineare Komplexität zugleich die bestmögliche Komplexitätsordnung, da schon eine einzige Operation pro Unbekannte zu einem $O(n)$ -Aufwand führt. Für das Weitere halten wir fest:

Bemerkung: Für Aufgaben, auf die These I zutrifft, benötigt man Algorithmen mit (möglichst) linearer Komplexität.

Diese Bemerkung zeigt deutlich, daß die Entwicklung im Bereich der Rechner einen wesentlichen Impuls auf die Numerische Mathematik ausübt. Es zeigt sich, daß der Rechner (vgl. Skizze in Abb. 1) nicht nur Antworten gibt, sondern der Numerischen Mathematik auch spezifische Aufgaben stellt. Man kann aber in bezug auf die Rechnerentwicklung auch den Umkehrschluß ziehen: Wäre die Numerik nicht in der Lage gewesen, entsprechende Algorithmen anzubieten, gäbe es wegen der immer größer werdenden Rechenzeiten (siehe obiges Paradoxon) kaum Interesse, die Speicherkapazitäten zu erhöhen.

Es sei angemerkt, daß es andere Aufgaben gibt, bei denen man froh wäre, einen Algorithmus mit z. B. kubischer Komplexität zu kennen. Für diese Probleme trifft allerdings These I nicht zu. In diesen Fällen ist die Rechenzeit auch schon für mäßige Dimensionen das Nadelöhr.

4.4 Helfen Parallelrechner?

Ein Verbund von p Prozessoren (mit jeweiliger Speicherkapazität n) liefert den (verteilten) Gesamtspeicher vom Umfang $p \cdot n$. Geht man optimistischerweise davon aus, daß ein Algorithmus optimal parallelisiert werden kann (optimaler „speed-up“), so reduziert sich seine Rechenzeit um den Faktor $1/p$. Man sieht, daß auch in diesem Fall die These II gültig bleibt: Bezüglich Speicher und Geschwindigkeit trifft der gleiche Faktor p zu. Damit stellt der Parallelrechner keine neue Situation her. Die Algorithmen müssen jetzt aber nicht nur optimale Komplexität besitzen, sondern auch möglichst gut parallelisierbar sein und mit verteiltem Speicher arbeiten können. Man kann einen Parallelrechner mit p Einzelprozessoren auch als einen Vorschuß auf die Zukunft ansehen: Nach entsprechender Wartezeit würden sequentielle Rechner angeboten, die hinsichtlich Speicher und Geschwindigkeit um den Faktor p verbessert sind.

4.5 Lineare Komplexität bei linearen Gleichungssystemen

Die Frage, ob lineare Gleichungssysteme in $O(n)$ Operationen gelöst werden können, ist in dieser Form zunächst zu verneinen. Im folgenden sei die Situation vorausgesetzt, die bei der Diskretisierung partieller Differentialgleichungen vorliegt: Die Matrix A des Gleichungssystems $Ax=b$ (Kurzschreibweise für (2)) sei schwachbesetzt. Dies stellt sicher, daß die Matrixvektormultiplikation $(A,x) \rightarrow A*x$ mit $O(n)$ Operationen durchführbar ist (für eine vollbesetzte Matrix wären es $2n^2$ Operationen). Auch für (beliebige) schwachbesetzte Matrizen ist kein allgemeiner Algorithmus bekannt, der das lineare Gleichungssystem in $O(n)$ Operationen löst. Zur Illustration der Schwierigkeiten sei folgendes angemerkt. Die inverse Matrix A^{-1} einer schwachbesetzten Matrix A ist im allgemeinen vollbesetzt. Auch wenn die Inverse A^{-1} kostenlos zur Verfügung stünde, erforderte die Lösung von $Ax=b$ mittels der Matrix-Vektor-Multiplikation $x = A^{-1}*b$ immer noch $O(n^2)$ Operationen. Um Algorithmen linearer Komplexität zu erhalten, muß man entweder spezielle Matrixeigenschaften (im Sinne der linearen Algebra) ausnutzen oder aber von der Herkunft der Matrizen Gebrauch machen. Letzteres ist erfolgreich für Matrizen, die mittels Diskretisierung aus elliptischen Differentialgleichungen entstehen. Die speziellen Eigenschaften elliptischer Differentialgleichungen findet man in diskreter Form in den Matrizen wieder. Das Mehrgitterverfahren ist von dieser Form und hat sich in den verschiedensten Anwendungen als sehr erfolgreich erwiesen (vgl. Hackbusch [2] sowie die Tabelle im nachfolgenden Unterabschnitt).

4.6 Numerischer Fortschritt versus Fortschritte in der Rechnerentwicklung

Die Ausführungen haben gezeigt, daß bei der Lösung hochdimensionaler Probleme („Large Scale Computations“) sowohl die moderne Rechnerentwicklung als auch die Entwicklung numerischer Verfahren wesentliche Beiträge geliefert haben. Das HPC-Programm der US-Regierung hat 1992 versucht, die Fortschritte zu quantifizieren. Die folgende Tabelle stammt aus dieser Untersuchung und belegt, daß die Verbesserungen aufgrund moderner numerischer Algorithmen sogar noch größer sind als die infolge der Hardwareentwicklungen.

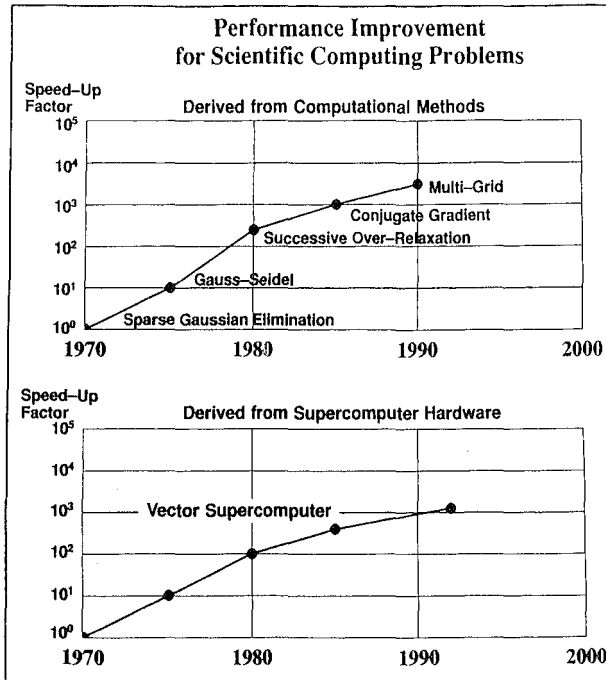


Tabelle 2
Aus dem HPCC-Programm

5 Adaptivität

5.1 Noch einmal: Dilemma der permanent knappen Ressourcen

In dem vorangehenden Abschnitt wurde die Aufgabe (eine partielle Differentialgleichung) diskretisiert und für das resultierende lineare Gleichungssystem ein möglichst schneller Algorithmus gesucht. Die Art der Diskretisierung (d. h. Näherung durch ein endlich-dimensionales Problem) stand dabei nicht zur Disposition. Nachhaltiger ist es, eine der folgenden Fragen zu beantworten:

- a) Gegeben eine Differentialgleichung und eine Genauigkeitsanforderung ε . Wie ist zu diskretisieren, damit die Dimension einer diskreten Lösung mit der Genauigkeit $< \varepsilon$ möglichst klein ist?

- b) Gegeben eine Differentialgleichung und eine Dimension n (z. B. maximale Speichergröße). Wie sieht eine n -dimensionale Näherung aus, die eine möglichst gute Genauigkeit besitzt.

In beiden Fällen lautet die Antwort, daß man mit Finite-Element-Methoden arbeiten muß, die problem-angepaßte Gitter verwenden. Welchen Gewinn man aus einer geeigneten Anpassung ziehen kann, sei an einem einfachen Beispiel im folgenden Abschnitt illustriert. Weiteres zu Anpassungstechniken folgt in Abschnitt 5.3.

5.2 Einführendes Beispiel zu angepaßten Gittern

Zur Quadratur von $f(x)=x^{0.1}$ über dem Intervall $[0,1]$ sei die summierte Trapezmethode angewandt. Dabei wird in jedem Teilintervall $[x_i, x_{i+1}]$ die Trapeznäherung $(x_{i+1}-x_i)*(f(x_i)+f(x_{i+1}))/2$ verwendet. Pro Teilintervall entsteht dabei ein Fehler der Form

$$(3) \quad h^2 f''/12, \quad \text{wobei } h = x_{i+1} - x_i$$

die Teilintervalllänge und f'' die zweite Ableitung von f an einer Zwischenstelle in $[x_i, x_{i+1}]$ ist. Die einfachste Realisierung der Trapezformel benutzt gleichabständige x_i , also $x_i = i/n$ für $0 \leq i \leq n$. In diesem Fall sind die Fehler (3) von sehr unterschiedlicher Größenordnung: Für $[x_i, x_{i+1}]$ mit kleinem i sind sie wesentlich größer als für $i \sim n$. Eine bessere Strategie ist es, Teilintervalle verschiedener Länge zu wählen, wobei die Längen so einzurichten sind, daß die Fehler (3) für alle i vergleichbare Größenordnung haben. Im Falle von $f(x) = x^{0.1}$ findet man, daß $x_i = (i/n)^{3/1.1}$ für $0 \leq i \leq n$ eine geeignete Wahl der Stützstellen x_i ist. Versucht man, mittels der summierten Trapezformel einen Integralwert mit einer Genauigkeit von mindestens $\varepsilon = 10^{-6}$ zu berechnen, so beträgt n im gleichabständigen Fall: $n=128.600$, im angepaßten Fall: $n=391$. Man sieht, daß sich Größenordnungen in der Rechenzeit gewinnen lassen, ohne an Genauigkeit einzubüßen, wenn man nur eine geeignet angepaßte Diskretisierung gefunden hat.

5.3 Adaptive Gitter bei Finiten Elementen

Im vorherigen Beispiel (Integration von f) war die Funktion f explizit bekannt einschließlich ihrer zweiten Ableitung, die in (3) auftrat. Bei Differentialgleichungen ist man in einer schwierigeren Lage, da die zu approximierende Funktion Gegen-

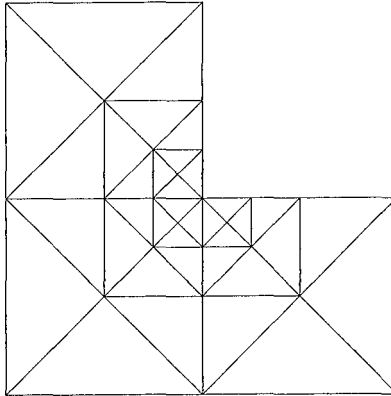


Abb. 4
Adaptives Gitter im L-Gebiet

stand des Problems und somit noch unbekannt ist. Für die Adaption gibt es zwei ganz unterschiedliche Strategien:

- a) Adaption mittels a-priori-Kenntnissen (z. B. über die Lage und Art möglicher Singularitäten),
- b) Automatische Kontrolle durch den Algorithmus selbst.

Abb. 4 zeigt die Triangulierung eines Gebietes, wobei in der Nähe der einspringenden Ecke die Dreiecke verfeinert werden. Je kleiner die Dreiecke sind, umso genauer läßt sich die gesuchte Funktion mit Hilfe der Finite-Element-Methode approximieren. Im Falle der Laplace-Gleichung hat man a-priori-Aussagen über eine Singularität der Lösungsgradienten an der einspringenden Ecke und kann anhand dieser Kenntnisse beschreiben, wie sich die Dreiecke verfeinern sollten, wenn ihr Abstand von der Ecke kleiner wird.

Gegen die Adaption mittels a-priori-Kenntnissen spricht,

- daß sie nur von Anwendern benutzt werden kann, die über entsprechende analytische Kenntnisse verfügen,
- daß sie programmtechnisch eher aufwendiger ist als die Alternative b) und
- daß die Mehrzahl der Gründe für Adaption nicht a priori vorhersagbar sind.

Im Falle b) („Selbstadaptivität“) besteht die Aufgabe des Algorithmus nicht nur in der Lösung des diskreten Problems, sondern auch in der Bestimmung der Diskretisierung. Die Werkzeuge, die hierfür zur Verfügung stehen sind sogenannte Fehlerschätzer (oder auch nur Fehlerindikatoren) und a-posteriori-Fehlerabschätzungen. Während eine a-priori-Abschätzung den Fehler vor einer Rechnung auf-

grund der gegebenen Problemgrößen anzugeben versucht, wird mit einer a-posteriori-Fehlerabschätzung aufgrund der aus der Rechnung gewonnenen diskreten Daten eine Schätzung des Fehlers angestellt. Damit können zwei Ziele erreicht werden:

- Stoppkriterium: Falls die gewünschte Genauigkeit aufgrund der a-posteriori-Fehlerabschätzung erreicht ist, kann die Rechnung mit positivem Resultat beendet werden.
- Unterstützung der Adaptivität: Fehlerschätzer bzw. Fehlerindikatoren geben an, wo der Fehler besonders groß ist.

Gemäß der auch in Abschnitt 5.2 verwandten Strategie der Gleichverteilung der lokalen Fehler wird man das Gitter dort verfeinern, wo große Fehler angezeigt werden. Dieser Verfeinerungsprozeß ist so lange zu wiederholen, bis das Stoppkriterium erreicht ist. Die zur Verfeinerung angemarkten Dreiecke der Triangulierung werden dabei in der Regel in vier ähnliche Dreiecke halber Länge zerlegt, wobei weitere Maßnahmen in den Nachbardreiecken nötig werden können. Details zu Fehlerschätzern bei elliptischen Differentialgleichungen findet man z. B. bei Verfürth [5] oder übersichtsweise in [4, Abschnitt 7.7.6].

Literatur

- [1] Goldstine, H. H.: A History of Numerical Analysis. New York: Springer-Verlag, 1977.
- [2] Hackbusch, W.: Multi-Grid Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag, 1985.
- [3] Neugebauer, O.: Vorlesungen über Geschichte der antiken mathematischen Wissenschaften. Berlin: Springer-Verlag, 1934.
- [4] Teubner-Taschenbuch Mathematik, Band I (Hg.: E. Zeidler). Stuttgart – Leipzig: Teubner, 1996.
- [5] Verfürth, R.: A Review of a posteriori Error Estimation and Adaptive Mesh-Refinement Techniques. Chichester – Stuttgart: Wiley – Teubner, 1996.

II.

Akademievorlesungen

Einführung zur Akademievorlesung von Timothy Garton Ash am 21. November 1996

Dieter Simon

Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Meine Damen und Herren,

ich begrüße Sie zur Akademievorlesung unseres Mitglieds Timothy Garton Ash, mit der die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften ihr diesjähriges Wintersemester eröffnet.

Timothy Garton Ash ist *Fellow* am St. Anthony's College in Oxford. Er studierte Geschichte in Oxford – ausgedehnte Reisen führten ihn bereits frühzeitig nach Mittel- und Osteuropa und trugen zu seiner profunden Kenntnis der Geschichte und Kultur dieser sehr unterschiedlichen Länder bei.

In beiden Hälften der damals noch geteilten Stadt Berlin hielt er sich zu Forschungsaufenthalten auf, und zwar an der Humboldt-Universität in der damaligen Hauptstadt der DDR und im Westteil Berlins – Reisen, die ihn zu einem Pendlers und Vermittler zwischen zwei verschiedenen Welten machten.

Im Jahre 1986/87 war er *Fellow* am Woodrow Wilson International Center for Scholars in Washington, D.C.; von 1986–94 war er Kurator des *Central and East European Publishing Project*. Seit 1990 ist Garton Ash in Oxford am renommierten St. Anthony's College, das auch die Wirkungsstätte Ralf Dahrendorfs ist, als *Senior Research Fellow* für Europäische Zeitgeschichte tätig. Überdies ist er seit 1992 Governor der Westminster Foundation for Democracy.

Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit trat Garton Ash auch immer wieder mit publizistischen Beiträgen hervor: er arbeitete als Kommentator über politische Themen Mitteleuropas für die *Times* (1984–86), als *Foreign Editor* des *Spectator* (1984–90) und er war Kolumnist für die Zeitung *The Independent* (1988–90). Bis heute schreibt er u. a. auch für die *New York Review of Books*.

Trotz seiner großen Jugend – er ist Jahrgang 1955 – wurden ihm bereits zahlreiche Ehrungen und Auszeichnungen, die nicht nur dem Wissenschaftler, sondern auch dem exzellenten Stilisten gelten, zuteil: er erhielt u. a. den *Somerset Maugham Award*, den *Prix Européen de l'Essai* und den Preis der Friedrich-Ebert-Stiftung

für das *Politische Buch des Jahres 1991*. Fernerhin ist er Inhaber des Verdienstordens der Republik Polen und des Bundesverdienstkreuzes.

Garton Ash befaßt sich mit Zeitgeschichte. Zeitgeschichte ist ein gleichermaßen alter wie neuer Begriff, der einen historischen Zeitraum beschreibt, welcher der Gegenwart unmittelbar vorausgeht. Schon bei Thukydides war er in seiner Mischung von Gelehrsamkeit und Augenzeugenschaft Gegenstand des Interesses. Als wissenschaftlicher Begriff bürgerte sich die „Zeitgeschichte“ in der deutschen Historiographie erst nach dem Ersten Weltkrieg ein. Nach der klassisch gewordenen, von Hans Rothfels 1953 in seinem programmatischen Aufsatz in der ersten Ausgabe der Vierteljahrshefte für Zeitgeschichte formulierten Definition handelt es sich um die „Epoche der Mitlebenden und ihre wissenschaftliche Behandlung“, die sich – so die Rothfels'sche Formulierung – stets weiter nach vorne verschiebt. In Deutschland ist das wichtigste Arbeitsgebiet der Zeitgeschichte gegenwärtig der Nationalsozialismus, die Weimarer Republik verschwindet allmählich am hinteren Tellerrand, und von vorne taucht die Geschichte der beiden deutschen Staaten in West und Ost auf.

Timothy Garton Ash machte eigentlich von Anfang an die deutsche Geschichte und die Geschichte der ostmitteleuropäischen Staaten *nach* 1945 sowie die Ost-West-Beziehungen zu Schwerpunkten seiner Forschungen. Deutsche Geschichte, das war zu Beginn seiner wissenschaftlichen und publizistischen Tätigkeit noch die Geschichte zweier Staaten, zweier Systeme, ja richtigerweise auch zweier Kulturen. 1981 erschien die damals hierzulande bezeichnenderweise nicht in der verdienten Breite rezipierte Publikation *‘Und willst du nicht mein Bruder sein ...’ Die DDR heute*, in welcher der Autor die Deutsche Demokratische Republik als „eine Gesellschaft gespaltenen Menschen in einer gespaltenen Nation“ bezeichnete und die „[innere] Emigration [als] die deutsche Form der Revolution“ (S. 11) diagnostizierte.

Einem breiten deutschen Publikum wurde Garton Ash 1990 mit seinem Buch *Ein Jahrhundert wird abgewählt. Aus den Zentren Mitteleuropas 1980–1990* bekannt, das in über zehn Sprachen übersetzt und von der Friedrich-Ebert-Stiftung zum *Politischen Buch des Jahres 1991* gewählt wurde. 1993 veröffentlichte er sein umfangreiches, international stark beachtetes Werk *Im Namen Europas. Deutschland und der geteilte Kontinent*, das die deutsche Außenpolitik der Nachkriegszeit vor dem Hintergrund der Ost-West-Konfrontation und in bezug auf ihre Rolle bei der Aufhebung der politischen Spaltung Europas analysiert.

Marion Gräfin Dönhoff verglich Garton Ash in seiner Funktion als Augenzeuge und Kommentator der Ereignisse in Ostmitteleuropa mit der „Brillanz und Kompetenz“ eines Alexis de Tocqueville. Garton Ash betreibt seine Disziplin, die Zeitgeschichte, nämlich nicht nur mit den methodischen Mitteln der Historiographie, sondern auch in einer sehr speziellen, geradezu persönlichen Weise: sein

Augenmerk gilt nicht nur der wissenschaftlichen Auswertung der diversen Quellendokumente, sondern auch der unmittelbaren Beobachtung der historischen Prozesse, deren Teil er selbst als Zeuge des Geschehens ist, wobei nach seinen eigenen Worten seine Interessen und Sympathien „*eher Ideen als Armeen [...], eher Kulturen als Wirtschaftssystemen, mehr den Nationen als politischen Systemen, vor allem aber den einzelnen Menschen, mehr als amorphen Kollektiven [gehören], eher jenen [...], die die Revolutionen machten, als jenen, die den Versuch machten, sie zu verhindern, eher den ehemaligen Gewissenshäftlingen, als den ehemaligen Gewissenswächtern*“ (*Ein Jahrhundert wird abgewählt*, S. 11 bzw. S. 347).

Versteht man Geschichte zur Abwechslung einmal mit Jan Huizinga als „geistige Form, in der sich eine Kultur über ihre Vergangenheit Rechenschaft gibt“, dann wird die besondere Verantwortung des Zeithistorikers deutlich, der auch Orientierungswissen liefert, ja liefern muß, will er seine Aufgabe nicht verfehlen. Derartiges Wissen ist im neuvereinigten Deutschland von besonderer Bedeutung, denn seit 1990 ist hier die historiographische Lage durch konkurrierende Verdrängungstendenzen, bewußte oder unbewußte Erinnerungsverluste, durch heterogene Aufarbeitungsversuche – kurz durch den Kampf der verschiedenartigsten Erinnerungspolitikern um den Sieg über die Memoria gekennzeichnet.

Hier ein gelassenes Wort zu sprechen, mag einem Engländer, der bekanntlich, wir wollen einem positiven Vorurteil Glauben schenken, über ein spezielles Maß an Skeptizismus, Pragmatismus und Distanz verfügt, in besonderem Maße gelingen. Herr Garton Ash, bitte sprechen Sie zu uns über: *Geschichtsaufarbeitung nach dem Kommunismus: das deutsche Beispiel im europäischen Vergleich*.

Timothy Garton Ash

Geschichtsaufarbeitung nach dem Kommunismus Das deutsche Beispiel im europäischen Vergleich

(Akademievorlesung am 21. November 1996)

‘Geschichtsaufarbeitung’ und ‘Vergangenheitsbewältigung’ sind zwei Worte, zu denen es meines Wissens keine genauen Äquivalente in irgendeiner anderen Sprache gibt. Für Beispiele, die diese Behauptung widerlegen, wäre ich natürlich dankbar, aber in allen mir bekannten Fällen muß man den beschriebenen Tatbestand oder die Tätigkeit mit mehreren Worten umschreiben.

Nun bedeutet das Fehlen eines Wortes in einer Sprache nicht unbedingt das Fehlen der Sache selbst. Lord Byron hat einmal gesagt, daß, obwohl die Engländer zwar kein Wort für *longeurs* hätten, sie doch die Sache selbst hätten, und zwar reichlich. Dieser Vortrag hätte keinen Sinn, wenn andere Länder, die auf die eine oder andere Weise aus einer kommunistischen Diktatur herausgekommen sind, nicht vergleichbare Probleme mit ‘der Vergangenheit’ hätten. Aber die Tatsache, daß es im Deutschen gleich zwei ziemlich geläufige Wörter gibt, und nirgendwo sonst, deutet schon darauf hin, daß wir es hier mit einer gewissen deutschen Spezialität zu tun haben.

Semantisch besonders stark hervorgehoben im Deutschen ist auch die bekannte Tatsache, daß die Beschäftigung mit der allerneuesten Geschichte, und gerade mit der Geschichte einer vorausgegangenen Diktatur, immer ein Politikum ersten Ranges ist. Dafür hat man im Deutschen zumindest drei Begriffe schon parat: Geschichtspolitik, Erinnerungspolitik, und der erst neulich in einem Buch von Norbert Frei exponierte Begriff der Vergangenheitspolitik.

In Deutschland wird die Geschichtsaufarbeitung nach 1989 immer wieder mit der nach 1945 verglichen: ‘zweierlei Vergangenheitsbewältigung’ ist das Thema nicht nur eines Aufsatzes, sondern auch schon einiger Bücher. Erstaunlicherweise wird sie kaum mit der Erfahrung anderer postkommunistischer Länder in Europa verglichen. Von den 15.378 Seiten der veröffentlichten Materialien der Enquête-Kommission ‘Aufarbeitung von Geschichte und Folgen der SED-Diktatur in Deutschland’ sind zwar die letzten 28 Seiten den ‘europäischen Dimensionen’

der Aufarbeitung gewidmet. Wenn man aber diese Seiten liest, ist es eigentlich wieder eine innerdeutsche Diskussion, die gar mit einer Fortsetzung des sogenannten 'Historikerstreits' endet.

Nun hört man gleich den Einwand: aber die deutsche Erfahrung ist anders als alle anderen, denn diese Geschichtsaufarbeitung wird in einem völlig anderen Staat vollzogen. Wenn wir genauer hinsehen, stellen wir aber fest, daß die meisten postkommunistischen Geschichtsaufarbeitungen in einem anderen Staat geschehen als in dem zur Zeit des Kommunismus bestehenden. Nur: hier wird nicht ein kleiner Staat in einen größeren integriert und gleichzeitig, wenn man so sagen kann, 'geschichtlich aufgearbeitet', sondern hier sind größere Staaten in kleinere zerfallen, so wie die ehemalige Sowjetunion, das ehemalige Jugoslawien und auch die ehemalige Tschechoslowakei.

Das stellt besondere Fragen. Inwieweit ist oder fühlt sich der heutige, kleinere Staat verantwortlich für die Geschichte des damaligen größeren? Hat der Nachfolger – oder eben nach dem Selbstverständnis Nicht-Nachfolger – überhaupt Zugang zu den Quellen des ehemaligen größeren? Wie verhält sich diese Aufarbeitung zur jetzt dringend erscheinenden Aufgabe, eine neue nationale Traditionslinie aufzubauen oder zumindest zu verstärken? Ein ukrainischer Historiker fragt dramatisch: 'Wird die Ukraine eine Geschichte haben?' Und antwortet: 'Nur, wenn sie eine Zukunft hat.' Noch dramatischer stellt sich die Frage für Bosnien. Nur in den wenigsten Fällen – Polen, Ungarn, Rumänien und Bulgarien – findet die Geschichtsaufarbeitung in den gleichen Staatsgrenzen statt.

Selbstverständlich sind die sehr unterschiedlichen staatlichen Rahmen – und dann, in Deutschland, die oft maßgebende Teilnahme der Westdeutschen am Aufarbeitungsprozeß – ein Hindernis im europäischen Vergleich. Aber der Unterschied im *Rahmen* der Aufarbeitung ist doch nicht schwererwiegend als der Unterschied im *Geschichtsgegenstand* – Kommunismus/Nazismus – bei dem in Deutschland schon so oft bemühten Vergleich 1945/1989. Das Vergleichsmuster Postkommunismus-Postkommunismus ist mindestens so vernünftig wie das Vergleichsmuster Deutschland 1945–Deutschland 1989. Beide sind schwierig, beide sind aber wertvoll.

Ich füge hinzu, daß auch weiterreichende Vergleiche mir durchaus nützlich erscheinen: mit Spanien, Portugal und Griechenland nach deren spätfaschistischen oder nur autoritären Diktaturen, mit Lateinamerika, wo beispielsweise Chile und Argentinien auf diesem Gebiet besondere Erfahrungen haben, und nicht zuletzt mit dem heutigen Südafrika und seiner sehr aktiv tätigen 'Kommission für Wahrheit und Versöhnung'.

Im folgenden beschränke ich mich hauptsächlich auf das post-kommunistische Europa. Ich ziehe den neutraleren Begriff der Geschichtsaufarbeitung vor, gebe aber davon keine Definition a priori, sondern lasse, auf englisch-empirische Art,

an konkreten Beispielen erkennen, was man alles darunter verstanden hat oder verstehen könnte. Ich freue mich besonders, hier an zwei bemerkenswerte frühere Akademievorlesungen anknüpfen zu können: die von Herrn Meier Anfang dieses Jahres unter dem reizvollen Titel 'Erinnern – Verdrängen – Vergessen' und die von unserem Präsidenten, Herrn Simon, im vorigen Herbst, über 'Das Gedächtnis der Juristen'.

Ich stelle drei einfache, aber große Fragen: *ob*, *wann* und *wie* man 'aufarbeiten' soll. Ich biete keine fertigen Antworten, zumal die Aufarbeitungsprozesse in anderen Ländern viel fragmentarischer sind, und auch – was damit eng zusammenhängt – viel schlechter dokumentiert als in Deutschland selbst. Aber die Vergleiche geben trotzdem Stoff zum Nachdenken.

Nun wird die erste Frage, *ob* man eine solche Geschichte überhaupt aufarbeiten soll, in Deutschland fast immer sofort mit 'ja' beantwortet. Es scheint sogar leicht anrühlich, oder, wie man im Amerikanischen sagt, 'politically incorrect', die Frage überhaupt zu stellen. Natürlich muß man diese Geschichte aufarbeiten! 'Ohne Erinnerung keine Zukunft!' Und Santayana wird dann mit dem bekannten Satz immer wieder zitiert: 'Ein Land, das seine Geschichte vergißt, ist dazu verdammt, sie zu wiederholen.'

Aber die Grundsatzfrage ist nicht ganz so leicht von der Hand zu weisen. Es ist das Verdienst von Herrn Meier, uns daran erinnern zu haben, daß diese Frage in der Geschichte sehr oft, und von gewichtigen historischen Akteuren, mit 'nein' beantwortet worden ist. Sein – des Althistorikers – erstes Beispiel stammt von Cicero, der im Jahre 44 vor Christus verlangte, *omnem memoriam discordiarum oblivione sempiterna delendam* (jegliche Erinnerung an die mörderischen Zwieträchtigkeiten durch ewiges Vergessen zu tilgen). Mein – des Zeithistorikers – erstes Beispiel stammt von Churchill, der fast genau 2.000 Jahre nach Cicero, in seiner berühmten Züricher Rede von 1946, zu einem 'blessed act of oblivion', also einem 'gesegneten Akt des Vergessens', zwischen den Feinden von gestern aufrief. Ich zitiere beide im Original, weil in beiden das Wort 'oblivion' – nur schwach mit 'Vergessen' übersetzt – benutzt wird. Churchill zitierte übrigens Gladstone, der sicherlich seinen Cicero gut kannte.

Diese Strategie des Vergessens ist dann auch vielerorts im Nachkriegseuropa angewandt worden, vor allem in Frankreich, wo Charles de Gaulle ganz bewußt die peinliche Wahrheit über Vichy mit einem Mythos der 'France résistante', mit seiner 'certaine idée de la France' überdeckte. Aber man denke auch an Italien oder Österreich. Und wie war es mit der Bundesrepublik Deutschland der fünfziger Jahre? Der große französische Historiker Ernest Renan schreibt in seiner berühmten Schrift 'Was ist eine Nation?': 'Vergessen, und ich meine sogar geschichtliche Irrtümer, sind wesentliche Faktoren in der Geschichte einer Nation, und daher ist

der Fortschritt der historischen Forschung oft eine Gefahr für die nationale Identität.' Recht viele Nachkriegsidentitäten in Europa sind, mehr oder weniger bewußt, auf gemeinsames Vergessen aufgebaut worden.

Und nicht nur im Europa unmittelbar nach dem Krieg. In Spanien hat man nach dem Ende des Franco-Régimes auch ganz bewußt viele charakteristische Wege der 'Geschichtsaufarbeitung' vermieden, nicht zuletzt aus Angst vor einer Wiederholung des Bürgerkrieges. Es gibt auch ein noch näherliegendes Beispiel, ja für Deutschland das wirklich nächstliegende. Im Jahre 1989 hat die erste nicht-kommunistische Regierung in Polen, aus der Solidarnosc-Bewegung hervorgegangen, gezielt und entschieden diesen Weg gewählt, übrigens stark beeinflusst von dem spanischen Modell des sanften Übergangs von der Diktatur zur Demokratie.

Ministerpräsident Tadeusz Mazowiecki verlangte sogar, man solle eine, wie er wörtlich sagte, 'gruba kreska' unter die Vergangenheit ziehen, also einen 'dicken Strich', aber 'Schlußstrich' wäre auch eine durchaus dem Sinn entsprechende Übersetzung. Während in Deutschland gerade die ehemaligen Oppositionellen, prominente Vertreter der Bürgerbewegung aus der DDR, eine schnelle, öffentliche, konsequente Aufarbeitung der Geschichte verlangten und auch vorantrieben, war es in Polen fast genau umgekehrt. Nicht zum ersten Mal gab es kaum einen stärkeren Kontrast als den zwischen diesen beiden Nachbarn in der Mitte Europas.

Die Frage des *ob* ist eng verbunden mit der Frage des *wann*. Man kann natürlich sagen: 'Ja, aber noch nicht.' Es brauche zeitlichen Abstand, weil eine zu schnelle Aufarbeitung sonst die Gesellschaft innerlich zerreiße und den Aufbau des neuen demokratischen Staatswesens gefährde, und weil auch in 'normaleren' Geschichtsgemeinschaften die Geschichte nur aus einer gewissen Distanz geschrieben werden könne. Aus beiden Gründen kann und wird auch argumentiert, daß die Tatsache, daß in der Bundesrepublik Deutschland die ernsthafte und systematische Aufarbeitung der Geschichte der NS-Zeit erst in den sechziger Jahren begann, nicht nur schädlich war.

Dann stellt sich die Frage des *wie*. Ich sehe mindestens vier große Wege der Geschichtsaufarbeitung. Es gibt, erstens, den Weg über die Justiz, über die verschiedenen Gerichte, sei es bei der strafrechtlichen Verfolgung der Verantwortlichen – groß oder klein – der ehemaligen Diktatur, sei es bei der Rehabilitierung der Opfer und der dazugehörigen Gesetzgebung und Rechtsprechung. Zweitens gibt es den Weg der administrativen Disqualifizierung einzelner Personen oder ganzer Gruppen von bestimmten Ämtern, Stellungen, Berufen, oder aber auch der administrativen Wiedereinsetzung von ehemals Ausgeschlossenen. 'Überprüfung', 'Berufsverbot', 'Säuberungen', und neulich – aus dem tschechisch-lateinischen –

'*lustrace*', oder 'Lustration', sind die sehr unterschiedlich besetzten Begriffe, die diesen Weg begleiten.

Einen dritten Weg kann man als öffentlich-rituelle Aufklärung beschreiben: offizielle Anhörung, Tribunale, parlamentarische, staatliche oder parlamentarisch-staatlich legitimierte Kommissionen. 'Wahrheits-Kommissionen' hat man sie im Falle Südafrikas, aber auch verschiedentlich in Lateinamerika genannt. Dazu gehört ganz zentral das rituelle und auch das theatralische Element: die großen Herren vor dem Tribunal, eine Bühne für das Opfer. Es ist bewußt Nationaldrama, Staatstheater, gesellschaftliche Gruppentherapie, die symbolische Selbstbereinigung des Gemeinwesens. Am Ende soll nicht nur die Aufklärung stehen – oder gar 'Wahrheit', wie man in Mitteleuropa wohl nicht mehr zu sagen wagt – sondern auch eine Katharsis, wie sie bei Aristoteles im Zusammenhang mit der griechischen Tragödie steht.

Viertens gibt es einen Weg der Öffnung der Akten des alten Systems für wissenschaftliche, publizistische und individuelle 'Aufarbeitung', das heißt zum Lesen, Bewerten und dann Schreiben, Sprechen, oder eben Schweigen. Aufarbeitung muß nicht immer laut sein.

In der Wirklichkeit überschneiden sich natürlich diese Wege. Die administrative Disqualifizierung stützt sich auf Akten, dagegen klagt man vor Gericht, Anhörungen von Zeitzeugen und Aktenlektüre ergänzen einander, aber das macht die Unterscheidung nicht sinnlos.

Im allgemeinen läßt sich sagen, daß Deutschland auf allen vier Wegen viel systematischer und konsequenter vorgegangen ist als jedes andere post-kommunistische Land, mit vielleicht nur einer Ausnahme auf einem Weg, nämlich der tschechoslowakischen *lustrace*.

Schauen wir uns kurz die verschiedenen Vorgehensweisen auf den vier Wegen an. Beim ersten, dem Justizweg, ist die Palette besonders breit und bunt. In Rumänien wurden am ersten Weihnachtstag 1989 Nicolae und Elena Ceausescu verurteilt und sogleich erschossen. Das 'Gericht' führte gleichzeitig die Anklage. Was zunächst als klassisches Beispiel 'revolutionärer Justiz' erschien, stellte sich ziemlich bald als etwas anderes heraus: Die Ankläger waren auf der Fernsehverfilmung des 'Prozesses' kaum zu sehen, und das wohl aus dem guten Grunde, daß die Zuschauer darunter Leute erkannt hätten, die bis vor drei Tagen enge Mitarbeiter des 'Conducators' gewesen waren. Der Scheinprozeß besiegelte eine Scheinrevolution.

In Bulgarien ging man etwas ordentlicher ans Werk. Der Prozeß aber, den man dem ehemaligen Parteiführer Todor Schivkov gemacht hat, kann schon als Schauprozeß beschrieben werden. Die Verantwortung für vergangene Diktaturen, Unrecht und Mißwirtschaft wurde hier vor allem auf die Person des ehemaligen

Führers geschoben, weniger auf die Partei, deren unmittelbare Nachfolgerin bald wieder an der Macht war. Ob der Prozeß mehr zur Auf- oder Verklärung der Geschichte beigetragen hat, ist sehr fraglich.

In Rußland sind es die Putschisten vom August 1991, die symbolisch vor Gericht gestellt und abgeurteilt wurden – sich allerdings relativ bald, unter veränderten politischen Bedingungen, wieder auf freiem Fuß befanden. In Moskau wurde dann auch das Verfassungsgericht beauftragt, darüber zu urteilen, ob die Kommunistische Partei der Sowjetunion eine verfassungsgemäße Partei oder eine verfassungsfeindliche Organisation gewesen sei, und ob Boris Jelzin sie daher zu Recht oder eben zu Unrecht verboten habe. Der ehemalige Parteichef Michail Gorbatschow empörte sich: 'Es gibt kein Gericht auf der Welt, das die Geschichte beurteilen kann! Nur die Geschichte selbst kann die Geschichte beurteilen, Historiker, Wissenschaftler ...'. Schiller wurde auf den Kopf gestellt: nicht 'die Weltgeschichte ist das Weltgericht', sondern 'die Weltgeschichte schreibt das Verfassungsgericht'. Ein Gericht übrigens, von dessen dreizehn Richtern zwölf bis vor kurzem eben dieser Partei angehört hatten.

Zu den Exotika, die man auf diesem Justizweg findet, gehören auch die symbolisch-deklaratorischen Gesetze: so zum Beispiel in der Tschechischen Republik das 'Gesetz über den illegalen Charakter des kommunistischen Regimes und über den Widerstand gegen dieses' vom 30. Juli 1993. Nicht nur die Präambel, sondern gleich die ersten vier Artikel des Gesetzes sind rein deklaratorischer und geschichtsbeurteilender Natur. 'Das Parlament stellt fest,' heißt es in der Präambel, 'daß die Kommunistische Partei der Tschechoslowakei die Verantwortung zu tragen hat für die programmatische Vernichtung der traditionellen Werte der europäischen Zivilisation, für die bewußte Verletzung der Menschenrechte und -freiheiten, für den moralischen und wirtschaftlichen Zerfall, begleitet durch das Justizunrecht, das gegen Andersdenkende angewandt worden ist, und für den gegen diese gerichteten Terror, für die Ersetzung der funktionierenden Marktwirtschaft durch die direktive Leitung, für die Zerstörung der traditionellen Prinzipien des Eigentumsrechts, für den Mißbrauch der Erziehung, der Bildung, der Wissenschaft und der Kultur für politische und ideologische Zwecke sowie für die skrupellose Schädigung der Natur.' Es überrascht dann nicht, wenn Artikel 4 diese Kommunistische Partei für eine 'verbrecherische und verwerfliche Organisation' erklärt. Vieles davon stimmt natürlich, es fragt sich nur, ob ein Gesetz der richtige Platz ist, um dieses Geschichtsurteil abzugeben. Was das Gesetz dann in den letzten Artikeln durchaus sinnvoll regelt, sind die Fragen der individuellen Rehabilitierung und Wiedergutmachung für die Opfer. Hier wird auch die Verjährung von bestimmten Verbrechen, die unter kommunistischer Herrschaft begangen, aber aus politischen Gründen nicht verfolgt worden waren, aufgehoben. Ein 'Amt

für die Untersuchung von kommunistischen Verbrechen' versucht nun, die Verantwortlichen vor Gericht zu bringen.

Betrachtet man dieses postkommunistische Kuriositätenkabinett der historisch-politischen Gesetzgebung und Rechtsprechung, so sieht das deutsche Beispiel schon wie ein Modell nüchterner Rechtsstaatlichkeit aus. Aber auch hier ist die Sache sehr problematisch. Ich kann heute nicht einmal ansatzweise die Frage des Justizweges in Deutschland behandeln – den Versuch also, unter Anwendung von in der DDR damals geltendem Recht, angereichert durch einen Schuß Naturrecht, die Hauptverantwortlichen von SED und Stasi sowie, am anderen Ende der Befehlskette, die Mauerschützen strafrechtlich zur Verantwortung zu ziehen. Herr Simon hat in seinem Vortrag schon viel Scharfsinniges zu der sehr problematischen Selektivität der Anwendung des DDR-Rechts gesagt. Problematisch ist natürlich auch die Auswahl der Angeklagten: von einer konsequenten Gleichbehandlung aller möglichen Anzuklagenden kann hier nicht die Rede sein. Daß Erich Mielke für den Mord an einem Polizisten vor mehr als sechzig Jahren und nicht für seine Tätigkeit als Minister für Staatssicherheit verurteilt wurde, gehört noch zu den bekannten Merkwürdigkeiten des Justizweges in Deutschland.

Ein bemerkenswerter Kontrast ist Ungarn. Hier hat das Parlament ursprünglich ein Gesetz verabschiedet, das, wie im tschechischen Falle, die Verjährung für bestimmte Kategorien von Verbrechen, die während der kommunistischen Periode begangen wurden, aufgehoben hat. Das Gesetz wurde aber dann vom Verfassungsgericht für nichtig erklärt, weil es 'retroaktive Justiz' beinhalte. Daraufhin wurde ein neues Gesetz verabschiedet, gewidmet ausschließlich den 'Verbrechen, begangen während der Revolution von 1956'. Dieses Gesetz ging die Sache ganz anders an und bezog nun die Genfer und New Yorker Konventionen über 'Kriegsverbrechen' und 'Verbrechen gegen die Menschlichkeit' auf das Geschehen von 1956. Im Gegensatz zu den deutschen Staatsanwälten, und einmalig im heutigen Zentraleuropa, ging der ungarische Gesetzgeber also davon aus, daß bestimmte Taten während der Periode der kommunistischen Herrschaft sehr wohl unter die Normen fielen, nach denen schon die Nürnberger Prozesse geführt worden waren – und daß diese Bestimmungen zumindest theoretisch auch damals international geltendes Recht waren.

Der zweite Weg, administrative Disqualifizierung, ist eigentlich nur in Deutschland und der Tschechoslowakei systematisch gegangen worden. Der Normalfall im post-kommunistischen Europa ist eine unsystematische, oft sehr willkürliche Disqualifizierung, anders von Ministerium zu Ministerium und Betrieb zu Betrieb, keinesfalls nach einheitlichen Kriterien und nirgends sehr tiefgreifend. Auch in den am weitesten (nach westlichen Maßstäben) 'fortgeschrittenen' Ländern wie Ungarn oder Polen sind Mitglieder der ehemaligen Nomenklatura noch – oder auch wieder – an hohen und allerhöchsten Stellen im Staate zu finden.

Die tschechoslowakische *lustrace* – oft als ‘Durchleuchtung’ übersetzt, aber mit der Nebenbedeutung aus dem Lateinischen von ‘rituelle Reinigung’, oder eben ‘Säuberung’ – war in mancherlei Hinsicht noch radikaler als die deutsche. Sie betrifft nicht nur ehemalige Mitarbeiter der Geheimpolizei, sondern auch ehemalige Funktionäre der Partei. Das war insofern überzeugend, als es die tatsächliche Machthierarchie im kommunistischen Parteistaat widerspiegelte. Nach allen bisherigen Forschungsergebnissen war auch der Staatssicherheitsdienst der DDR tatsächlich ‘Schwert und Schild der Partei’. Die übermäßige Konzentration auf die Stasi, und dabei insbesondere auf die IMs, gehört zu den problematischen Aspekten des deutschen Beispiels.

Andererseits war die tschechoslowakische *lustrace* von einigen ganz markanten Gerechtigkeitsmängeln gekennzeichnet. Ganze Kategorien von Personen sind aus ganzen Kategorien von Positionen ausgeschlossen. Was die Parteifunktionäre anbelangt, ist deren Zugehörigkeit zur Kategorie normalerweise nicht strittig, aber nach Besonderheiten der Einzelbiographien wurde überhaupt nicht gefragt. Was die inoffiziellen Mitarbeiter der StB, also der Geheimpolizei, anbelangt, ist das Problem noch gravierender. Deren Identität wurde von einer Kommission festgestellt, aufgrund von Dokumenten der StB, zu denen der Betroffene selbst keinen Zugang hatte. Das Gesetz sah ursprünglich keinen rechtlichen Berufungsweg für den Disqualifizierten vor. Einige haben trotzdem einen Weg gefunden, indem sie das Innenministerium selbst direkt angeklagt haben. Von den ersten siebenzig solcher Klagen haben die tschechoslowakischen Gerichte in allen siebenzig Fällen zugunsten des Klägers entschieden. Man versteht schon, warum Präsident Havel lange gezögert hat, das Lustrationsgesetz zu unterschreiben, und auch vergeblich versucht hat, eine Alternative durchzusetzen.

In Deutschland sind die Überprüfungsverfahren zumindest individuell. Im Falle der Gauck-Akten hat der Überprüfte selbst die Möglichkeit, seine Akte einzusehen. Die überwiegende Mehrheit der Überprüfungen hat nicht zu Entlassungen geführt. Die Entlassung ist auch vor dem Arbeitsgericht anfechtbar. Ich bin weit davon entfernt, hier die Pangloss’sche Meinung zu vertreten, alles auf diesem Gebiet sei nun rechtens und bestens gelaufen. Es gibt genug Beispiele, wo in der Praxis der Arbeitgeber zumindest sehr gefühllos und auch ungerecht vorgegangen ist, oder der Arbeitnehmer etwa in Panik einen Auflösungsvertrag unterschrieben und sich daher selbst den Rechtsweg versperrt hat. In einigen Fällen hat das wohl auch zu schlimmen persönlichen Konsequenzen geführt. Man kann auch fragen, ob der Kreis der Überprüften wirklich so groß hätte sein müssen: laut Auskunft der Gauck-Behörde wurden bis einschließlich 30. Juni 1996 mehr als 1,7 Millionen Überprüfungen erledigt. Es fällt zumindest auf, daß sogar in der Tschechoslowakei, und auch im erst in diesem Jahr beschlossenen ungarischen Lustrationsge-

setz, der Kreis der Stellungen, für die überprüft werden kann und muß, viel enger gezogen wird.

Doch bei allen Vorbehalten muß man auch nach der Alternative fragen. In vielen post-kommunistischen Ländern hat das Fehlen einer Lustration nicht nur eine große personelle Kontinuität von alten zu neuen politischen und bürokratischen Eliten ermöglicht. Sie hat auch eine große Kontinuität im Personal, und oft sogar in den Arbeitsmethoden der Staatssicherheitsdienste selbst erlaubt. In der ehemaligen Sowjetunion findet man davon ganz erschreckende Beispiele, wie etwa in der russischen Dnjestr-Enklave.

Darüber hinaus hat sie an vielen Orten in der Bevölkerung zu einem tiefen Gefühl der historischen Ungerechtigkeit und der fehlenden Katharsis beigetragen, das dann auch, beispielsweise in Polen, als rechtspopulistisches Säuberungsprogramm in der Politik seinen Ausdruck fand. Dort führte dieses Programm 1992 zu einer sogenannten 'Nacht der Akten', als ein rechtsorientierter Innenminister 'Beweise' für die geheimpolizeiliche Verstrickung ausgewählter Politiker – meistens natürlich seiner Opponenten – dem Parlament präsentierte. Und drei Jahre später wiederum kam es zu der gespenstischen Situation, daß auf Wunsch des ausscheidenden Staatspräsidenten der Innenminister seinen eigenen Ministerpräsidenten der Spionage für Rußland bezichtigte. Beide Fälle haben die neue polnische Demokratie erschüttert.

Die real existierenden Alternativen sind also nicht besonders verlockend. Es gibt sehr zu denken, daß jetzt sogar in Polen der Entwurf eines Lustrationsgesetzes dem Parlament vorgelegt worden ist. Das ungarische Lustrationsgesetz ist, nach langem Zögern und politischem Hin und Her, schon beschlossen und wird nun doch – wenn auch sehr langsam – umgesetzt. Die dazugehörige Rechtsprechung des ungarischen Verfassungsgerichts orientiert sich ganz offensichtlich an entsprechenden Urteilen des deutschen Bundesverfassungsgerichts, beispielsweise in der Anwendung des zentralen Begriffs der 'informationellen Selbstbestimmung'. Die Behörde, die die dazu notwendige Aktenprüfung übersehen wird – und übrigens auch die Akteneinsicht von einzelnen Bürgern –, sollte ursprünglich 'Amt für die Unterlagen des ehemaligen Staatssicherheitsdienstes' heißen: das deutsche Beispiel, ja hier sogar das deutsche Vorbild, sieht man wieder. Die ungarische Behörde heißt allerdings jetzt nur delphisch 'Historisches Amt'.

Beim dritten Weg, dem der öffentlich-rituellen Aufklärung, ist Deutschland mit seiner Enquête-Kommission – und auch mit dem Schalck-Untersuchungsausschuß – ebenfalls eine große Ausnahme. In den ostmitteleuropäischen Ländern hat man auf diese Weise nicht die gesamte Geschichte unter kommunistischer Herrschaft, sondern lediglich besonders dramatische und schmerzliche Episoden behandelt. In Polen ging es – und geht es heute noch – um die konkrete Frage nach der Ausrufung des Kriegsrechts im Dezember 1981, das die Solidarność-Bewegung zer-

schlagen sollte. War dies tatsächlich die einzige Alternative zu einer sowjetischen Invasion oder nicht? In der Tschechoslowakei ging es mittels einer großen parlamentarischen Untersuchungskommission um den Prager Frühling 1968, und besonders um die Frage, wie es zum sowjetischen Einmarsch kam.

Auch in Ungarn, obwohl es keine vergleichbare Kommission gegeben hat, ist es vor allem um die Revolution von 1956 gegangen. Das feierliche Neubegräbnis von Imre Nagy und fünf revolutionären Weggefährten im Juni 1989 war ja ein Wendepunkt im Übergang Ungarns zur Demokratie. Das Parlament hat sich dann mehrmals feierlich mit dem Thema beschäftigt, zuletzt mit einem symbolischen Gesetz zu Ehren von Imre Nagy. Ein ganzes Institut wurde gegründet, um die Geschichte der Revolution von 1956 zu erforschen und zu schreiben. Das Institut hat ungefähr einen wissenschaftlichen Mitarbeiter pro Tag der Revolution.

Auffallend ist, daß die öffentlich-rituelle Aufmerksamkeit nicht den tagtäglichen Machtverhältnissen innerhalb des Landes, sondern vielmehr dem Verhältnis zur Sowjetunion gilt. Es geht in erster Linie nicht darum, was Polen Polen, Tschechen Tschechen, Slowaken Slowaken und Ungarn Ungarn angetan haben, sondern darum, was die Sowjetunion den Polen, Tschechen, Slowaken, Ungarn angetan hat. Die meisten Zuschauer können dann, sozusagen im geistigen Rückblick, am Moment der nationalen Erhebung und Solidarität teilnehmen und sich gemeinsam über die wenigen Landesverräter empören. Wir sind hier schon wieder näher bei de Gaulle als bei Mitscherlichs.

Die Enquête-Kommission im gesamtdeutschen Bundestag hat gewisse Nachteile. Die Aufgabenstellung und auch zum Teil die Ergebnisse sind nicht frei von parteipolitischen Rücksichten und Kompromissen. Die Form des Berichts ist etwas umständlich und die Sprache oft nicht gerade eine solche, die junge Leser hinreißen wird. Man könnte auch meinen, daß es im Sinne der Aufklärung nützlicher gewesen wäre, wenn die ehemaligen Politbüromitglieder, allen voran Erich Honecker, vor dieser Kommission hätten aussagen müssen, und zwar zu den zentralen Fragen ihrer politischen Verantwortung, und nicht nur vor Gerichten, wo dann oft und lang über historische Nebenfragen diskutiert wurde. So ist man doch bei den 'Wahrheitskommissionen' in Chile oder Südafrika verfahren. Trotzdem sind die Materialien der Enquête-Kommission eine sehr wertvolle Quelle nicht nur zur Geschichte der DDR, sondern auch zur Geschichte des Kommunismus in Europa.

Beim vierten Weg, dem der Öffnung der Akten für wissenschaftlich-publizistische und individuelle Aufarbeitung, ist Deutschland nicht nur eine Ausnahme, sondern schlichtweg ein Unikum. Es ist immer gefährlich zu sagen 'Es gibt kein Beispiel aus der Geschichte' – dann findet jemand eins. Daher sage ich vorsichtiger: ich kenne kein Beispiel aus der Geschichte, wo ein Staat nicht nur fast alle Akten einer vorausgegangenen Diktatur fast sofort für die Forschung zugänglich gemacht, sondern auch jedem einzelnen Bürger das Recht auf Einsicht in seine

eigene geheimpolizeiliche Akte gewährt hat – mit den bekannten Einschränkungen des Stasiunterlagengesetzes.

In anderen post-kommunistischen Ländern hat es zwar eine Welle von zeithistorischen und publizistischen Veröffentlichungen gegeben, auch gestützt auf neue Quellen aus den Archiven. Der Zugang zu den Quellen ist allerdings viel begrenzter und unregelmäßiger. In einigen Ländern bedarf der Benutzer der Akten der ehemals regierenden kommunistischen Parteien noch der Zustimmung der Nachfolgerparteien. Wo eine staatliche Kontinuität besteht, da fallen auch die Archive der Ministerien unter die Dreißigjahresfrist, wenn nicht gar unter die Vierzig- oder Fünfzigjahresfrist. Anderswo spielen die Geldmittel der westlichen Forschungspartner eine etwas zu bedeutende Rolle. Die Archive der Staatssicherheitsdienste sind meistens noch unter Obhut der Nachfolgerdienste oder der Innenministerien. Einzelne Wissenschaftler haben beschränkten Zugang gehabt – ich denke an die interessanten Arbeiten des polnischen Historikers Andrzej Paczkowski oder erst neulich die faszinierenden Befunde von János Kenedi aus dem Archiv des ungarischen Sicherheitsdienstes –, aber in der Regel sind die Türen noch zu. Die deutsche Aktenöffnung ist natürlich in sich allein ein abendfüllendes Thema, aber lassen Sie mich zumindest ein paar kurze Bemerkungen machen. Erstens habe ich ganz bewußt *'fast alle Akten'* gesagt. Zu den wirklich bedauernswerten Mängeln der Aktenöffnung gehört es, daß gerade Akten über die Tätigkeit westdeutscher Akteure von der Einsicht ausgenommen sind. Wenn West- und Ostdeutsche nun dazu verurteilt sind, diese Geschichte gemeinsam aufzuarbeiten, dann scheint es mir einer elementaren und wichtigen Regel der Fairneß zu entsprechen, wenn beide gleichermaßen betroffen sind.

Im Falle der Akten der HVA, die die westdeutschen inoffiziellen Mitarbeiter der Stasi dokumentieren, geht dies allerdings wohl mehr auf die merkwürdige Entscheidung des ostdeutschen Runden Tisches zurück, eine *'Selbstaflösung'* der HVA zu erlauben, als auf westdeutsche Vorbehalte. Im Falle der Akten des ehemaligen Außenministeriums der DDR, in denen die meisten Protokolle von Gesprächen zwischen westdeutschen und ostdeutschen Politikern auch enthalten sind, scheint die Entscheidung, diese Akten als Teil des Archivs des Auswärtigen Amtes unter der Dreißigjahresfrist (und möglicherweise als Verschlusssache noch länger) der Öffentlichkeit vorzuenthalten, ein Beispiel höchst fragwürdiger westlicher Selbstbeschönigung zu sein.

Besonders die Stasi-Akten spielen nun auch in anderen mittel- und osteuropäischen Diskussionen eine nicht unbedeutende Rolle. So führt beispielsweise ein so mutiger Kämpfer gegen das kommunistische Regime in Polen wie Adam Michnik jetzt die Stasi-Akten als Beweismittel dafür an, wie unzuverlässig und trügerisch solche Akten überhaupt seien und wie schlecht es daher wäre, die polnischen Akten so zu öffnen. Ich habe mich in letzter Zeit besonders intensiv mit diesen

Akten beschäftigt, ausgehend von der interessanten Lektüre meiner eigenen Akte, und meine daher, etwas dazu sagen zu können.

Es stimmt natürlich, daß man die Akten einer Geheimpolizei mit mehr Vorsicht lesen muß als etwa die Sitzungsprotokolle eines Schrebergartenvereins. Es stimmt, daß viele Details in den Akten falsch sind. Es stimmt, daß Leute manchmal ohne ihr Wissen als IMs geführt wurden. Es gibt auch schwierige Beurteilungsprobleme. Nehmen Sie die wahre Geschichte eines IM, der einem Bekannten erzählt hat, daß er über ihn berichten solle. Die beiden haben dann gemeinsam erörtert, was berichtet werden soll. Das erkennt man natürlich nicht aus den Akten, und wenn der Bekannte nicht mehr lebte, würde man dem IM je glauben?

Das stimmt alles. Aber es stimmt nicht, daß diese Akten daher unbrauchbar sind, daß man aus ihnen keine ernsthafte Geschichte schreiben kann. Im Gegenteil. Nach allem, was ich bis heute gesehen habe, haben die Stasi-Akten einen hohen Quellenwert. Mit der für die Zeitgeschichtsschreibung *immer* notwendigen Sorgfalt, Behutsamkeit, dem richtigen Einfühlungsvermögen – und auch, wo immer nur möglich, Befragung der beteiligten Zeitzeugen – kann man aus diesen Quellen gute, zuverlässige und wichtige Zeitgeschichte schreiben. Wenn ich das übrigens in Polen oder Ungarn sage, dann erwidert man gelegentlich, mit einer Art verkehrtem Nationalstolz, ‘Aber Unsere haben doch nicht wie die Deutschen gearbeitet’ – will sagen, haben mehr geschlampert und mehr erfunden. Was wohl zutrifft, ist, daß sie weniger Papier produziert und inzwischen auch mehr vernichtet haben.

Eine andere Frage ist, welchen Gebrauch man von diesen Akten in der Öffentlichkeit und vor allem in den Medien gemacht hat. Hier ist das deutsche Beispiel viel weniger ermutigend. Enthüllungen, Sensationsgeschichten, manchmal ohne jede notwendige quellenkritische Sorgfalt oder historisches Einfühlungsvermögen, haben Individuen Schaden zugefügt – vor allem im Zusammenhang mit deren ‘Outing’ als IM, diesem ziviltödlichen Kürzel des neuen Deutschland. Danach gefragt, beruft sich der Redakteur fast immer auf das ‘öffentliche Interesse’. Aber allzuoft bedeutet dies eigentlich nur ‘worauf die Öffentlichkeit neugierig ist’, das heißt, was die Zeitungsauflagen oder Zuschauerzahlen steigert.

Wie soll man angesichts dieser Perversion der Geschichtsaufarbeitung in einer freien Unterhaltungsgesellschaft reagieren? Sind die individuellen Ungerechtigkeiten zahlreich und gravierend genug, um die Öffnung und Aufklärung selbst in Frage zu stellen? Wäre es aus heutiger Sicht besser gewesen, etwas restriktiver beim Aktenzugang für die Medien zu sein? Doch eine klare Trennung zwischen ‘reiner’, interessenfreier Wissenschaft und ‘unreiner’ sensationslustiger Publizistik ist im realen Leben sehr schwer und auch, wenn die Geschichte von einer breiten Öffentlichkeit gelesen werden soll, vielleicht nicht einmal wünschenswert.

Es ist interessant, daß der ungarische Gesetzgeber, der, wie schon erwähnt, sehr genau die deutsche Erfahrung beobachtet hat, eine viel weitergehende Anonymisierung der einsehbaren Kopien vorschreibt. Aber auch das wird natürlich den aktiven und einfallsreichen Journalisten nicht lange abhalten. Hier geht die Frage meines Erachtens vor allem um das Berufsethos des Journalisten, des Publizisten, oder auch des für eine breitere Öffentlichkeit schreibenden Zeithistorikers. Es ist aber auch eine Frage an den Leser oder Schaulustigen, der die Sensationspresse kauft oder entsprechende Sendungen einschaltet. Mit anderen Worten, die Medienbehandlung dieses Themas beleuchtet nur besonders grell ein Grundproblem der 'westlichen' oder, wie oft in Osteuropa gesagt wurde, 'normalen' Gesellschaften; und auf diesem Gebiet sind alle post-kommunistischen Gesellschaften leider sehr schnell 'normal' geworden.

Neben den öffentlich-exponierten Fällen gibt es aber auch die unvergleichbar große Zahl der individuellen privaten Akteneinsichten: die mehr, als 400.000 Menschen, die Akten schon eingesehen haben, die mehr als 300.000, die noch darauf warten, und die mehr als 350.000, die mit Erleichterung – oder vielleicht gelegentlich auch mit Enttäuschung? – erfahren haben, daß keine Akte vorhanden ist. Ich weiß nicht, wie man die Wirkung dieses präzedenzlosen und einmaligen Unternehmens objektiv oder wissenschaftlich bewerten sollte. Wie sollte man das denn machen? Indem man alle befragte, die ihre Akten eingesehen haben? Und wenn, *was* sollte man sie dann fragen?

Wir wissen alle, daß einige Menschen bei der Lektüre von entsetzlichem persönlichen Verrat erfahren haben. Ist es besser, daß sie es wissen? Nur sie, die Betroffenen, können diese Frage beantworten. Wir hören weniger von den vielen Fällen, wo Menschen Erleichterung, Beruhigung, sogar eine heilende Katharsis bei der Lektüre erfahren haben, und im Leben sicherer, wenn auch vielleicht nachdenklicher weitergehen. Ich persönlich kann sagen, daß die Lektüre der eigenen Akte keine leichte, aber eine wichtige Erfahrung und – gerade für einen Historiker – auch eine große Wissensbereicherung war. Danach versteht man mehr.

Vielleicht bin ich von dieser persönlichen Erfahrung in meinem Gesamturteil auch zu sehr beeinflusst. Sicherlich hat die Aktenöffnung die ostdeutsche Gesellschaft nicht so zerrissen – mit Mord und Totschlag –, wie manche befürchtet haben. Sie hat einen großen Gewinn an individuellem und kollektiv-historischem Wissen erlaubt. Ob dies aber die beabsichtigte politische Präventivwirkung – 'Nie wieder!' – haben wird? Wir werden sehen, aber die Gefahren *dieser* Art von Diktatur sind schon für jedes Schulkind sichtbar und bildhaft dokumentiert. Wenn das Schreckensbild 'Stasi' aber den Blick schärft für mögliche Gefahren, die von rechtlich und demokratisch kontrollierten Sicherheits- und Geheimdiensten ausgehen – zumal wenn sie mit modernster Technik ausgestattet sind –, dann ist das jedenfalls nicht schlecht.

Ich will jetzt die verschiedenen Fäden verknüpfen. Meine Untersuchung war nicht systematisch, konnte es auch nicht sein, und die Schlußfolgerungen sind provisorisch, müssen es auch sein, weil wir die historischen Konsequenzen nicht kennen. Es mag nicht zu früh sein, diese Geschichte aufzuarbeiten, aber es ist sicherlich zu früh, die Geschichte dieser Geschichtsaufarbeitung zu schreiben.

Es gibt – lassen wir uns mit dieser Feststellung anfangen – keinen ‘guten’ Weg, eine solche Geschichte aufzuarbeiten, oder eben nicht aufzuarbeiten, sondern nur schlechte und weniger schlechte. Die geeignete Art der Aufarbeitung hängt zum Teil von der Art der Diktatur ab: anders als in Lateinamerika, wo die Unterdrückung physisch oft viel brutaler war, aber von relativ weniger Tätern an relativ weniger Opfern ausgeübt wurde, anders im kommunistischen Europa, wo die Unterdrückung, zumindest in den letzten Jahrzehnten, meistens ‘sanfter’ war, dafür aber viel mehr Menschen erfaßte, in verschiedenen Rollen, die keinesfalls immer mit ‘Täter’ oder ‘Opfer’ zu beschreiben sind. Sie hängt ferner ab von der Art des Übergangs von der Diktatur: anders bei einem friedlich verhandelten Übergang – einer ‘pacted transition’, im Jargon der Politologen –, anders bei einer gewaltsamen Revolution oder einem Zusammenbruch.

Sie hängt auch von den heutigen politischen Zuständen ab. Es ist immer die Frage zu stellen: Gefährdet diese Art der Geschichtsaufarbeitung den sozialen Frieden oder den Aufbau einer neuen Demokratie? Zu den ‘heutigen Zuständen’ gehören selbstverständlich auch die finanziellen Verhältnisse des Staates. Geschichtsaufarbeitung nach deutschem Muster ist teuer. Allein die Gauck-Behörde kostete im letzten Jahr fast eine Viertelmilliarde DM. Das ist, um nur einen Vergleich zu nehmen, mehr als der gesamte Verteidigungshaushalt von Litauen.

Es gibt keine einfache Korrelation zwischen Geschichtsaufarbeitung und Festigung der Demokratie. Spanien hat wenig ‘aufgearbeitet’, seine Demokratie aber sehr konsolidiert. Man kann es also nicht als Gesetzmäßigkeit auslegen: je mehr Aufarbeitung, desto mehr Demokratie! Aber im postkommunistischen Europa sehen wir schon eine gewisse Korrelation, wobei nicht gesagt werden kann, daß die Kausalität nur in eine Richtung geht, oder gar, daß es einen Kausalnexus immer gibt.

Es gibt etliche Beispiele von Staaten in Ost- und Südosteuropa, die ihre Geschichte kaum aufgearbeitet haben und wo die Demokratie weniger gefestigt ist. In den beiden mitteleuropäischen Staaten, die mehr in Richtung Geschichtsaufarbeitung getan haben, Deutschland und die heutige Tschechische Republik, ist die Konsolidierung der Demokratie relativ gut im Gange (wofür es natürlich auch andere bedeutendere Gründe gibt). Besonders interessant sind die beiden mitteleuropäischen Staaten mit staatlicher Kontinuität, Polen und Ungarn, wo jetzt, im Laufe und auch als Teil der Konsolidierung der Demokratie, bestimmte Schritte der

Aufarbeitung verlangt werden, die früher nicht vorgesehen waren. Im Falle Polens ist das eine Umkehrung, oder zumindest eine bedeutende Korrektur, der früheren Strategie des Vergessens. Dabei sieht man sich sehr genau an, was in Deutschland geschehen ist.

Heißt das, das deutsche Beispiel wird ein deutsches Modell? Zum Teil ja, so wie etwa auch in den postkommunistischen Verfassungsdebatten. Das ist gar nicht so abwegig, denn Deutschland hat auf dem Gebiet der 'Postdiktaturdemokratie' ganz besondere Erfahrungen. Aber nicht alles in Deutschland gilt als Modell. Wenn Deutschland meine drei Fragen – ob, wann, wie – mit 'ja', 'sofort' und 'auf allen Wegen' beantwortet hat, so ist die Erfahrung auf den verschiedenen Wegen nicht gleich. Ich halte den ersten, den Justizweg, für den bei weitem fragwürdigsten, in Deutschland und auch anderswo. Ich sehe eigentlich nur zwei Gebiete, wo eine justitielle Aufarbeitung eindeutig zwingend und auch möglich ist, ohne bedeutende Rechtsnormen und Maßstäbe der Gerechtigkeit zu verbiegen oder gar zu brechen. Das sind zum einen die individuellen Rehabilitierungen: früher von Gerichten begangenes Unrecht wird heute von Gerichten annulliert. Zum anderen sind es die wirklichen Kriegsverbrechen oder Verbrechen gegen die Menschlichkeit, wie beispielsweise in Bosnien. Aber der dafür geeignete Rahmen ist dann ein *internationales* Gericht, wie jetzt in Den Haag, und es soll hier nicht um rückwirkendes Recht gehen – dem Grundsatz der *nulla poena sine lege* widersprechend –, sondern vielmehr um die Anwendung eines schon zumindest theoretisch bestehenden internationalen Rechts. Das ist nun wiederum ein anderes großes Thema, und nicht mein Fach, aber es soll hier mindestens am Rande erwähnt werden.

Der zweite Weg, der der administrativen Disqualifizierung, ist auch problematisch. Wenn ich die gesamte Palette der postkommunistischen Erfahrungen betrachte, so meine ich: eine solche Prozedur ist wünschenswert, aber nur unter eng definierten Bedingungen, die weder in der tschechoslowakischen *lustrace* noch ganz in den deutschen Überprüfungen erfüllt wurden. Sie sollte nämlich immer eindeutig reguliert, individuell, mit Akteneinsichts- und auch Klagerecht der Betroffenen verbunden sein – was alles in der tschechoslowakischen *lustrace* viel weniger der Fall war als in der deutschen. Sie sollte aber auch einen relativ engen Kreis von Stellungen betreffen und zudem zeitlich begrenzt sein.

Viel weniger Zweifel habe ich beim dritten und vierten Weg, also der öffentlich-rituellen Aufklärung und der Öffnung der Akten für wissenschaftlich-publizistische und auch individuelle Aufarbeitung. Auf diesem Felde finde ich das deutsche Beispiel tatsächlich beispielhaft, allerdings mit einigen schon erwähnten Vorbehalten. Aufklärung und gar – um doch das große Wort zu gebrauchen – Wahrheit sind nicht nur wünschenswert, sondern auch möglich, wo Recht und Gerechtigkeit es oft nicht mehr sind. Wer der Geschichte gerecht werden

kann und soll, ist der Historiker – viel mehr als der Richter oder der Beamte. Das sagt natürlich ein Zeithistoriker; und der Zyniker könnte sogar hierin ein großangelegtes Beschäftigungsprogramm für den Kollegen sehen. Aber ich glaube, es ist trotzdem richtig. Im übrigen: das, was meines Erachtens am besten gelungen ist in der ganzen Geschichte der Geschichtsaufarbeitung nach dem Nationalsozialismus, ist die professionelle Zeitgeschichtsschreibung.

Es bleibt die Frage des wann. Ich freue mich, hier einer Meinung zu sein mit dem Bundespräsidenten, der neulich zum Thema Enquête-Kommission gesagt hat: 'Historie darf nicht erst dann beschrieben und bewertet werden, wenn die Erinnerung verblaßt ist und die unmittelbaren Zeugen gestorben sind.' Das trifft auf alle Zeitgeschichte zu: es ist niemals zu früh, damit anzufangen. Der neo-Rankeanische Glaube, daß wir mit zeitlicher Distanz und der Lektüre aller Akten schließlich wissen werden, 'wie es eigentlich gewesen', ist besonders in unserer fast post-Gutenbergschen Zeit, in der vieles von entscheidender Bedeutung nicht schriftlich festgehalten wird, immer trügerisch. Und die Erinnerung verblaßt – oder, genauer gesagt, rekonstruiert sich – besonders schnell nach einer solch deutlichen Zäsur wie 1989. Schon heute wissen nicht einmal mehr die, die es erlebt haben, so recht, 'wie es eigentlich war'.

Dazu kommt eine zweite Überlegung, diesmal nur von mir. Nehmen wir das Beispiel der verspäteten – oder, um es neutraler auszudrücken, der späten – Aufarbeitung der Geschichte des Nationalsozialismus in der Bundesrepublik. Hatte das nicht auch zur Folge, daß gerade die 68er-Generation, die sich diese Aufgabe besonders zu eigen machte, gleichzeitig das Gefühl hatte, die westdeutsche Demokratie sei auf Verdrängung, ja mehr noch – wie einige sagten – auf Lügen gebaut worden? War das nicht auch ein Grund, daß manche jene 'andere Republik' suchten? Und vielleicht auch mit ein Grund, daß manche jene 'andere Republik' in der real existierenden anderen deutschen Republik erblickten, der sogenannten Deutschen Demokratischen? Oder zumindest, daß sie diese mit freundlichen, ja idealisierenden Augen betrachteten? Denn für sie waren das antikommunistische Feindbild 'DDR' und das Verschweigen der NS-Geschichte in den fünfziger Jahren zwei Seiten derselben westdeutschen Medaille. Kurzum, ist es wirklich zu weit her gegriffen, einen Zusammenhang zu sehen zwischen verspäteter Aufarbeitung der ersten und Fehlperzeption der zweiten deutschen Diktatur?

Mein dritter Grund, die Frage 'Wann?' mit einem entschiedenen 'Sofort!' zu beantworten, geht auf die Grundsatzfrage des 'Ob?' zurück. Wie bewältigen wir die Spannung, die es tatsächlich gibt, zwischen den Erfordernissen des Erinnerns und denen des Vergessens? Zwischen den Weisheiten der jüdischen Gelehrten – 'Das Geheimnis der Erlösung heißt Erinnerung' –, oder eines Santayanas, auf der einen Seite, und den entgegengesetzten Weisheiten von Cicero, Renan, Churchill, de Gaulle, und auch der alltäglichen Weisheit, die nach einem Streit sagt: 'Ver-

geben und vergessen!?' Anders ausgedrückt, wie ist das Verhältnis von Wahrheit und Versöhnung, verstanden jetzt nicht im theologischen Sinne, sondern viel bescheidener, als die Fähigkeit von Menschen und Völkern, miteinander und mit sich selber weiterzuleben?

These und Antithese sind hier genauso wenig wie an anderer Stelle dialektisch zu kombinieren oder aufzuheben. Die beste Formel, die ich dafür finden kann, ist keine angebliche Synthese, aber auch kein Entweder-Oder. Sie ist eine zeitliche Reihenfolge, für Individuen, für Nationen, aber auch für ganz Europa, die zunächst das eine, später dann das andere bevorzugt. Sie lautet: Herausfinden – Festhalten – Nachdenken – Weitergehen.

Einführung zur Akademievorlesung von Wolfgang K. Giloi am 12. Dezember 1996

Dieter Simon

Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Meine Damen und Herren,

die heutige Akademievorlesung unterscheidet sich von den üblicherweise hier stattfindenden Veranstaltungen dadurch, daß es sich um eine Gedenkvorlesung für unser vor einem Jahr, am 18. Dezember 1995, verstorbenes Ehrenmitglied, den Computerpionier Konrad Zuse handelt. Über ihn habe ich nicht zu sprechen, denn was von ihm und über ihn zu sagen ist, wird uns von Herrn Giloi vorgetragen.

Wolfgang K. Giloi ist emeritierter Professor für Technische Informatik der Technischen Universität Berlin, Direktor des Instituts für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik des GMD-Forschungszentrums für Informationstechnik – wobei GMD für Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung steht – und Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Er wurde 1930 in Sobernheim (Rheinland-Pfalz) geboren und studierte Elektrotechnik an der Universität Stuttgart, wo er 1960 mit einer Arbeit über *Theorie und Verwirklichung einer Regelung für Laufzeitstrecken nach dem Prinzip der ergänzenden Rückführung* zum Dr.-Ing. promoviert wurde. Was das „Prinzip der ergänzenden Rückführung“ ist, weiß ich nicht – aber ich weiß, was Sobernheim ist, denn ich bin auch aus der Pfalz. Sobernheim ist ein Ort, der etwa 15 Kilometer von Bad Kreuznach entfernt liegt, aber so gut wie nichts vom Charme dieses Kurstädtchens an der Nahe mitbekommen hat. Auch nicht den eher sauren Wein der Kreuznacher – aber dafür seit eh und je reichlich Militär und Garnison. Eine Stadt, die man von Osten nach Westen durchquert, wenn man zu den Edelsteinschleifern nach Idar-Oberstein pilgert, und die man von Westen nach Osten kreuzt, wenn es einen nach Bingen an den Rhein zieht. Was einen nach Sobernheim ziehen sollte, ist nicht so klar. Ich vermute deshalb, daß die Vorfahren von Herrn Giloi eher von ihren Landsleuten dorthin gejagt wurden, als daß sie sich freiwillig für die karge und dem Leben beschwerliche Landschaft entschieden hätten. Wer da geboren wird, verkommt oder wird etwas ganz Besonderes.

Nach seiner Promotion war Wolfgang Giloi zunächst vier Jahre in der Industrie tätig, und zwar als Entwicklungs-Ingenieur bei der Firma AEG-Telefunken, wo er von 1962–64 als Leiter der Fachabteilung Analog- und Hybridrechner fungierte. In dieser Zeit war er maßgeblich an der Entwicklung von Hochpräzisions-analogrechnern und weiteren neuen Anwendungen für Analogrechner beteiligt sowie für das Marketing dieser Produkte verantwortlich.

1965 wurde der 35jährige als Professor für Elektrotechnik an die Technische Universität Berlin berufen, wo er das Institut für Informationsverarbeitung leitete und gleichzeitig an der Erarbeitung der entsprechenden Curricula dieser zum damaligen Zeitpunkt noch sehr jungen Disziplin mitwirkte. Die Jahre 1966–73 sahen ihn als Direktor der Abteilung Informationsverarbeitung des Heinrich-Hertz-Instituts in Berlin – ein offenbar nicht sehr anstrengender Direktorenposten, denn in diesem Zeitraum hielt er sich auch als Gastprofessor in Mexiko (1966) und in den USA (1968/69) am Massachusetts Institute of Technology (MIT) auf. 1971 – immer noch Direktor am Heinrich-Hertz-Institut und Professor an der TU – ging er für sechs Jahre (bis 1977) als *Professor of Computer Sciences* an die University of Minnesota in Minneapolis.

1978 kehrte er nach Berlin an die TU zurück, wo er bis zu seiner kürzlichen Emeritierung als Professor für Technische Informatik wirkte. 1983 wurde er Direktor des Instituts für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik der GMD.

Seine Beziehungen zu Amerika sind äußerst eng – er lebt sowohl in Deutschland als auch in den Vereinigten Staaten. Vor allem hat er eine – wie er behauptet: nur kleine – Farm in New Mexico, ein Sachverhalt, der jeden, der diesen Staat und die kleinen Farmen dort auch nur flüchtig kennt, mit gelbem Neid erfüllt – weit mehr als der Umstand, daß Giloi von 1981–84 *Adjunct Professor* in Lafayette an der University of Southwestern Louisiana war und daß er seit 1986 *Adjunct Professor* am *Department of Computer Science* an der University of California in Los Angeles ist.

Er hat die für Menschen in solchen Funktionen und auf diesen Posten üblichen Ehrungen und Mitgliedschaften erhalten, die für unsere Ohren vermutlich ungewöhnlichste ist seine Ehrenprofessur an der Jiao Tong University in Schanghai.

Bemerkenswert ist auch seine Beratertätigkeit. Er diente dem Bundesministerium für Forschung und Technologie und der Deutschen Forschungsgemeinschaft, war für das MITI, das berühmte japanische Ministerium für internationalen Handel und Industrie, tätig, aber auch für Unternehmen wie AEG-Telefunken, Nixdorf oder auch für die Firma Triumph-Adler AG. Letzteres hat er sicher nur deshalb akzeptiert, weil er als junger Mann auf einer 200er-Adler durch die Gegend gebraust ist.

Zu den Hauptforschungsgebieten von Wolfgang Giloi gehören u. a. das Analog- und Hybridrechnen, die Computersimulation und die digitale Signalverarbei-

tung, Computergraphik und -vision, Parallelrechner-Architekturen (sogenannte Supercomputer) und Programmiersysteme. Zu diesen und anderen Themen hat er eine Vielzahl von Beiträgen vorgelegt – das meiste für Juristen unverständlich, was die Welt aber nicht gehindert hat, durch mehrfache Auflagen zu zeigen, daß es darauf nicht ankommt. Manches ist jedoch auch so geartet, daß es die Einbildung der Verständlichkeit befördert, so die *Simulation und Analyse stochastischer Prozesse* (1967 und 1973), ein *Logischer Entwurf digitaler Systeme* (1973 und 1980) bzw. die *Rechnerarchitektur* (1981 und 1993), ein Buch, das einen umfassenden Überblick über Hardware- und Softwarekonzepte gibt, auf denen Arbeitsplatzrechner, Supercomputer bis hin zu zukünftigen Massiv-Parallel-Rechnern basieren.

Nicht nur in Deutschland gilt Wolfgang Giloi als einer der führenden Spezialisten für die Technische Informatik, deren Entwicklung er in mehr als 35jähriger Tätigkeit im In- und Ausland wegweisend beeinflusst und bestimmt hat. Mit seinem Namen verbinden sich u. a. Projekte zum Aufbau eines Höchstgeschwindigkeits-Parallel-Rechners, wie das sogenannte SUPRENUM-Projekt, bei dem es sich um den ersten in Europa entwickelten Supercomputer handelt – ein Unternehmen, das alle jene, die das tragische Schicksal dieses Vorhabens auch nur am Rande mitverfolgt haben, immer noch mit Schmerz erfüllt. Bekannt ist auch sein Beitrag zu dem neue Maßstäbe setzenden MANNA-Supercomputer.

Herr Giloi hat seinen Gedenkvortrag unter den Titel *Die Ungnade der frühen Geburt* gerückt und damit sehr zutreffend an das Schicksal erinnert, welches Konrad Zuse mit anderen Erfindern und Denkern – wie beispielsweise Leonardo da Vinci oder Gottfried Wilhelm Leibniz – teilen mußte, nämlich daß sie, gleichsam als Entgelt für ihre Existenz als geniale Vordenker und Theoretiker, die Früchte ihres Schaffens indes den nachfolgenden Generationen von Wissenschaftlern – und auch Unternehmern! – überlassen mußten.

Das ist heute ganz anders.

Wolfgang K. Giloi

Die Ungnade der frühen Geburt – in memoriam Konrad Zuse (1910–1995) –

(Akademievorlesung am 12. Dezember 1996)

Einleitung

Konrad Zuse ist in unserem Land bekannt als der Computerpionier, der den ersten funktionstüchtigen Rechner in der Geschichte der Menschheit realisierte. Weniger bekannt ist aber immer noch die Tatsache, daß er mit seinem Plankalkül auch die erste höhere Programmiersprache der Welt entwickelte. Zuse hatte bereits 1945 nicht nur klare Vorstellungen über die Konzepte von höheren Programmiersprachen, sondern auch über die Programmierung von Anwendungen der künstlichen Intelligenz wie der relationalen Datenspeicherung oder dem Schachspiel. Dies macht ihn auch zum ersten Informatiker der Welt und darüber hinaus zum Erfinder der künstlichen Intelligenz.

Auf die ein Jahrzehnt nach Zuses Pionierleistungen beginnende Entwicklung der Programmiermethodik und der künstlichen Intelligenz hatten diese weitgehenden Vorarbeiten jedoch keinen Einfluß. International blieben sie durch die Kriegs- und Nachkriegsverhältnisse lange unbekannt, aber auch im eigenen Lande waren sie zu früh gekommen, um in ihrer Bedeutung verstanden zu werden. Bis heute würdigt die internationale Gemeinde der Informatiker, Computerwissenschaftler und Ingenieure den Genius von Konrad Zuse nicht in gebührendem Maße. In diesem Vortrag werden wir versuchen, die Beiträge, die Konrad Zuse als Erfinder und Wissenschaftler geleistet hat, sowie die Prioritäten, die er auf verschiedenen Gebieten beanspruchen kann, gebührend zu würdigen. Dabei werden wir auch versuchen, den Menschen Konrad Zuse, so wie wir ihn aus vielen Begegnungen kannten, hervortreten zu lassen.

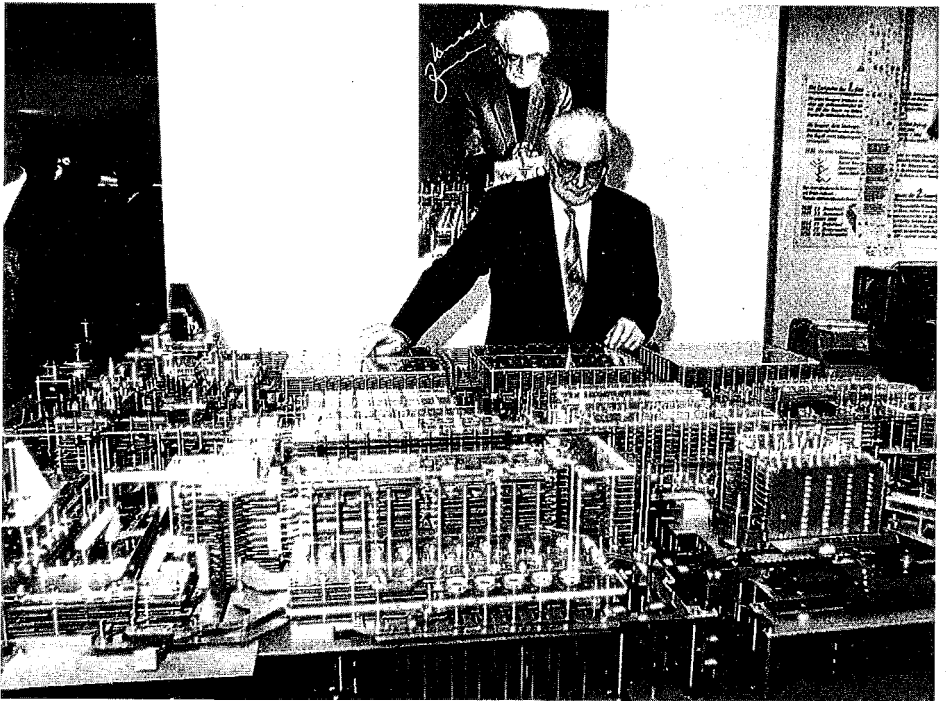


Abb. 1
Konrad Zuse mit dem Nachbau der Z1

Der Erfinder

Konrad Zuse ist mitunter in der Öffentlichkeit als der Erfinder der programmgesteuerten digitalen Rechenmaschine, kurz *Computer* genannt, bezeichnet worden. Dies ist jedoch eine journalistische Verkürzung, da die Idee einer programmierbaren Rechenmaschine in allen wesentlichen Zügen bereits von dem englischen Mathematiker Charles Babbage (1792–1871) entwickelt wurde. Babbage arbeitete viele Jahre an der Realisierung eines programmierbaren mechanischen Computers, den er Analytical Engine nannte. Die Konstruktion der Analytical Engine überstieg jedoch die technischen Möglichkeiten seiner Zeit, so daß es Babbage nicht gelang, ein funktionsfähiges Modell zu erstellen. Daher stellte 1842 die britische Regierung, die Babbages Entwicklung jahrelang finanziell unterstützt hatte, die weitere Förderung ein.

Den ersten funktionsfähigen mechanischen Digitalrechner, aber auch den ersten mit Relais arbeitenden Computer, realisierte in der Tat Konrad Zuse. Kann man ihn deshalb den Erfinder des Computers nennen?

Den ersten funktionsfähigen mechanischen Digitalrechner, aber auch den ersten mit Relais arbeitenden Computer, realisierte in der Tat Konrad Zuse. Kann man ihn deshalb den Erfinder des Computers nennen?

Nicht nach amerikanischer Rechtsprechung. Im Jahre 1964 entschied der ehrenwerte Richter Earl Larson vom US District Court in Minneapolis in dem Rechtsstreit *Honeywell vs. Sperry*, daß der Erfinder des Computers ein gewisser Dr. John Vincent Atanasoff sei [1]; also weder Babbage, noch Zuse, noch Eckert und Mauchley, die Konstrukteure des ENIAC, des ersten arbeitsfähigen elektronischen Rechenautomaten, noch John von Neumann, nach dem der sequentiell arbeitende Computer auch als *von Neumann-Maschine* bezeichnet wird, sondern Atanasoff, von dem bis dahin kaum jemand etwas wußte. Dieses Urteil, dem die Fachwelt bis heute mit Kopfschütteln bis Gelächter begegnet, gilt immer noch. Die Stadt Hünfeld, die für ihren Ehrenbürger Zuse lediglich den Anspruch erhebt, daß er den ersten *funktionsfähigen* Computer der Welt baute, war offenbar rechtlich gut beraten.

Die internationale Anerkennung dieser Priorität blieb Zuse jedoch versagt. Die Computer Society des *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), der Welt größte Vereinigung von Computerwissenschaftlern und -ingenieuren, schuf 1980 den *Computer Pioneer Award*, gedacht als eine Art Nobelpreis für Computerpioniere. Der Preis für den ersten funktionsfähigen Computer ging aber nicht an Konrad Zuse, dessen mit Relais arbeitender Digitalrechner Z3 bereits 1941 lief, sondern an Howard Aiken, dessen (ebenfalls mit Relais arbeitender) Rechner Mark I erst drei Jahre später funktionsfähig war. Da man im Jahre 1980 nicht mehr vorgeben konnte, von Zuses Arbeiten nichts zu wissen, gab man auch ihm den Pioneer Award „für den ersten Prozeßrechner“.

Zuse wurde bei Kriegsausbruch zunächst eingezogen, bald darauf aber als Statiker bei den Henschel-Flugzeugwerken „uk-gestellt“. Bei Henschel hatte er die Aufgabe, die Korrekturen zu berechnen, die individuell an jedem der in billiger Blechtechnik mit groben Toleranzen gefertigten unbemannten Flugkörper HS 293 an den Tragflügeln vorzunehmen waren, um diese flugfähig zu machen. Für Zuse war nichts naheliegender, als dazu seinen Rechner einzusetzen. Zu diesem Zweck baute er die mit Relais arbeitenden Spezialrechner S1 und S2. Der S2 verwirklichte die absolut neuartige Idee, durch einen in den Rechner integrierten *Analog/Digital-Wandler* die von Meßfühlern gelieferten *analogen* Meßwerte unter Programmkontrolle in entsprechende *digitale Größen* umzuwandeln, damit der S2 sie dann weiterverarbeiten konnte. Er hat es später sehr bedauert, für die Verbindung eines Analog/Digital-Wandlers mit einem Rechenautomaten kein Patent angemeldet zu haben.

Die Ironie ist, daß Zuse für den praktisch eingesetzten Rechner S2 nur den Preis für eine spezielle Anwendung erhielt, der Preis für den ersten funktionsfähigen

Rechner der Welt schlechthin aber für eine Entwicklung vergeben wurde, die in gleicher Technik und nach gleichen Prinzipien, aber erst drei Jahre später arbeitete. Es sei noch angemerkt, daß die Arbeit bei Henschel Zuse nicht nur den Pioneer Award eintrug, sondern in den siebziger Jahren auch Angriffe von Studenten, die ihn als „Bombenbastler Zuse“ verunglimpften. Es war für mich damals sehr eindrucksvoll, die geistige Souveränität Zuses zu erleben, mit der dieser nicht nur auf diese Angriffe reagierte, sondern auch dazu stand, daß er als in Deutschland lebender Ingenieur ungewollt zu einem Rädchen in der Kriegsmaschine des „Dritten Reiches“ wurde. Im übrigen wurden seine Rechnerentwicklungen als „nicht kriegswichtig“ eingestuft und damit (damals zu seinem Leidwesen) nicht staatlich gefördert.

Im Jahre 1945 schrieben *von Neumann, Burke, and Goldstine* die berühmte gewordene Studie „*Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*“ [2], in der erstmalig die Arbeitsprinzipien des sequentiell arbeitenden Digitalrechners¹ beschrieben sind. Dies führte dazu, daß bis heute der sequentielle Rechner auch als „von Neumann-Maschine“ bezeichnet wird. Die Arbeitsprinzipien des sequentiellen Digitalrechners hatte Zuse aber bereits in einer Patentschrift von 1941 ähnlich beschrieben, wenn auch nicht in der geschliffenen Prosa der Herren von Neumann, Burke und Goldstine, sondern in dem vorgeschriebenen Patentdeutsch. Zuses Visionen gingen aber schon Jahre zuvor über den sequentiellen Rechner hinaus – seine Patentanmeldung von 1936 [3] erwähnt bereits die Möglichkeit der Konstruktion von Feldrechnern und parallelen Rechnern. Im übrigen enthält die Patentschrift von 1936 auch die Erfindung der Gleitpunkt-Zahlendarstellung, ohne die kein numerischer Rechner auskommt.

Zuse hat sich über die Bezeichnung *von Neumann-Rechner* geärgert; er war der Meinung, daß diese Maschine eher *Babbage-Rechner* oder besser noch *Zuse-Rechner* heißen sollte [4]. In der Tat hatte Zuse und nicht Babbage als erster die Idee des adressierbaren Speichers mit binär kodierten Adressen – das Kernstück des von Neumann-Rechners (Babbage adressierte den Speicher dadurch, daß seine Lochkarten für jede Speicherzelle eine Lochposition hatten). Dafür gab es in Zuses ersten Rechnern nicht wie in Babbages Konzept *Sprungbefehle*² zum Verlassen des linearen Befehlsflusses. Bei Zuses ersten Rechnern Z1 bis Z3 wurde die Folge

¹ Der klassische Digitalrechner verarbeitet mit jedem Rechenschritt einen einzelnen (skalaren) Wert. Um das gewünschte Ergebnis zu erzielen, sind damit viele Rechenschritte nötig. Erst in den sechziger Jahren entstand die Idee des Parallelrechners, der mit jedem Rechenschritt viele Transformationen gleichzeitig ausführen kann. Der Parallelrechner ist somit keine „von Neumann-Maschine“.

² Sprungbefehle werden zum Beispiel benötigt, um *Programmschleifen* zu programmieren, d. h. das mehrmalige Ausführen einer bestimmte Befehlsfolge, wie es bei iterativen Algorithmen notwendig ist.

der Befehle eines Programms in einen Lochstreifen gestanzt (er verwendete dazu Kinofilm, den er als Abfall von den Babelsberger Studios erhielt), und sie konnten nur in dieser Reihenfolge gelesen werden. Die von Neumann-Maschine, die Befehle wie Daten in ihrem Speicher ablegt, kann hingegen auf jeden beliebigen Befehl wahlfrei zugreifen.

Zuse hat später betont, daß er von Anfang an die Möglichkeit der Speicherung von Daten und Befehlen gesehen habe. Da er zunächst aber die Konsequenzen von Sprungbefehlen nicht überschauen konnte, habe er lieber darauf verzichtet [5, 6]. Es liegt aber auch die Vermutung nahe, daß er den kostbaren Speicher nicht zum Speichern von Befehlen verschwenden wollte, zumal die ihm vertrauten numerischen Rechnungen weitgehend ohne Programmschleifen ausgeführt werden konnten. Es bleibt festzuhalten, daß erst die Z4 wirklich in allen Zügen ein *von Neumann-Rechner* war.

Schlimmer noch als mit der ihm nur zögernd und nicht in vollem Maße gewährten Anerkennung ist es Zuse mit seinen Patentanmeldungen ergangen [5]. Zwar führte die Anmeldung von 1936 zu einem Patent auf die in der Z1 und Z2 verwandte mechanische Schaltkreis- und Speichertechnik. Eine 1937 getätigte erste Anmeldung von Programmsteuerung und Rechenwerken wurde wegen mangelnder Offenbarung zurückgezogen. Der gleichzeitigen Anmeldung in den USA wurde Babbage entgegengehalten.

1941 meldete Zuse ein Patent mit 51 Ansprüchen auf alle wichtigen Einrichtungen des Relaisrechners Z3 an [5]. Die Ansprüche bezogen sich insbesondere auf eine *programmgesteuerte Rechenmaschine* mit einem adressierbaren *Speicher*, einem *Rechenwerk* für Gleitpunkt-Operationen und einem *Programmwerk* zur Steuerung der Rechenabläufe – dies sind genau die Komponenten, die den *von Neumann-Rechner* ausmachen. Wegen der im Kriege bestehenden Geheimhaltungsvorschrift wurde die Anmeldung erst 1951 bekanntgemacht. Gegen die Patenterteilung wurde zunächst von der Firma Triumph und später auch von IBM Einspruch erhoben. Erst 1967, 26 Jahre nach der Anmeldung, entschied das Bundespatentgericht auf Ablehnung mit folgender Begründung: „Die Neuheit und Fortschrittlichkeit des mit dem Hauptantrag beanspruchten Gegenstandes sind nicht zweifelhaft. In dessen kann auf ihn mangels Erfindungshöhe kein Patent erteilt werden“. Eine Rechtsbeschwerde beim Bundesgerichtshof wurde nicht zugelassen. Die Absurdität dieses Urteils stellt den erwähnten Spruch des Honorable Judge Larson, der Eckert und Mauchly ihre ENIAC-Patente aberkannte, bei weitem in den Schatten! Anders als anderen, glücklicheren Rechnerpionieren erwuchs so Zuse kein Nutzen aus seiner epochalen Erfindung.

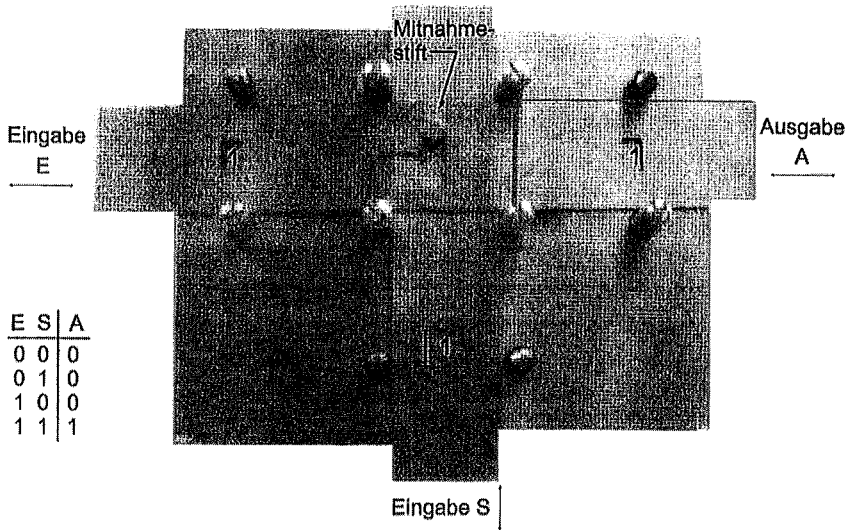


Abb. 2
Mechanisches UND-Gatter

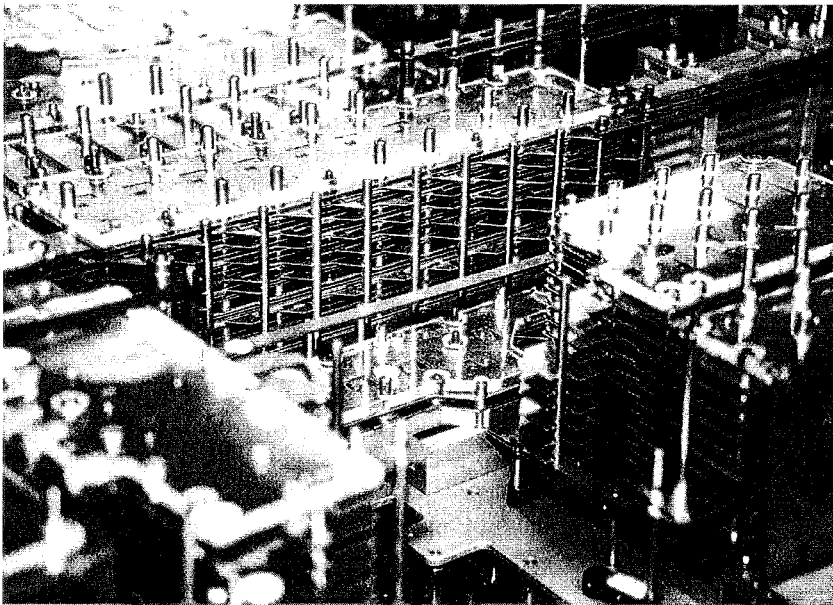


Abb. 3
Der mechanische programmierbare Rechner Z1

*Der Wissenschaftler**Verwendung von Aussagenlogik und Boolescher Algebra*

In der deutschen Öffentlichkeit entstand über die Jahre das Bild vom „Computerbastler Zuse“ (eine beliebte Formulierung eines deutschen Nachrichtenmagazins). Zuse selbst hat mit seiner Autobiographie [5] zu diesem Bild beigetragen, wenn er beschreibt, wie er im elterlichen Wohnzimmer in Berlin mit der Laubsäge die Blechteile für den mechanischen Rechner Z1 ausschnitt.

Inspiriert von der *Dyadik* des Gründers unserer Akademie Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716), machte auch Zuse die Verwendung der Binärzahlen zum Ausgangspunkt seiner Rechnerentwicklungen. Zum Rechnen mit Binärzahlen benötigt man nur drei sehr einfache Grundoperationen: *Konjunktion* (logisches UND), *Disjunktion* (logisches ODER) und *Negation* (logisches NICHT). Seine erste Erfindung waren mechanische Schaltelemente zur Ausführung dieser Operationen. Abb. 2 zeigt das mechanische UND-Gatter zur Ausführung der Konjunktion.

Das UND-Gatter arbeitet mit drei Blechstreifen, die hin- und herbewegt werden können und entsprechend ihrer Endlage die Werte 0 oder 1 darstellen. Die Steuereingabe S bringt dabei den Mitnahmestift in die obere oder untere Stellung. In der unteren Stellung ($S=0$) kann sich die Eingabe E nach links ($E=0$) oder rechts ($E=1$) bewegen, ohne daß der Stift die Ausgabe A „mitnimmt“. In der oberen Stellung ($S=1$) hingegen folgt die Ausgabe A der Eingabe E. Die Wahrheitstabelle dieser Operation ist somit die der Konjunktion.

Zuses erster mechanischer Digitalrechner, Z1, bestand aus der Zusammenschaltung von tausenden solcher mechanischer UND-Gatter, wie in Abb. 3 zu sehen.

Zuse erkannte sehr bald, daß er die logischen Grundoperationen statt mit seinen mechanischen Schaltelementen auch mit Telefonrelais realisieren konnte. Fast zehn Jahre später lernte er dann von seinem Freund Helmut Schreyer, daß auch Elektronenröhren die benötigten Schaltvorgänge ausführen können [5].

Zuse war alles andere als ein Bastler. Er erkannte frühzeitig, daß sich die Funktionsweise seines mit Dualzahlen arbeitenden Rechners mathematisch mit den Mitteln der Aussagenlogik beschreiben ließ. Der Aussagekalkül bzw. die Boolesche Algebra wurde so bei ihm von Anfang an (wie auch heute noch) zur Grundlage für den logischen Entwurf seiner Rechner. Daraus erwuchs ein starkes, allgemeineres Interesse an der mathematischen Logik, was auch die Beschäftigung mit der Prädikatenlogik einschloß.

Zuse wurde oft gefragt, was ihn in den dreißiger Jahren dazu motivierte, einen programmierbaren Rechenautomaten bauen zu wollen. Seine Standardantwort war: Faulheit! Er pflegte dann anzufügen, daß er die mühsamen statischen Berech-

nungen, die er als Bauingenieur auszuführen hatte, lieber einer Maschine übertragen wollte, statt sie selbst durchführen zu müssen. Diese Antwort, die ihm immer Punkte bei Journalisten einbrachte, ist bestenfalls teilweise wahr. Daß die Hauptanwendungen seiner Rechner in numerischen Berechnungen bestehen würden, war Zuse von Anfang an klar, und dafür entwarf er auch seine ersten Maschinen. Sein besonderes Interesse galt aber von Anfang an Anwendungen, die man später dem Bereich der künstlichen Intelligenz zurechnete, wie zum Beispiel dem Schachspiel [5, 6]. Die von Zuse 1945 entwickelte, *Plankalkül* genannte Programmiermethodik [6] war daher bereits ebenso für die Behandlung von numerischen wie von nicht-numerischen Anwendungen konzipiert.

Zuses größte wissenschaftliche Leistung: Der Plankalkül

Der Plankalkül (PK) war die erste höhere Programmiersprache in der Geschichte der Menschheit. Der PK beweist mehr als jede andere Tätigkeit von Konrad Zuse, wie falsch das Bild vom „Computerbastler“ ist. Er entstand 1945 im bayerischen Hinterstein, einem Dorf, in das Zuse zusammen mit der unvollendeten Z4 kurz vor Kriegsende aus Berlin ausgelagert worden war. Da es Zuse dort zunächst unmöglich war, weiter an der Entwicklung der Z4 zu arbeiten, wendete sich sein rastloser Geist der Frage zu, wie digitale Rechner in mathematisch-abstrakter Form programmiert und dabei insbesondere auch Probleme der künstlichen Intelligenz angepackt werden könnten.

Nach eigener Aussage beabsichtige Zuse mit dem PK, ein formales Schema, einen Kalkulus für die Konstruktion von *Rechenplänen* (heute sprechen wir von *Programmen*) aufzustellen, welches „eine rein formale Beschreibung für jede beliebige Rechenprozedur liefert“. Zu seinen Intentionen schreibt er [6, S. 25], daß der Schwerpunkt seines Interesses weniger bei den numerischen Anwendungen lag – die für ihn trivial waren – als bei logischen Problemen. Der PK war daher ebenso für die Behandlung kombinatorischer Probleme wie für die Ausführung numerischer Algorithmen gedacht. Das Musterbeispiel eines kombinatorischen Problems war für Zuse das Schachspiel: In seiner Schrift über den PK [6] sind allein 44 Seiten dieser Anwendung gewidmet. Zuse hatte von Anfang an die Vision, daß seine Maschinen am Ende besser Schach spielen würden als der beste Schachmeister – und auch damit behielt er am Ende recht.

Oberflächlich gesehen nahm der PK wesentliche Züge der späteren algorithmischen Sprachen wie Algol vorweg [7]. So gibt es Entsprechungen für die gängigen Kontrollkonstrukte wie die IF- und REPEAT-UNTIL-Anweisung. Und man findet auch alle in höheren Programmiersprachen üblichen skalaren Datentypen wie:

- boolean (logische Werte)
- integer (ganze Zahlen)
- real (reelle Zahlen)
- complex (komplexe Zahlen).

Eine genauere Betrachtung [8] zeigt aber doch wesentliche Unterschiede zu den frühen höheren Programmiersprachen (die erst über ein Jahrzehnt später entstanden) auf, nämlich

- die Sichtbarkeit der binären Darstellung (*representation*) der genannten Datentypen
- die Existenz von Datenstrukturtypen.

Der Begriff des Datentyps und seiner Repräsentation ist zu erläutern. Mit *Datentypen* bezeichnet man die Objektarten, mit denen in den Anwendungen gerechnet wird (z. B. logische Größen, Zahlen der verschiedensten Art, abstrakte Bezeichner usw.), einschließlich der Operationen, die auf die einzelnen Objektarten angewandt werden können. Auf Hardwareebene werden alle diese Objektarten immer durch *Bitketten*, d. h. Folgen von Nullen und Einsen, repräsentiert. Bereits bei den frühen höheren Programmiersprachen Fortran und Algol galt das Prinzip, daß der Programmierer nach Möglichkeit nur die Typen der Sprache sieht, nicht jedoch die sie repräsentierenden Bitketten (die nur der Maschine bekannt sein müssen). Das Verbergen der Datenrepräsentation gibt dem Programmierer eine abstrakte, anwendungsbezogene Sicht der Datentypen und macht so die Programmierung einfacher und fehlerfreier. Dadurch wird dem Programmierer andererseits die Möglichkeit genommen, eigene Typen definieren zu können.

Der PK kennt genau betrachtet nur *einen* elementaren Datentyp: das einzelne Bit. Alle anderen, anwendungsorientierten Datentypen werden vom Programmierer bereits als Bitmuster, d. h. als Strukturen deklariert, deren Interpretation nicht wie in den höheren Programmiersprachen a priori definiert ist, sondern erst durch eine vom Programmierer zu liefernde Typenspezifikation. Dadurch sind die den Anwendungs-Datentypen zugrundeliegenden Bitmuster dem Benutzer sichtbar, und im Vergleich zu Fortran und Algol hat hier der PK eine niedrigere Abstraktionshöhe.

Andererseits gibt es im PK Datenstrukturtypen wie den *binären Baum*, das *Array* (Feld) und die *Liste*, insbesondere die *Liste von Wertepaaren*, die die Darstellung von generalisierten Graphen [9] (d. h. beliebigen Relationen) ermöglicht. Damit können z. B. geometrische Strukturen aufgebaut werden [6]. Strukturen können im PK dynamisch sein, d. h. während der Programmausführung erzeugt werden. Listen sind immer dynamisch; sie können wachsen und schrumpfen. Die *leere Variable* dient als Platzhalter für dynamisch erzeugte Elemente, und es gibt Listenoperationen für

- Erzeugung von Unterlisten aus denjenigen Elementen, die ein bestimmtes Prädikat erfüllen
- Abfrage der Anzahl der Listenelemente
- Lesen des ersten oder letzten Elements
- Suche nach dem kleinsten oder größten Element
- Anfügen eines Elements am Anfang oder Ende der Liste
- Konkatenation von zwei Listen.

Diese Züge des PK sind erst in den ein Jahrzehnt später entstehenden Sprachen *Lisp* und *APL* erneut zu finden. *Lisp* basiert auf der Liste als Grundtyp und wurde damit zur Sprache der *künstlichen Intelligenz*. *APL (A Programming Language)* [10] war die erste implementierte Sprache für die dynamische Erzeugung und Manipulation von komplexen Datenstrukturen. Alle diese Eigenschaften geben dem PK (wie auch *Lisp* und *APL*) einen sehr viel höheren Abstraktionsgrad, als ihn die üblichen höheren Programmiersprachen haben, die letztlich nur die Fähigkeit der „von-Neumann-Maschine“ abbilden, mit jedem Rechenschritt den Inhalt eines einzelnen Speicherplatzes zu transformieren, statt eine ganze Datenstruktur.

Beispiel: Relationale Datenspeicherung

Die Sichtbarkeit der binären Strukturobjekte im PK gestattet es, diesen jede beliebige semantische Bedeutung zu geben. Das heißt, der Benutzer kann seine eigenen, anwendungsgerechten Datentypen definieren. Zuse nennt als Beispiele [5, S. 12] die folgenden Typen:

- Personen
- Alter
- Geschlecht
- Ehestand
- andere Personaldaten
- die Felder des Schachbretts
- die Schachfiguren, einschließlich der Definition ihrer Zugmöglichkeiten
- die Kanten eines Graphen
- oder was immer sonst die Anwendung erfordert.

Alle Operationen auf benutzerdefinierten Typen sind Ausdrücke der Aussagenlogik oder der Prädikatenlogik, die auf den binären Repräsentationen ausgeführt werden. Dies erlaubt es, Untermengen aufgrund vorgegebener Eigenschaften zu bilden. Abb. 4 gibt dafür ein Beispiel.

Gegeben sei die Bitkette
 $b_9 b_8 b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$
die eine Person wie folgt beschreibt.

DEFINITIONEN

$b_9 b_8 b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0 = \text{ALTER}$	$0 \leq \text{ALTER} \leq 127$
$b_7 = \text{GESCHLECHT}$	$b_7 = 0$: weiblich 1 : männlich
$b_9 b_8 = \text{EHESTAND}$	$b_9 b_8 = 00$: ledig 01 : verheiratet 10 : verwitwet 11 : geschieden

Das Prädikat

$$\overline{b_7} \wedge (b_9 \vee \overline{b_8}) \wedge \overline{b_6} \wedge \overline{b_5} \wedge b_4$$

bezeichnet alle unverheirateten Frauen in der Altersgruppe von 16 bis 31 Jahren.

Beachte: Das Prädikat kann als Suchschlüssel für die assoziative Suche aufgefaßt werden.

Abb. 4

Beispiel eines benutzerdefinierten Datentyps

Beispiel: Graphen-Analyse

Als Demonstration für die quasi-mathematischen Programmtexte des PK zeigen wir in Abb. 5 ein Programm, welches herausfindet, wieviel Kanten jeden Knoten eines unidirektionalen Graphen verlassen [8]. Der Graph wird dabei als *Liste von Paaren* dargestellt, wobei die Paare die Quell- und Zielknoten der Kanten angeben. Die Funktion ist von der Art: $(V_0, V_{1,0}) \Rightarrow R$, wobei V_0 die Liste von Paaren, V_1 ein Paar in der Liste und $V_{1,0}$ das erste Element dieses Paares bezeichnen. R ist die Zahl der Paare in V_0 , in denen $V_{1,0}$ als erstes Element auftritt und damit die Anzahl der Kanten, die den Knoten $V_{1,0}$ verlassen. Das Programm benutzt zwei spezielle Funktionen des PK, den Operator L , der die Zahl der Listenelemente liefert [6, S. 46] und den THOSE WHICH-Operator x , der eine Unterliste aller Elemente einer Liste erzeugt, für die ein gegebenes Prädikat (eine Aussage) wahr ist [6, S. 70]. Damit liest sich das Programm fast wie eine mathematische Formel.

Datenstrukturen wie die *Liste von Paaren* und Operatoren wie $N(L)$ und THOSE WHICH sind in den Ende der fünfziger Jahre entstehenden höheren Program-

R	V	, V	\Rightarrow	R	
V	0	1	0		
K		0			
S	mx2σ	σ	1.n		
	N	\hat{x}	$x \in V \wedge x = V$	\Rightarrow	R
V		0	1		
K			0	0	
S	2σ	mx2σ	σ	σ	1.n

N(L): Liefert Anzahl der Elemente der Liste L
 \hat{x} : THOSE WHICH - Operator

Abb. 5

Programm zur Ermittlung der Zahl der Kanten in den Knoten eines Graphen

miersprachen nicht zu finden. Etwas Ähnliches findet man erst in der „KI-Sprache“ *Lisp* oder der quasi-algebraischen Operatorensprache *APL*.

Konrad Zuse hatte bereits 1945 bei der Entwicklung des Plankalküls eine klare Vorstellung eines abstrakten Programmiermodells mit abstrakten Datentypen und Operationen und einer für numerische wie nicht-numerische Anwendungen gleichermaßen geeigneten Datenrepräsentation, Konzepte, die eigentlich erst in den siebziger Jahren ihren Einzug in die Informatik hielten. Dies macht ihn zum ersten Informatiker. In seiner Schrift über den PK führt er bis in das letzte Detail aus, wie die Datenstrukturtypen des PK mit ihren mächtigen Operationen dazu benutzt werden können, das Schachbrett mit jeder beliebigen Konstellation der Figuren sowie die Zugmöglichkeiten der einzelnen Figuren darzustellen und damit Schachprogramme zu realisieren. Dies macht ihn zum Erfinder des Konzepts der künstlicher Intelligenz.

Die Ungnade der frühen Geburt

Weder als der erste Informatiker noch als Erfinder der künstlichen Intelligenz ist Konrad Zuse bis heute anerkannt, ebensowenig, wie ihm seine Erfindungen auf dem Gebiet der Hardwarearchitektur Nutzen gebracht haben. Von ihm selbst stammt der Ausspruch: „Die besten Erfindungen taugen nichts, wenn sie zu früh kommen“.

Seine Erfindungen entstanden im NS-Staat, der sich selbst aus der freien Völkergemeinschaft mit freiem Austausch von Ideen ausgeschlossen hatte. Durch die Vertreibung oder Vernichtung eines wesentlichen Teils der geistigen Elite Deutschlands war die traditionelle Rolle der deutschen Sprache als einer wichtigen Wissenschaftssprache bereits vor dem Krieg geschwunden. Die Kriegs- und Nachkriegsverhältnisse schlossen erst recht einen wissenschaftlichen Austausch aus. Als die Bundesrepublik Deutschland graduell wieder in die Völkergemeinschaft aufgenommen wurde, war die Entwicklung inzwischen in den USA soweit vorangeschritten, daß dort mit einer gewissen Berechtigung die Meinung vorherrschte (und bis heute vorherrscht), daß alle wichtigen Erfindungen und Konzepte auf dem Gebiet der Rechnertechnologie und der Informatik in den USA entstanden sind. Wir wagen zu sagen, daß manche Entwicklungen auf dem Gebiet der höheren Programmiersprachen und der künstlichen Intelligenz Jahre früher begonnen hätten, wären Zuses Ideen und Vorarbeiten bekannt gewesen.

Erst Brian Randells so verdienstvolles Buch „The Origins of Digital Computers“ [3] machte die interessierte Fachwelt mit Zuses Erfindungen bekannt. Die Monographie über den Plankalkül wurde erst 1976 als GMD-Bericht veröffentlicht, und zwar in englischer Übersetzung. Diese Schrift wurde aber international kaum zur Kenntnis genommen (was sicher auch die Tatsache widerspiegelt, daß GMD-Berichte wenig gelesen werden).

Wäre Konrad Zuse in den fünfziger Jahren ein jüngerer Mann mit akademischen Interessen gewesen, der seine Arbeiten in amerikanischen Journalen hätte publizieren können, seine Rolle als Pionier neuartiger Konzepte der Informatik und künstlichen Intelligenz wäre eher anerkannt worden. Zuse hatte in den fünfziger und sechziger Jahren aber einen ganz anderen Ehrgeiz, nämlich den, leistungsfähige und wirtschaftliche Rechner zu entwickeln, herzustellen und auf den Markt zu bringen. Zuse selbst hat öfters in der ihm eigenen Selbstironie auf die Frage, als was er sich letztlich sieht, die Antwort gegeben: „Als gescheiterter Unternehmer“. Auch mit diesem Ausspruch verkauft er sich unter Wert. Seine Firma hatte den Verdienst, es der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu ermöglichen, in den späten fünfziger und sechziger Jahren die deutschen Universitäten mit dem preiswerten wissenschaftlichen Rechner Z22 auszustatten. Die erste Generation von Informatikern in der Bundesrepublik (zu der auch der Verfasser gehört) verdankt der Z22 ihre ersten Erfahrungen mit digitalem Rechnen und digitaler Programmierung.

Wie ist der Mensch Konrad Zuse damit fertig geworden, daß seine Pionierleistungen außerhalb Deutschlands nicht in gebührendem Maße anerkannt worden sind? Wir glauben, daß sich diese Frage für jeden beantwortet, der den Maler Konrad Zuse kennt. Wer das Privileg hatte, ihn in seinem Atelier zu erleben und der Originalität und Fülle seines künstlerischen Schaffens zu begegnen, glaubt zu

erahnen, worin Konrad Zuse Trost über alle Enttäuschungen fand. Für uns bleibt aber die Verpflichtung, auch nach seinem Tode das Unsere zu tun, die wahre Bedeutung des großen Computerpioniers und Informatikers Konrad Zuse der Nachwelt deutlich zu machen.

Literatur

- [1] Lee, J. A. N. (1996): „looking.back“. In: Computer Magazine, 2/1996, („looking back“: monthly column in the 1996 issues of Computer to mark the Computer Society's 50th anniversary).
- [2] Burks, A. W. et al. (1963): Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument. In: Taub, A. H. (Hg.), Collected Works of John von Neumann, vol. 5, New York: MacMillan, S. 34-79.
- [3] Randell, B. (Hg.) (1973): The Origins of Digital Computers, Berlin/Heidelberg/ New York: Springer-Verlag.
- [4] Zuse, K. (1993): Brief an W. K. Giloi vom 27.12.1993.
- [5] Zuse, K. (1970): Der Computer – Mein Lebenswerk, München: Verlag Moderne Industrie.
- [6] Zuse, K. (1989): The Plankalkül, GMD Report no. 175, 2nd edition, München/ Wien: R. Oldenbourg-Verlag.
- [7] Bauer, F. L. & H. Wössner (1972): The Plankalkül of Konrad Zuse, a Forerunner of Today's Programming Languages. In: Elektronische Rechenanlagen, 2/1972.
- [8] Giloi, W. K. (1997): Konrad Zuses Plankalkül: The First High-Level, „non von Neumann“ Programming Language. In: Annals of the History of Computing, 4/1997.
- [9] Knuth, D. E. (1975): The Art of Computer Programming, Vol. 1, (2nd edition), Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- [10] Iverson, K. E. (1962): A Programming Language, New York: J. Wiley & Sons.

Einführung zur Akademievorlesung von Theodor Hiepe am 23. Januar 1997

Dieter Simon

Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

Meine Damen und Herren,

willkommen zu unserer heutigen Akademievorlesung!

Wenn Sie in den letzten Tagen eine Zeitung aufgeschlagen haben, dann sind Ihnen Überschriften begegnet, die Sie noch vor kurzem ratlos betrachtet hätten, die Sie jetzt aber vermutlich mit der Routine des versierten Katastrophenkonsumenten mühelos entschlüsselt haben, nämlich: *Bio-Galloway hatte BSE* (TAZ vom 21. Januar 1997) oder *Immunisierung durch Scrapie?* oder nur (aber zusätzlich mit dem für den ganzen Komplex sehr bezeichnenden Unterton) *Amtlich: 'Jetzt auch im Huhn!'* (TAZ vom 20. Januar 1997). Es ist also kein marginales und kein esoterisches Thema, zu dem heute abend von Herrn Hiepe gesprochen wird. Theodor Hiepe ist emeritierter Professor für Parasitologie der Freien Universität Berlin, er ist Gründungsmitglied unserer Akademie und er ist, was für mich das Attraktivste gewesen wäre, Fachtierarzt.

Er wurde 1929 im thüringischen Weimar geboren und studierte nach dem Abitur von 1948–53 Veterinärmedizin an der Universität Leipzig. Dort wurde er 1953 mit seiner Arbeit über eine *Neue Methode zur Knochenmarkgewinnung beim Pferd* zum Doktor der Tiermedizin promoviert. Die nächsten sieben Jahre war er an der Medizinischen Tierklinik der Universität Leipzig als wissenschaftlicher Assistent bzw. Oberassistent tätig. Nebenbei war er für den Aufbau des Schafherdengesundheitsdienstes im Land Sachsen verantwortlich – die Schafe waren in dieser Hinsicht bis dahin eher stiefmütterlich behandelt worden. Zugleich wirkte er – vielleicht ein Traum vieler Veterinärmediziner – als Cheftierarzt im Zoologischen Garten der Stadt Leipzig, einem Zoo, dem in seiner Funktion als erweiterter Lehranstalt weltweit Modellcharakter zukommt. Daß es ihm der Zoo angetan hatte, zeigt auch der Umstand, daß er Gelegenheit fand, im Zoologischen Garten in Frankfurt am Main bei dem bekannten Tierarzt Bernhard Grzimek zu hospitieren.

Mit 29 Jahren erfolgte dann 1958 in Leipzig die Habilitation für Klinische Tiermedizin, Pathophysiologie und Gerichtliche Tiermedizin. 1960 wurde er als ordentlicher Professor auf den Lehrstuhl für Parasitologie und Veterinärmedizinische Zoologie der Humboldt-Universität zu Berlin berufen – also der Berliner Universität, die über eine mehr als zweihundert Jahre alte veterinärmedizinische Fakultät verfügte. Am Institut für Parasitologie der HU richtete er 1970 ein Forschungslaboratorium zur Ektoparasitenbekämpfung in der Mongolei ein – eine Einrichtung, die bis 1990 bestand und nicht nur großes Ansehen genoß, sondern darüber hinaus den wissenschaftlichen Mitarbeitern die – wie wir wissen – seinerzeit reichlich eingeschränkte Chance bot, Erfahrungen im Ausland zu sammeln. Über dreißig Jahre lang lehrte er an der Humboldt-Universität. 1990–1993 stand er seinem Fachbereich als erster frei gewählter Dekan vor. 1993 mußte er dann aufgrund der vom Wissenschaftsrat weder empfohlenen noch für wünschenswert gehaltenen, politisch aber anscheinend unvermeidlichen Fusion der beiden veterinärmedizinischen Ausbildungsstätten an die Freie Universität Berlin wechseln. Seit seiner Emeritierung ist er Gastprofessor am Lehrstuhl für Molekulare Parasitologie an seiner alten Wirkungsstätte, der Humboldt-Universität, wo er Allgemeine und Angewandte Parasitologie lehrt.

Wie die meisten bedeutenden Forscher erhielt auch Herr Hiepe zahlreiche Auszeichnungen (z. B. die Hufeland-Medaille in Gold oder die Ehrendoktorwürde der Universität Wien) und ist Mitglied bedeutender Gesellschaften. Ich erwähne nur seine Zugehörigkeit als Mitglied und Senator zur Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina in Halle; seine Ehrenmitgliedschaft in der tschechoslowakischen und der ungarischen Parasitologischen Gesellschaft, der österreichischen Gesellschaft für Tropenmedizin und Parasitologie sowie seine Vizepräsidentenschaft der Weltvereinigung der Veterinärparasitologen.

Theodor Hiepe war zunächst korrespondierendes und dann ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR und wurde Gründungsmitglied der sich neu konstituierenden Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Er legte eine Fülle wissenschaftlicher Publikationen vor: vielleicht darf ich das mir sicher unzugängliche, aber schon als abstrakte Leistung preiswürdige vierbändige *Lehrbuch der Parasitologie* erwähnen sowie seine Monographie über *Schafkrankheiten*. Hiepe gehört zu den Wissenschaftlern, die sich nicht scheuen, ihre Wissenschaft in die Öffentlichkeit zu tragen. Folgerichtig publizierte er über einhundert populärwissenschaftliche Artikel, die seinen Namen auch außerhalb der Fachwissenschaft bekannt machten. Seine Forschungen lagen stets an den Schnittstellen von Veterinär- und Humanmedizin, von Biologie und Agrarwissenschaften, wobei er immer den hohen ethischen Stellenwert seiner Disziplin im gesamtulturellen Zusammenhang betonte. Zu seinen Hauptforschungsgebieten

gehören u. a. das Wesen des Parasitismus und die Strategien der Parasitenbekämpfung, Immunparasitologie sowie Alternativmethoden zum Tierversuch. Ein wesentlicher Teil seiner Beschäftigung gilt demnach den Parasiten – also den Schmarotzern –, die nicht nur ein fester Typus der klassischen griechischen Komödie sowie der alltäglichen Erfahrung sind, sondern auch zu den ältesten Lebewesen überhaupt zählen.

Von diesen Forschungen aus war es nur natürlich, daß sich Hiepe auch mit den verschiedenen Wegen einer Infektion und möglichen Übertragbarkeit von Tierkrankheiten auf den Menschen beschäftigte – ein Vorgang, der über lange Zeit hinweg, vielfach aus religiösen Gründen, für unmöglich oder wenigstens für unwahrscheinlich gehalten wurde.

Damit sind wir wieder am Anfang angelangt. Kein Monat und – zur Zeit – kein Tag vergehen, wo nicht neue Hypothesen, „Hochrechnungen“ und Szenarien über Ausmaß, Größenordnung und „Ausbruch“ einer Infektion durch den Konsum verseuchter Rinderprodukte durch die Medien gehen: um so mehr tut sachliche und vor allem kompetente Aufklärung not – Aufklärung, die uns Theodor Hiepe heute abend geben wird.

Theodor Hiepe

„Rinderwahnsinn“ – ein Wahnsinn? BSE – eine seuchenhaft auftretende Rinderkrankheit und deren Folgen

(Akademievorlesung am 23. Januar 1997)

I

Warum dieses Thema, wieso diese Überschrift?

Der sogenannte „Rinderwahnsinn“ ist eine seuchenhaft auftretende Gehirnkrankheit erwachsener Rinder, die 1985 in Großbritannien erstmals beobachtet und 1986 beschrieben worden ist. Diese Erkrankung hat inzwischen zu schwerwiegenden wirtschaftlichen Folgen geführt und die Bevölkerung europaweit, zeitweise weltweit beunruhigt – v. a. auch wegen der potentiellen Übertragungsfahr auf den Menschen. Von den Medien in Deutschland und im deutschen Sprachgebiet, großzügig aus dem Englischen übersetzt, wird hierfür in der Umgangssprache die Bezeichnung „Rinderwahnsinn“ benutzt – unter Mißachtung des medizinischen Sprachgebrauches. Dies führte letztendlich zu einer Massenpsychose und zu einer Fülle unvertretbarer Mißverständnisse.

Einige Vorbemerkungen:

Die englische Bezeichnung für den sogenannten Rinderwahnsinn ist „mad cows“ (mad = verrückt, toll, wütend, wahnsinnig). Der Terminus Wahnsinn ist mit insanity oder madness zu übersetzen. Ein Leitsymptom dieser Krankheit ist der schwankende, torkelnde Gang. Die Krankheitsbezeichnung „tottering cows“ (von totter, auch slagger = schwanken) wäre daher angemessen.

In Lexika und Wörterbüchern findet man unter *Wahnsinn* u. a. folgende Definitionen und Erklärungen:

- volkstümliche Bezeichnung für Geistes- und Gemütskrankheiten (Meyers Neues Handlexikon)
- laienhafter Ausdruck für mit Wahnideen verbundene, psychotische Bilder; oft verallgemeinert für alle Psychoformen. (H. David, Wörterbuch der Medizin, 1992). Der Terminus Rinderwahnsinn wurde nicht übernommen.

- volkstümlicher Ausdruck für Geisteskrankheiten, die sich schon äußerlich durch auffallendes Benehmen(!) bemerkbar machen. Wissenschaftlich wird der Ausdruck „Wahnsinn“ nicht mehr gebraucht (da er keine Bezeichnung für eine stark umschriebene Form einer geistigen Störung darstellt) (Brockhaus, 1934).
- Die wissenschaftlich exakte Bezeichnung für den sogenannten Rinderwahnsinn ist Bovine Spongiforme Enzephalopathie, Kurzbezeichnung BSE (Wiesner/Ribbeck, Wörterbuch der Veterinärmedizin, 1992).

Das Wort *Wahn* drückt ein schwer zu beschreibendes psychisches Phänomen aus. Darunter zu verstehen ist eine irrierte, für den Gesunden nicht einfühlbare Überzeugung ohne reale Grundlage, die auch unter dem Eindruck logischer Gegenargumente nicht korrigiert wird, wobei Bewußtsein und Intelligenz intakt sind. Die Bezeichnung *Wahnsinn* ist humanspezifisch und somit nicht auf Tiere übertragbar.

Der in der Überschrift als Frage aufgeworfene Terminus *Wahnsinn* ist von mir als Redewendung für *fehlerhafte, unbedachte, unzulängliche Interpretation eines außergewöhnlichen Geschehens – im Sinne eines Irrtums, eines aufregenden Irrtums(!)* auszulegen.

Und nun zur Sache.

II

Gestatten Sie mir, Ihnen zu dieser aufsehenerregenden Krankheit des Zentralnervensystems (ZNS) der Rinder, *BSE*, Fakten und derzeitigen Wissensstand vorzustellen, Widersprüchliches, Irrtümer und Unerforschtes aufzuzeigen.

1 BSE – ähnliche Erkrankungen

Wir haben gehört, die BSE war vor 1985 unbekannt – sie ist also kaum mehr als 10 Jahre alt. Gibt es ähnliche Erkrankungen – bei anderen Tieren oder gar beim Menschen? Antwort: ja! Die Sammelbezeichnung hierfür ist *Spongiforme Enzephalopathien, SE*. Hierzu gehören:

Bei Tieren:

- *Spongiforme Enzephalopathie der Schafe – OSE* (Abk. für Ovine Spongiforme Enzephalopathie); sie wird auch Scrapie, Gnuubberkrankheit, Traberkrankheit genannt und ist eine seit 1759 bekannte, chronisch verlaufende, degenerativ-vakuolisierende Erkrankung des ZNS. Diese Krankheit haben wir selbst kennengelernt, aus klinischer und pathomorphologischer Sicht bearbeitet und beschrieben (Hiepe et al., 1973)

- *Spongiforme Enzephalopathie der Rinder – BSE*
- *Spongiforme Enzephalopathie der Nerze – MSE*
- *Spongiforme Enzephalopathie der Katzen – FSE.*

Beim Menschen:

- *Creutzfeldt-Jakob-Krankheit der Menschen – CJK*
- *Kuru* – gebunden an mit Kannibalismus verbundene Rituale in Papua/Neuguinea
- *Gerstmann-Sträussler-Scheinker-Syndrom – GSS*
- *Tödliche familiäre Schlaflosigkeit (Fatal Familial Insomnia) – FFI.*

Typisch für alle Spongiformen Enzephalopathien ist, medizinisch ausgedrückt, eine degenerativ-vakuolisierende Erkrankung des ZNS ohne entzündliche Reaktionen.

Die histologische Gehirnuntersuchung weist das Bild einer schwammigen Degeneration der Nervenzellen aus: beidseitige (bilaterale), symmetrische, degenerative Veränderungen in verschiedenen Gehirnabschnitten mit Bildung sogenannter spongiformer (schwammiger) Veränderungen; schließlich entstehen Vakuolen (Abb. 1-3).

Die Leistungsfähigkeit des Gehirns/ZNS wird durch diese Veränderungen in zunehmendem Maße beeinträchtigt. Die Erscheinungsbilder Erkrankter sind geprägt durch Störungen von Sensorium, Sensibilität, Motilität und Reflexerregbarkeit. Die Spongiformen Enzephalopathien enden durchweg nach längerer Krankheitsdauer letal, d. h. tödlich.

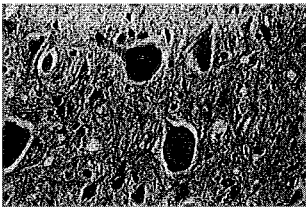


Abb. 1
Gehirn – histol. Schnitt
ohne Veränderungen

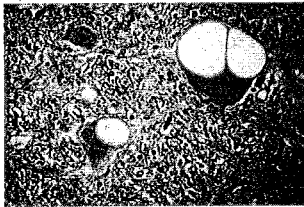


Abb. 2
Gehirn – histol. Schnitt
BSE (Vakuolisierung)

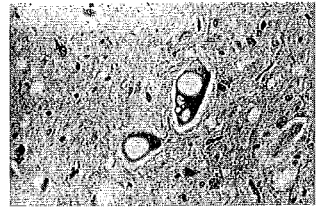


Abb. 3
Gehirn – histol. Schnitt
OSE (Vakuolisierung)

Ein Kurzkomentar zu den Spongiformen Enzephalopathien beim Menschen:

– *Kuru (lachender Tod!)*

lokalisiert auf Fore-Sprachen-Stämme im östlichen Hochland von Papua-Neuguinea; bis 1 % der Bevölkerung war betroffen. Verbreitung geschah über rituellen Kannibalismus (Verzehr von Gehirnschubstanz; dies war üblich bis 1958); seit 1975 sind „nur noch“ 2.600 Fälle bekannt.

Hauptsymptome: cerebelläre Ataxie, Myoklonie, Tremor; später Demenz; letaler Ausgang nach 3-12 Monaten Krankheitsdauer.

– *Gerstmann-Sträussler-Scheinker-Syndrom (GSS)*

1936 entdeckt, hereditär-familiäre Krankheit des ZNS; sehr selten, betroffen sind etwa 50 Verwandtschaftskreise. Störungen der Bewegungskoordination (Ataxien), oft begleitet von Nystagmus (Augenzittern), gefolgt von Geistesschwäche. GGS beginnt meist in der Lebensmitte, verläuft nach 2-6 Jahren Krankheitsdauer durchweg tödlich. Vermutlich liegt eine ererbte Mutation im PrP-Gen vor.

– *Tödliche familiäre Insomnie (FFI)*

Schlafstörungen, Störungen des vegetativen Nervensystems, Schlaflosigkeit verbunden mit Störungen des motorischen Systems sowie Myoklonien, Tremor, Ataxie prägen das Krankheitsbild. Intellekt kaum beeinflusst. Die FFI endet tödlich nach etwa einem Jahr Krankheitsdauer. Betroffen sind vor allem mittleres und höheres Lebensalter. Dieses Krankheitsbild ist bisher in 9 Verwandtschaftskreisen bekannt; auch hier wird eine ererbte Mutation im PrP-Gen vermutet.

– *Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (CJK)*

tritt weltweit, aber durchweg vereinzelt auf; die Inzidenz liegt etwa 1:1 Mio. Die CJK ist eine ZNS-Erkrankung des fortgeschrittenen Alters; betroffen sind fast ausschließlich Menschen über 60 Jahre; äußert sich in Bewegungsstörungen (Ataxie, v. a. Myoklonien) und zunehmender Demenz, endet meist nach einem Jahr (1 Monat – 10 Jahre) tödlich. 1996 wurde erstmals eine im niedrigen Lebensalter (durchschnittlich 28 Jahre) auftretende, zuerst in Großbritannien beobachtete neue Form der CJK beschrieben.

Diagnostik: Histologische Untersuchung, Hirn-Biopsie oder Nekropsie, EEG ergibt solide Aussage.

Therapie: unheilbar, keine spezifische Therapie, aber Amantadin kann Verlangsamung des Krankheitsgeschehens bewirken.

Diese Creutzfeldt-Jakob-Krankheit konnte experimentell auf das Rind (und andere Tiere) rückübertragen werden. Sie wird in Zusammenhang mit der BSE gebracht.

2 BSE-Krankheitsgeschehen – Tierseuche – Fakten –

– BSE-Videofilm – Kurzkomentar

Offizieller Film des britischen Landwirtschaftsministeriums; 1988 erstellt. Fünf Fälle werden vorgeführt. Die Dokumentation weist aus: vorrangig zentralnervös bedingte Störungen der Bewegungsabläufe.

Kommentar: Die BSE hätte einen technisch einwandfreien und wissenschaftlich aussagekräftigeren Film verdient.

– BSE-Krankheitsbilder

Es besteht eine Symptomen-Vielfalt unter dem Bild zentralnervöser Störungen (Beeinträchtigung von Sensorium, Sensibilität, Motilität, Reflexerregbarkeit). Störungen von

- Motilität (Bewegungsabläufe) stehen im Vordergrund
- Sensorium hingegen nicht so prägend – reichen von Somnolenz (Schläfrigkeit) bis Übererregbarkeit
- Sensibilität für den Tierarzt diagnostisch verwertbar
- Reflexerregbarkeit mit zunehmender Dauer stärker ausgeprägt!

Wichtung: Nur erwachsene Rinder sind betroffen, BSE endet stets tödlich! Wandlungen im Erscheinungsbild der BSE sind zu erwarten.

– Die Ansteckungsquelle(n) – Epidemiologische Kurzbetrachtung

Der *Krankheitserreger* wird über die Nahrung aufgenommen; wir nennen dies oral-alimentäre Infektion. Das erregerkontaminierte Futtermittel ist Tiermehl (nachgewiesen!), das in Großbritannien aus verendeten Tierkörpern und aus Schlachtabfällen gewonnen wurde.

In Deutschland schreibt die Tierkörperbeseitigungsverordnung vor: Nach Zerkleinerung der Tierkörperbestandteile in Stücke von kleiner als 5 cm *Dekontamination durch 133 °C über 20 Min. bei einem Druck von 3 bar*; das überleben Infektionserreger (Insekten/Milben/Zecken, Würmer, Pilze, eukaryotische Einzeller, Bakterien, Viren, Prionen) nicht! Dieses Verfahren ist allerdings relativ kosten- und energieaufwendig!

In Großbritannien hat man seit Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre aus „produktionstechnischen“ Zwängen (klarer ausgedrückt: aus Gewinngründen) die Herstellungsverfahren vereinfacht (80 °C, Fettextraktion!) – nicht in allen, aber in vielen Betrieben. Die oral-alimentäre Infektionsquelle war seit 1987 bekannt; sie wurde zunächst ignoriert. Die Politiker setzten erst im Juli 1988 ein Fütterungsverbot von Tiermehl an Wiederkäuer, das von Wiederkäuern stammte, durch. Aber produziert wird es noch bis zum heutigen Tag; erst für 1997 wird endgültig

Wirt	Oral ^{*)}	Parenteral ^{*)}
Maus	15	9,7
Rind	35	18
Schaf	18	14
Ziege	31	17
Schwein	nna	16
Pinseläffchen		46
Nerz	14	12
Hamster		kÜ
Huhn	nna	nna

^{*)} Mindestinkubationszeit in Monaten

nna: noch nicht abgeschlossen
kÜ: keine Übertragung

Abb. 4
Experimentelle BSE – Wirtstierarten

nach der „deutschen Technologie“ verfahren. (Das „englische Tierkörpermehl“ wurde u. a. nach Holland, Frankreich sowie in außereuropäische Länder exportiert; siehe auch Spiegel special 1/1997).

Wo sitzt das Erregerreservoir? Im Scrapie-befallenen Schaf – vordergründig. Wie kommt der Krankheitserreger in das Tiermehl? Indem Tierkörpermehl von Schafen – ob verendet, krank oder notgeschlachtet – hergestellt wird. OSE ist endemisch auf der britischen Insel und eben seit 1759 bekannt. Wie infizieren sich Schafe? Vor allem auf der Weide in der Geburtsperiode durch Aufnahme von Secundinae (Nachgeburten).

Auf Abb. 4, die experimentell bezeugt ist, können Sie weiterhin ersehen, daß dieses infektiöse Agens auf eine Reihe von Säugetierarten übertragbar ist; epidemiologisch ausgedrückt: es kursiert in den Nahrungsketten (z. B. Karnivoren/Katze – Maus) (Abb. 5).

Abb. 6 zeigt die erregerbetroffenen Organe: Gehirn, Rückenmark, Retina, auch Innereien. Hier nicht aufgeführt sind Secundinae (Nachgeburt/Eihäute).

Ein möglicher zweiter Infektionsweg ist der vom Muttertier auf das ungeborene Kalb (maternaler, vertikaler Infektionsweg, *diaplacental*); dies gilt als gesichert auf der Basis von Indizien, nicht aber tierexperimentell.

Möglicherweise gibt es weitere Infektionswege – wir wissen es noch nicht.

– BSE-Krankheitserreger

Prion, Viron oder Virus? – das ist die Frage. Antwort: Wir kennen derzeit den Erreger nicht! Bezüglich der Kausalagentien gibt es zwar Hypothesen, aber die

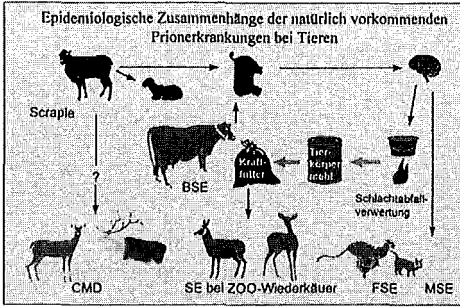


Abb. 5

Spongiforme Encephalopathien – Beziehungen zwischen Tierarten

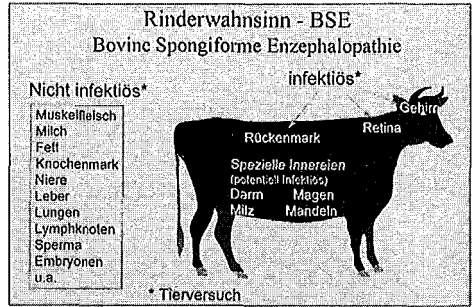


Abb. 6

BSE – infektiöse Organe

definitive wissenschaftliche Beweisführung steht gegenwärtig aus (Abb. 7). Den Lehr- und Lehrbuchmeinungen zufolge dominieren – zumal aus molekularbiologischer Sicht – die Prionisten. Stanley P. Prusiner, Biochemiker und Neurologe, Professor in San Francisco an der California-Universität hat etwa 1980 die Behauptung aufgestellt, daß die Erreger der durchweg tödlich verlaufenden degenerativen Erkrankungen des ZNS bei Tieren und auch beim Menschen „womöglich aus nichts anderem als Protein bestünden“; er nannte diese infektiösen Protein-Partikel Prionen (Abb. 8). Bis dahin bestand die Auffassung und Lehrmeinung, daß Substanzen ohne genetisches Material, also ohne die Nucleinsäuren DNA oder RNA sich im befallenen Wirtsorganismus (Tiere/Mensch) *nicht* zu vermehren vermögen und daher eine Infektion nicht verursachen können. Wenig später

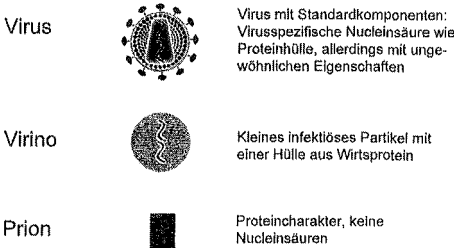


Abb. 7

Hypothesen über Art und Struktur des BSE-Agens

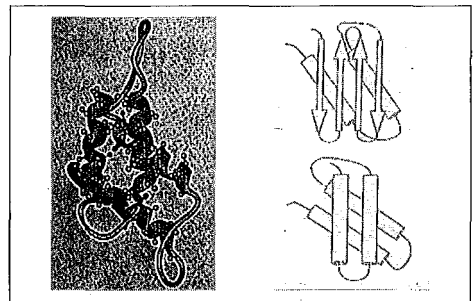


Abb. 8

Struktur des Prion-Proteins

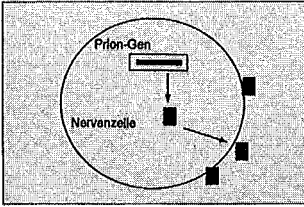


Abb. 9
Prion-Gen und
gesunde Zelle

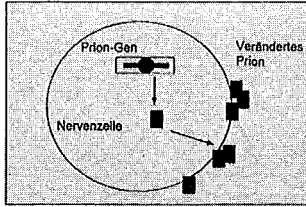


Abb. 10
Prion-Gen-Mutation

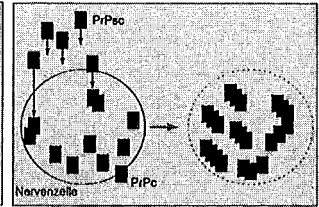


Abb. 11
Vermutlicher Ablauf der
Prion-Erkrankung

vertrat Prusiner die Auffassung, daß durch diese Prionen neben übertragbaren auch erblich bedingte Krankheiten ausgelöst werden, und drittens schließlich, daß diese Prionen ganz normale Proteinmoleküle veranlassen, ihre Gestalt, ihre Konformation, so zu verändern – es entsteht eine andere räumliche Faltung mit Hilfe eines Faltungshelfers(!) –, daß sie in geeigneten Zellen, den Neuronen oder Nervenzellen, störend, ja zerstörend wirken. Nach mitunter monate-, bis jahrelangem symptomlosen Verlauf entstehen dann diese schwammig-löcherigen Gehirnzelldegenerationen. Ausgangspunkt und Studienobjekt war zunächst die Scrapie (OSE) des Schafes. Dieses Prion-Protein, abgekürzt PrP, enthält „eine einzige Sorte“ Protein. Mit Hilfe eines genetischen Codes gelang es, molekulare Sonden zu konstruieren, mit denen das PrP-Gen aufspürbar ist; dies glückte Bruno Oesch. Die Forschergruppen – vor allem um dessen Lehrer Charles Weissmann in Zürich und um Ernst-Ludwig Winnacker in München – führen ernstzunehmende Arbeiten in dieser Richtung intensiv weiter.

Die Vertreter der Virstheorie, angeführt von einem Berliner – Prof. Heino Diring vom Robert-Koch-Institut, einem der besten Kenner des gesamten Themenkomplexes – bestreiten die Priontheorie. Heino Diring hält ein infektiöses Protein ohne Nukleinsäure, eben das Prion, für unfähig, degenerative ZNS-Erkrankungen wie Scrapie, BSE oder CJK auszulösen. Er vertritt die Meinung, daß das Prusinersche Experiment nicht haltbar ist, sondern ein bisher nicht entdeckter viraler Erreger der ursächliche Krankheitsauslöser ist, ein Virus, welches auf der Oberfläche der Nervenzellen eine Reaktion induziert; es wird von einem sogenannten sinc-Gen (Abkürzung für scrapie incubation, engl.) gesprochen. Neben der Virus-Hypothese gibt es noch das ähnliche, sogenannte Virino-Konzept.

Fazit: Die Ursache ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht definitiv geklärt. Das infektiöse Agens und die Vorgänge, die sich in den befallenen Nervenzellen abspielen, werden aber, so glaube ich, bald bis ins Detail aufgedeckt werden.

Aus der Sicht des Infektiologen ist es durchaus vorstellbar, daß mehrere Faktoren am Infektionsgeschehen beteiligt sind.

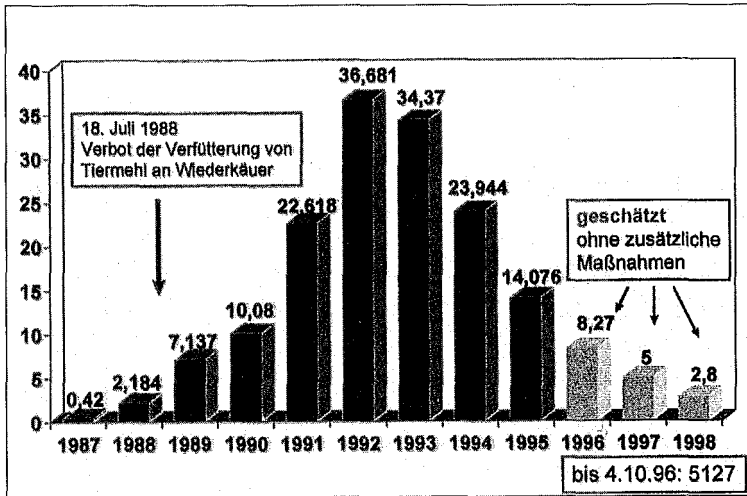


Abb. 12
BSE – Zeitlicher Ablauf in Großbritannien

Gestatten Sie mir schließlich den Hinweis auf die Auffassung des bekannten Berliner Gerichtsmediziners Prof. Otto Prokop aus genetisch-immunologischer Betrachtungsweise: er macht bezüglich BSE auf das sogenannte Steinberg-Speiser-Phänomen aufmerksam.

– BSE-Zeittafel

Umfang und Verlauf der BSE-Epidemie und antiepidemische Maßnahmen

Die BSE hat innerhalb weniger Jahre unvorstellbare Ausmaße erlangt. Die Situation in der Welt, in Großbritannien und detailliert in Deutschland sowie Voraussagen auf der Grundlage der sogenannten Oxford-Studien werden in Bilderbuchform (Dia-Serie [Abb. 12 und 13]) und Lesebuchform (BSE-Zeittafel [siehe S. 133]) vorgestellt.

– Nachweisverfahren

Es fehlt eine zuverlässige Intravitaldiagnostik, d. h. die sichere Nachweismöglichkeit Spongiformer Enzephalopathien am Lebenden – ob Rind, andere Tierarten, Mensch. Zur Klärung dieser Frage besteht vordringlicher Forschungsbedarf. Bei der OSE ist 1996 in den Niederlanden ein Verfahren entwickelt worden, mit welchem es möglich ist, den Infektionsstoff aus Rachenmandeln zu isolieren.

Great Britain	164.258
Northern Ireland	1.733
Isle of Man	408
Jersey	120
Guernsey	600
Alderney	2
Republic of Ireland	153
France	26
Portugal	58
Switzerland	228
Germany	4
Denmark	1
Italy	2
Canada	1
Oman	2
Falkland Islands	1

Rinderbestand in Deutschland (1996)
 insgesamt ca. 16 Mill.
 davon Milchkühe ca. 5 Mill.

Abb. 13
 BSE-Fälle (bis 31.10.1996) – weltweit

Zum Nachweis der BSE in Deutschland wird gegenwärtig folgender Weg beschritten (Abb. 14):

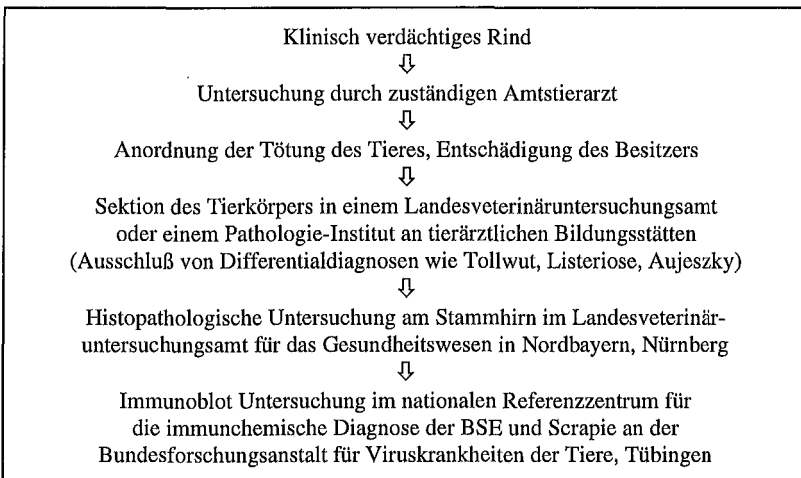


Abb. 14
 Vorgehensweise bei BSE-Verdacht

<p>Multidisziplinärer Wissenschaftlicher Ausschuß der Kommission zur Untersuchung von BSE</p> <p>⇒ Zeitliches und räumliches Zusammentreffen zwischen BSE und neuer CJD-Variante</p> <p>⇒ Ähnliche biochemische Struktur zwischen BSE-Prion und CJDv-Prion (Collinge et al., 1996)</p>	<p>⇒ Tilgung – Sterilisatio magna</p> <p>⇒ Schadensminderung – Erregerverdünnung</p> <p>⇒ Therapie – Heilung</p>
--	--

Abb. 15
Hinweise für Übertragbarkeit
BSE – CJK

Abb. 16
BSE-Bekämpfung,
mögliche Zielstellungen

– *BSE-Risiko für die einheimische Bevölkerung.*

Liegt eine Zoonose vor – ja oder nein? Antwort: Die BSE ist – nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse, insbesondere aufgrund der beobachteten neuen Form der CJK (siehe auch Zeittafel sowie Abb. 15) – als eine *potentielle Zoonose* einzuordnen. Die definitive Beantwortung dieser Frage steht jedoch aus.

– *BSE-Bekämpfung*

Bisher ist eine Bekämpfungsstrategie mit klarer Zielstellung ausgeblieben. Prinzipiell gibt es drei Möglichkeiten, eine Tierseuche systematisch zu bekämpfen: Tilgung, Schadensminderung durch Erregerverdünnung oder Heilung (Abb. 16). Der Weg über die Heilung erkrankter Tiere ist derzeit nicht gehbar. Es gibt keine spezifisch gegen den Erreger gerichteten Medikamente. Eine gezielte Suche nach derartigen Wirkstoffen ist nicht möglich, solange das kausale Agens nicht aufgedeckt worden ist und zudem eine zuverlässige Intravitaldiagnostik fehlt. Eine Tilgung der BSE wäre nach Auftreten der ersten Krankheitsfälle in Großbritannien möglich gewesen. Um so mehr, weil die Hauptinfektionsquelle – nicht den Vorschriften entsprechend hergestelltes Tiermehl sowie Zusammenhang mit der OSE – frühzeitig erkannt worden ist und erfahrungsgemäß unter Inselbedingungen einer Tierseuche natürliche Grenzen gesetzt sind. Dies hätte bedeutet, daß über einen überschaubar kurzen Zeitraum der Export von Rindern sowie Rindfleisch und vom Rind stammender Produkte inkl. Tiermehl eingestellt wird. Das aber ist ausgeblieben und bewußt oder unbewußt umgangen worden. Gegenwärtig kann die Bekämpfungsstrategie unter den Bedingungen der britischen Insel nur auf Erregerverdünnung ausgerichtet sein mit dem Ziel, eine überschaubar niedrige BSE-Inzidenz zu erzielen; eine Ausfuhr von Rindern und infektionsgefährdeten Materialien, die vom Rind stammen, ist nicht tragbar. Die weitere Entwicklung der BSE ist aus der Oxfordstudie ablesbar (Abb. 17).

- ⇒ BSE-Erkrankungen bereits bei 1977 geborenen Rindern
- ⇒ Hauptursache: Verfütterung infizierter Futtermittel
- ⇒ Wichtigster Faktor: Verarbeitung infizierter Rindersubstanzen
- ⇒ Infektion bei den meisten Tieren im Kälberalter
- ⇒ Mittlere Inkubationszeit: 5 Jahre
- ⇒ BSE-Infektionen nach 1994 beruhen v. a. auf maternaler Übertragung
- ⇒ Im Verlauf der Epidemie infizierten sich vermutlich 900.000 Rinder mit dem BSE-Erreger
- ⇒ Zwischen 1997 und 2001 ist noch mit ca. 6.950 BSE-Fälle zu rechnen

Oxford-Studie. Anderson et al., 1996, Nature 382

Abb. 17
Zukünftige Entwicklung der BSE in Großbritannien
– Voraussage –

Deutschland ist gegenwärtig BSE-frei: die bisher nachgewiesenen vier Fälle stammten ausschließlich von der Britischen Insel. Das Ziel für Deutschland und alle anderen Länder (außer Großbritannien) heißt Tilgung bzw. Freisein von BSE. Es ist deshalb zu fordern, unverzüglich sämtliche Rinder, die aus Großbritannien importiert wurden, zu töten – nach dem Prinzip des stamping out. Dies dürfte etwa 3.200–5.000 Rinder betreffen. Die inzwischen in Deutschland geborenen Rinder der F1- und F2-Generation sind wegen Gefahr der maternalen Übertragbarkeit ständig zu überwachen und bei BSE-Verdacht in das vorerwähnte Verfahren einzubeziehen.¹ Diese Maßnahmen beruhen auf tierseuchengesetzlichen Weisungen: Tierseuchengesetz in der Fassung vom 22. Februar 1991 und EU-Richtlinie 90/667/EWG vom 27. November 1990 u. a.

Das Fazit ist: BSE-Erreger zirkulieren zwar in der Nahrungskette, jedoch lokal und zeitlich auf die britische Insel begrenzt. Eine Gefahr für die einheimische Bevölkerung durch Verzehr von Rindfleisch und -produkten, die aus deutschen bzw. anerkannt BSE-freien Rinderhaltungen stammen, bestünde somit nicht mehr.

¹ Auf diese Weise konnte aufgrund eigener Erfahrungen die OSE, die 1972 in der DDR aufgetreten ist und nachweisbar auf Zuchtschaftimporten beruhte, unmittelbar nach Erstausbruch getilgt werden.

3 BSE im Blickpunkt der Öffentlichkeit

– Politik und Wirtschaft

Hierzu nur einige kurze Bemerkungen. Die Politik reagierte – insgesamt eingeschätzt – viel zu spät, die Wirtschaft sehr heterogen, fast immer marktwirtschaftlich-gewinnbezogen! Als positives Beispiel sei die „Große Anfrage“ (3/1996) im Bundestag erwähnt. Hier wurden 151 Fragen mit hoher Sachkenntnis beantwortet und m. E. wichtige Schlußfolgerungen gezogen.

– Medien

Die Berichte in den Medien tragen kampagneartigen Charakter. Das Bemühen, die BSE mit all ihren weitreichend-nachteiligen Folgeerscheinungen darzustellen, ist unverkennbar und aner kennenswert; Widersprüche in der Berichterstattung bestehen jedoch auf allen Ebenen. Die Überschriften der Artikel und Sendungen (Abb. 18 und 19) laden ein, Emotionen zu entladen. Andererseits bleiben kompetente, solide Aussagen der Wissenschaft oftmals unbeachtet: Der Leopoldina-Podiumsdiskussion im Expertenkreis am 11. Mai 1996 folgte eine wissenschaftlich fundamentierte Pressemitteilung an 36 Tageszeitungen sowie zentrale Agenturen; eine Reaktion blieb jedoch aus.

– Wissenschaft

Eine *klare Forschungs-Konzeption* zur BSE ist nicht zu vermelden. Das ändert nichts an der Tatsache, daß beachtliche Einzelleistungen erbracht worden sind.

Die *europaweite Koordinierung* der Forschung, wie sie in der Deklaration der Experten (Leopoldina-Podiums-Session vom 11. Mai 1996) erstmals gefordert wurde, ist dringend geboten; sie wird für unerläßlich erachtet. Hauptziele sind *Determinierung der Krankheitserreger*, Entwicklung einer zuverlässigen *Intravital-Diagnostik*, Aufdeckung der *epidemiologischen Zusammenhänge* sowie der möglichen *Risiken für die Bevölkerung* und schließlich die Erarbeitung einer wissenschaftlich begründeten *Bekämpfungsstrategie*. Hierzu sind sämtliche methodisch ausgewiesenen Fachrichtungen (z. B. Molekulare Genetik, Biochemie; Pathomorphologie, Klinik, Ernährungs- und Lebensmittelforschung, Seuchen-/Tierseuchenbekämpfung inkl. gesetzliche Grundlagen) einzubeziehen.

Die bisherige BSE-Forschung, aus meiner Sicht, ist ein Beispiel für unzulängliches Vorgehen und kritikwürdig.

„Vielleicht sind wir erst am Anfang“

1 Kerner ist dem Modell der beiden CJD-Formen (Coe 1) ein von BSE und versch. andere von seinem Doktor

SPINKE: Herr Professor, Wissenschaftler haben behauptet, daß Sie sich nicht für BSE interessieren, sondern für die Krankheit des Menschen, die als Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit bezeichnet wird. Wie ist Ihre Haltung zu dieser Behauptung?

Kerner: Ich habe mich nicht für die Krankheit des Menschen, sondern für die Krankheit des Tieres interessiert. Ich bin ein Tierarzt, nicht ein Neurologe. Ich habe mich für die Krankheit des Menschen interessiert, weil ich mich für die Krankheit des Tieres interessiert habe. Ich habe mich für die Krankheit des Menschen interessiert, weil ich mich für die Krankheit des Tieres interessiert habe.



Christian Kerner, Tierarzt, ist der führende Experte für die Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit.

Der Tod aus der Türe

Veränderung des Todes

Der Tod ist ein Ereignis, das uns alle betrifft. Er ist ein Ereignis, das uns alle betrifft. Er ist ein Ereignis, das uns alle betrifft. Er ist ein Ereignis, das uns alle betrifft. Er ist ein Ereignis, das uns alle betrifft. Er ist ein Ereignis, das uns alle betrifft.

Charles Weissmann
 ist Leiter einer britischen Forschungsgruppe, die die DNA von BSE-Erkrankten untersucht. Die DNA von BSE-Erkrankten untersuchen, die DNA von BSE-Erkrankten untersuchen, die DNA von BSE-Erkrankten untersuchen, die DNA von BSE-Erkrankten untersuchen, die DNA von BSE-Erkrankten untersuchen.

Wiederholung, BSE-Erkrankter Rinder
 Die BSE-Erkrankten Rinder sind ein Problem, das uns alle betrifft. Sie sind ein Problem, das uns alle betrifft. Sie sind ein Problem, das uns alle betrifft. Sie sind ein Problem, das uns alle betrifft. Sie sind ein Problem, das uns alle betrifft.

Frühtest für Scrapie

Scrapie ist eine tödliche Infektionskrankheit, die bei Schaf und Ziegen vorkommt. Sie ist eine tödliche Infektionskrankheit, die bei Schaf und Ziegen vorkommt. Sie ist eine tödliche Infektionskrankheit, die bei Schaf und Ziegen vorkommt.

Frühtest für Scrapie

Scrapie ist eine tödliche Infektionskrankheit, die bei Schaf und Ziegen vorkommt. Sie ist eine tödliche Infektionskrankheit, die bei Schaf und Ziegen vorkommt. Sie ist eine tödliche Infektionskrankheit, die bei Schaf und Ziegen vorkommt.

RINDERWAHNSINN

„Schwierig, etwas Sinnvolles zu sagen“

Expertenstimme um die Folgen des Rinderwahnsinns: Die Gutachter der renommierten Fachzeitschrift „The Lancet“ haben offenbar Zweifel an einer Studie zur Creutzfeldt-Jacob-Krankheit (CJD), deren Ergebnisse wenige Wochen bekannt wurden. „Wir haben nicht vor, die Studie in nächster Zeit zu veröffentlichen“, erklärte „Lancet“ gegenüber der deutschen „Arzt-Zeitung“.

Verdacht auf neuen BSE-Fall

Düsseldorf. Reuter in Deutschland gibt es möglicherweise einen neuen Fall von Rinderwahnsinn. Das nordrhein-westfälische Landwirtschaftsministerium teilte am Sonnabend mit, ein im Kreis Hörter verendetes Rind stehe im Verdacht, an der Seuche BSE, erkrankt zu sein. Erste Untersuchungen des Gehirns hätten alle für BSE typischen Veränderungen gezeigt. Das Ergebnis weiterer Untersuchungen werde für Mitte der Woche erwartet.

Hühner-BSE auf wackligen Beinen

Für die Aussage, daß Geflügel an Rinderwahnsinn erkranken kann, fehlen Beysweise.



Abb. 18/19 BSE – aus Sicht der Zeitungen

III

*1 Wachstum der Erdbevölkerung/Verdichtung der Nahrungsketten
– ein Kurzkomentar –*

Jeder sollte es wissen: Mit der rapide wachsenden Weltbevölkerung² (Abb. 20) verdichten sich die Nahrungsketten; die Nutztierbestände werden zwangsläufig größer. Hohe Wirtspopulationen werden gefolgt von unvorstellbar hohen Erregerpopulationen – würde nicht regulierend eingegriffen werden. Eine Fülle neuer Probleme tut sich auf. Quantität und Qualität der Lebensmittel sind zu sichern (Großklaus et al., 1997). Dies ist eine elementare Lebensaufgabe, die es zu lösen gilt. Der Wissenschaft fällt hierbei eine vorrangige Aufgabe zu.

≈ Zeitenwende (0)	≈ ¼	Milliarde
≈ 1600	≈ ½	Milliarde
≈ 1830	≈ 1	Milliarde
≈ 1930	≈ 2	Milliarden
1974	≈ 4	Milliarden
1987	≈ 5	Milliarden
<hr/>		
2000	≈ 6	Milliarden
(2025)	≈ 10-12	Milliarden?)
<hr/>		
Gegenwärtig 70-80 Millionen Menschen/Jahr Zuwachs		

Abb. 20
Entwicklung der Weltbevölkerung

*2 Aufgaben der Wissenschaft und Forschung zwecks Vorbeuge von
Störungen und Havarien in den Nahrungsketten*

Unser Wissen über die nosogenen Faktoren und deren korrelative Verknüpfung in den Biozöosen, insbesondere den Nahrungsketten, ist derzeit unvertretbar lückenhaft.

Bei unverhofft auftretenden Havarien – wie diese Rinderkrankheit BSE – erwachsen der Wissenschaft eine Fülle von Aufgaben. Bereits vor zehn Jahren wäre

² Anmerkung des Autors: Als ich geboren wurde (1929) lag die Weltbevölkerung schätzungsweise unter der 2-Milliardengrenze, derzeit beträgt sie nahezu 6 Milliarden.

es möglich und notwendig gewesen, den gesamten SE-Komplex zu analysieren und das bis dahin bekannte, wissenschaftlich fundamentierte Wissen auf diesem Gebiet in der Praxis zu nutzen und gleichzeitig die bestehenden Wissenslücken in einer *international koordinierten Forschung* zügig zu schließen, d. h. auf der Grundlage einer Forschungskonzeption. Bezüglich SE- bzw. BSE-Komplex bedeutet das vorrangig

- Determinierung kausaler Agentien
- Entwicklung einer zuverlässigen intravitalem Diagnostik
- Aufdeckung bisher ungeklärter epidemiologischer Fragen
- Erarbeitung einer wissenschaftlich fundamentierten, praktikablen Bekämpfungsstrategie.

Dieses alles vorbehaltlos im Dienste des Allgemeinwohles. Um dieses Ziel zu erreichen, erscheint mir allerdings eine Voraussetzung unerlässlich: in vernetzten Systemen naturwissenschaftlich-sozial zu denken und zu handeln.

Dank für Beratung und Unterstützung

Für die vielseitige, uneigennützig Beratung und Unterstützung in der Vorbereitungsphase fühle ich mich insbesondere nachfolgend aufgeführten Forschern und Kollegen zu großem Dank verpflichtet:

- Prof. Dr. V. Bergmann, Berlin – FU
- Prof. Dr. M. Gareis, Kulmbach – BAF
- Prof. Dr. H. Diringer, Berlin – RKI
- Prof. Dr. Dr. h. c. mult. D. Großklaus, Berlin – TU/Brüssel – EU
- Prof. Dr. F. Hiepe, Berlin – HU
- Dr. W. Miels, Berlin – BgVV
- Prof. Dr. Dr. h. c. mult. O. Prokop, Berlin – HU
- Prof. Dr. R. Staufenberg, Berlin – FU
- Prof. Dr. F. Theuring, Berlin –HU
- Prof. Dr. Dr. h. c. M. Truszczynski, Warschau/Paris – Int. TSA

Für die Hilfe bei der Demonstration des Videofilmes und der Abbildungen danke ich herzlich Frau Roßberg und Herrn Bohl, BBAW.

Literatur

- Aguzzi, A. & Ch. Weismann (1996): SPONGIFORM ENCEPHALOPATHIES. A suspicious signature. In: *Nature*, 383, S. 666-667.
- Bradley, R. & J. W. Wilesmith (1993): Epidemiology and control of bovine spongiform Encephalopathy. In: *Br. Med. Bull.*, 49, S. 932-959.
- Collinge, J., Palmer, M. S. & K. C. L. Sidle (1995): Unaltered susceptibility to BSE in transgenic mice expressing human PrP. In: *Nature*, 378, S. 779-783.
- Collinge, J., Sidle, K. C. L., Meads, J., Ironside, J. & A. F. Hill (1996): Molecular analyses of prion strain variation and the aetiology of „new variant“ CJD. In: *Nature*, 383, S. 685-690.
- David, H. (Hg.; 1992): Wörterbuch der Medizin (begründet von M. Zetkin und H. Schalldach), 15. Aufl., Berlin: Verlag Ullstein Mosby.
- Diringer, H. (1995): Proposed link between transmissible spongiform encephalopathies of man and animals. In: *The Lancet*, 346, Nr. 8984, S. 1208-1210.
- Gareis, M. (1996): BSE-Probleme und Hintergründe. Vortrag: Wiss. Fortb., Dtsch. Kassenarztverband am 28.11.1996, Berlin.
- Großklaus, D., Bollwahn, W., Hiepe, Th. & H. Prange (1997): Lebensmittelsicherheit durch Gesundheits- und Umweltschutz im Tierbestand. In: *Fleischwirtschaft*, 77, S. 189.
- Hiepe, Th. (1958): Die Bornasche Krankheit. Habil.-Schrift, Leipzig.
- Hiepe, Th. (Hg.; 1996): Spongiforme Enzephalopathien bei Tieren unter besonderer Berücksichtigung der BSE. Leopoldina Podiumsdiskussion. In: *Nova Acta Leopoldina*, 75, NF Nr. 298.
- Hiepe, Th. (1996): Systematic control of parasites – A scientific approach. Lead Paper. Eight National Congress of Veterinary and National Symposium on Molecular Parasitology. „Parasitic disease – new horizons“, 1996. CCS Haryana Agricultural University, Hisar/India.
- Hiepe, Th., Bergmann, V. & R. Jungmann (1973): Beitrag zur klinischen und pathomorphologischen Diagnostik der Traberkrankheit des Schafes. In: *Mh. VetMed.*, 28, S. 905-907.
- Hofmann, W. (1992): Rinderkrankheiten Bd. 1. Innere und chirurgische Erkrankungen, Stuttgart: Verlag E. Ulmer.
- Kimberlin, R. H. & J. W. Wilesmith (1994): Bovine spongiform encephalopathy. Epidemiology, Low dose exposure and risks. In: *Ann. NY Acad. Sci.*, 724, S. 210-220.
- Nienhaus, A. (1997): Überlegungen nach „Cindy“ – Was rettet die deutsche Fleischwirtschaft. In: *Fleischwirtschaft*, 77, S. 191.
- Prokop, O. (1996): Persönl. Mitteilung.
- Prusiner, S. B. (1994): Biology and genetics of prion diseases. In: *Annu. Rev. Microbiol.*, 48, S. 655-686.
- Rist, Ch. E. & J. O. Nielsen (1996): Mad Cow Disease and Creutzfeldt-Jakob-Disease – is there a link? In: *Scand. J. Infect. Dis.*, 28, S. 231-234.

- Schnyder, H. & A. Aguzzi (1995): Creutzfeldt-Jakob-disease. In: Schweiz. Med. Wochenschr., 125, S. 802-809.
- Schön, W. (1996): Tierkörperbeseitigung nach BSE. In: Veto, 42, S. 7-10.
- Schulz, M. (1997): Die Kotelett-Mafia II. Der Tod aus der Tüte. In: Spiegel special, 1/1997, S. 117-118.
- Straub, O. C. (1996): Creutzfeldt-Jakob-Krankheit und BSE. In: Tierärztl. Umschau, 51, S. 314-318.
- Taylor, D. M., Woodgate, S. L. & M. J. Atkinson (1995): Inactivation of the bovine spongiform encephalopathy agent by rendering procedures. In: Vet. Rec., 137, S. 605-610.
- Vollmer, G. (1987): Evolutionäre Erkenntnistheorie. Stuttgart: S. Hirzel-Verlag, 4. Aufl.
- Wiesner & Ribbeck (Hg.; 1992): Wörterbuch der Veterinärmedizin, Jena/Stuttgart: Gustav Fischer-Verlag.
- Wilesmith, J. W. (1994): An epidemiologist's view of bovine spongiform encephalopathy. In: Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci., 343 (1306), S. 357-361.
- Wilesmith, J. W., Inouye, H. & M. A. Baldwin (1995): X-ray diffraction of scrapie prion rods and PrP peptides. In: J. Mol. Biol., 252, S. 412-422.
- Will, R. G., Ironside, J. W. & M. Zeidler (1996): A new variant of Creutzfeldt-Jakob-disease in the UK. In: Lancet, 347, S. 921-925.
- (1991): Verordnung über anzeigepflichtige Tierseuchen vom 23.5.1991 (BGBl. I S. 1178).
- Richtlinie 92/117/EWG des Rates vom 17. Dezember 1992 über Maßnahmen zum Schutz gegen bestimmte Zoonosen bzw. ihre Erreger bei Tieren und Erzeugnissen tierischen Ursprungs zur Verhütung lebensmittelbedingter Infektionen und Vergiftungen (ABl. EG Nr. L 62 S. 38).
- (1995): Workshop BSE (Bovine Spongiforme Enzephalopathie). Werkstattbericht der Stockmeyer Stiftung für Lebensmittelforschung am 1. Dezember 1995 in Versmold; brosch.
- (1996): Gesundheitliche Gefahren durch Rinderwahnsinn (BSE). Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der Abgeordneten Klaus Kirschner, Antje-Marie Steen, Ingrid Becker-Inglau, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der SPD – Deutscher Bundestag 13. Wahlperiode, Drucksache 13/4436 vom 23.4.1996 13/1972 –.
- (1996): Report of a WHO Consultation on Clinical and Neuropathological Characteristics of the New Variant of CJD and other Human and Animal Transmissible Spongiform Encephalopathies. Geneva, Switzerland, 14 to 16 May 1996.
- (1996): Bovine Spongiforme Enzephalopathie. Chronologie. In: Dtsch. Tierärztebl., 44, S. 422-425.

*Bovine Spongiforme Enzephalopathie – BSE-Zeittafel**

-
- 1985 In Großbritannien werden vereinzelte Fälle einer bisher unbekannteren Rindererkrankung beobachtet, die mit zentralnervösen Störungen einhergeht.
- 11/1986 Die Fälle werden als eigenständige Krankheit eingeordnet und als Bovine Spongiforme Enzephalopathie den transmissiblen spongiformen Enzephalopathien (TSE) zugeordnet. Die BSE tritt zunächst v. a. in Milchviehherden im Süden Englands auf und breitet sich dann über ganz Großbritannien aus. Es erkranken Rinder im Alter zwischen 2 und 12 Jahren. Symptome sind Verhaltensveränderungen und Bewegungsstörungen, die zum plötzlichen Niederstürzen führen können. Nach einer Krankheitsdauer von mehreren Wochen bis zu 6 Monaten kommt es zum Festliegen der Rinder. Die Krankheit endet stets tödlich, die Diagnose kann nur postmortal abgesichert werden.
- 6/1988 In Großbritannien wird Anzeigepflicht für BSE eingeführt.
- 7/1988 In Großbritannien wird die Verfütterung von Tiermehlen aus Wiederkäuern an Wiederkäuer verboten.
- 8/1988 In Großbritannien wird damit begonnen, BSE-verdächtige Rinder zu töten und durch Verbrennung unschädlich zu beseitigen.
- 2/1989 Im „Southwood-Report“ faßt eine unabhängige wissenschaftliche Kommission in Großbritannien ihre Einschätzung für eine mögliche Gefährdung des Menschen folgendermaßen zusammen: „Nach heutiger Erkenntnislage ... wird BSE für die menschliche Gesundheit keine Folgen haben. Dennoch, sollten unsere Abschätzungen dieser Wahrscheinlichkeiten falsch sein, wären die Folgen äußerst ernsthaft.“
- 5/1989 In Deutschland werden nach einer Übereinkunft der Tierseuchenreferenten von Bund und Ländern Importe von Tiermehlen aus Großbritannien nicht mehr genehmigt.
- 7/1989 EU erläßt Exportverbot für lebende Rinder aus Großbritannien, die vor 1988 geboren sind oder von Rindern stammen, die unter BSE-Verdacht stehen, in die anderen EU-Mitgliedstaaten.
- 11/1989 In Großbritannien wird verboten, spezifizierte Rinderinnereien (Specified Bovine Offals, BSO: Gehirn, Rückenmark, Tonsillen, Thymus, Milz, Därme) von über 6 Monate alten Tieren für die menschliche Ernährung zu verwenden.

*) DTÄBl. 5/1996; modif. und ergänzt – Th. Hiepe, 1997

- 2/1990 In Großbritannien werden die Entschädigungszahlungen für Rinder, die wegen bestätigten BSE-Verdacht geschlachtet wurden, angehoben.
- 3/1990 Die EU nimmt lebende Kälber unter 6 Monaten vom Exportverbot aus. Sie müssen gekennzeichnet und vor Ablauf des 6. Lebensmonats geschlachtet werden.
- 4/1990 BSE wird EU-weit meldepflichtig. Das Verbringen von BSO und bestimmten anderen Rindergeweben aus Großbritannien in andere EU-Mitgliedstaaten wird verboten. Das Verbot betrifft sowohl ihre mögliche Verwendung für den menschlichen Verzehr wie zu anderen Zwecken (z. B. pharmazeutische Industrie, Heimtierhaltung).
- 6/1990 Nach den neuen Bestimmungen der EU dürfen aus Großbritannien in andere EU-Mitgliedstaaten nur importiert werden: Kälber (unter 6 Monaten, die gekennzeichnet sind und vor dem 6. Lebensmonat geschlachtet werden), Fleisch mit Knochen (wenn es aus Herden stammt, in denen seit zwei Jahren keine BSE aufgetreten ist) und Fleisch ohne Knochen und sichtbares Nerven- und Lymphgewebe (wenn es aus Herden stammt, in denen BSE aufgetreten ist).
- 12/1990 In Großbritannien erkrankten neben einigen Zootieren (Antilopen, Großkatzen) die ersten Hauskatzen an TSE, insgesamt werden 60 Fälle bekannt.
- 1992 In Schleswig-Holstein verendet ein aus Großbritannien importiertes Rind an BSE. Die Diagnose ist erst Ende 1994 nach Abschluß des notwendigen Tierversuchs gesichert. (Bis 1994 treten insgesamt vier BSE-Fälle in Deutschland auf, bei allen handelt es sich um aus Großbritannien importierte Rinder. Kein einziger BSE-Fall ist bisher (12/96) bei einem in Deutschland geborenen Rind aufgetreten.)
- Winter 1992/93 Mit etwa 4.000 Neuerkrankungen je Monat ist in Großbritannien nach einem kontinuierlichen Anstieg in den vergangenen Jahren der Höhepunkt der Epidemie erreicht.
- 10/1993 In Großbritannien sind *seit November 1986* insgesamt 109.470 gesicherte Fälle von BSE in 27.706 Herden aufgetreten.
- 3/1994 Die Arbeitsgruppe BSE des Bundesgesundheitsamtes stellt in ihrem Bericht fest: „Die Summe dieser Befunde (Anm.: Übertragbarkeit auf andere Tierarten) ist die Grundlage für die Hypothese, daß grundsätzlich die Möglichkeit besteht, daß auch der Mensch über die Nahrungsaufnahme durch TSE-Erreger infizierbar sein könnte.“ Ein Erregernachweis ist tierexperimentell nur aus Gehirn und Rückenmark gelungen, in Milch und Skelettmuskulatur konnte er nicht gefunden werden. In Analogie zur Scrapie beim

Schaf wird vermutet, daß der Erreger bei jungen Tieren in keinem Gewebe nachweisbar ist.

- 6/1994 Die EU verbietet die Verwendung von Säugetiereiweiß als Futtermittel für Wiederkäuer in allen Mitgliedstaaten. Sie legt außerdem Mindeststandards für Behandlungsverfahren in der Tierkörperbeseitigung fest.
- 8/1994 Der Bundesgesundheitsminister erläßt zum ersten Mal eine Dringlichkeitsverordnung zur Umsetzung neuer EU-Bestimmungen: Nicht entbeintes Rindfleisch muß aus Herden stammen, in denen in den letzten sechs Jahren keine BSE-Fälle aufgetreten sind, von entbeintem Fleisch müssen alle anhängenden Gewebe entfernt werden, Fleisch von Tieren, die bei der Schlachtung jünger als 30 Monate sind, wird nicht reglementiert.
- 2/1995 Der Bundesgesundheitsminister erläßt mit Wirkung zum 5. Februar erneut eine Dringlichkeitsverordnung zur Umsetzung der neuen EU-Bestimmungen. Danach richtet sich die Reglementierung von frischem Rindfleisch aus Großbritannien nicht mehr nach den Schlachttalter, sondern dem Geburtstermin, nämlich nach dem 1. Januar 1992. Grund für die Änderung ist die Einschätzung des EU-Veterinärausschusses, daß bei nach diesem Datum geborenen Tieren Neuinfektionen über Futter ausgeschlossen sind.
- 5/1995 In Großbritannien sind seit 1986 etwa 150.000 Rinder auf 33.000 Farmen an BSE erkrankt (33,8 % der Herden; in betroffenen Herden erkrankten 2,8 % der Tiere pro Jahr). Außerhalb Großbritanniens sind 140 Fälle in der Schweiz, 105 in Irland, 12 in Frankreich, 4 in Deutschland, je 2 in Oman und Italien und je 1 in Dänemark und Kanada aufgetreten. Es handelt sich dabei um aus England importierte Tiere oder um Infektionen durch Verfütterung von Tiermehl.
- 6/1995 In Großbritannien erkrankt ein nach dem 1. Januar 1992 geborenes Rind an BSE.
- 8/1995 Zum 3. Mal tritt eine nationale Dringlichkeitsverordnung in Kraft. Mit ihr werden die neuen zusätzlichen Vorgaben der EU-Kommission umgesetzt: Großbritannien wird verpflichtet, Futtermittel für Wiederkäuer auf verbotene Zumischung von Wiederkäureiweiß zu untersuchen, Ausnahmen vom Importverbot werden nicht mehr am Geburtstermin sondern am Schlachttalter (30 Monate) orientiert und Umwegeführten werden erschwert.
- 2/1996 Die Dringlichkeitsverordnung läuft ohne Folgeverordnung aus. Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, das Saarland und Bayern verhängen ein Importverbot für britisches Rindfleisch,

andere Bundesländer gehen nach § 22e Fleischhygienegesetz vor. Die EU droht Bonn wegen der nationalen Alleingänge mit einer Klage vor dem Europäischen Gerichtshof.

3/1996
London

Der britische Beratungsausschuß für spongiforme Enzephalopathien (Spongiform Encephalopathy Advisory Committee – SEAC) gibt folgende Erklärung ab: „SEAC hat 10 Fälle von Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (CJD) untersucht, die bei Personen unter 42 Jahren aufgetreten sind und kürzlich von der staatlichen Untersuchungsstelle für CJD in Edinburgh festgestellt wurden. Der Ausschuß ist zu dem Schluß gelangt, daß die Überwachungsstelle damit ein bisher unbekanntes, konsistentes Erkrankungsmuster identifiziert hat. Eine Prüfung der Krankheitsgeschichte der Patienten, genetische Analysen und die Berücksichtigung möglicher anderer Ursachen, wie z. B. intensivierete Ermittlungen haben bisher keine schlüssige Erklärung für diese Fälle geliefert.

Der britische Gesundheitsminister erklärt daraufhin in einem BBC-Interview, daß er die Schlachtung sämtlicher 11 Millionen Rinder für eine denkbare Option hält. Obwohl es keinen direkten Beweis für den Zusammenhang gibt, läuft auf der Grundlage der verfügbaren Informationen und in Abwesenheit jeglicher glaubhafter Alternative die wahrscheinlichste Erklärung darauf hinaus, daß es in diesen Fällen zu einem Kontakt mit dem BSE-Erreger gekommen ist und zwar vor Einführung der Bestimmungen über die Vernichtung bestimmter boviner Innereien im Jahr 1989. Dies gibt Anlaß zu großer Besorgnis.“ (Anm.: Die Besonderheit bei diesen CJD-Fällen waren: niedriges Alter der Patienten, abweichende Symptomatik, längere Dauer der Erkrankung, histologischer Nachweis von ausgeprägten Plaques.)

Der britische Gesundheitsminister gibt diesen Bericht am selben Tag im Unterhaus bekannt.

3/1996
Bonn

Die Bundestierärztekammer fordert den Bundesgesundheitsminister in einem Brief u. a. dazu auf, sofort die Grenzen für den Import von britischem Rindfleisch zu schließen.

Bundesgesundheits- und Bundeslandwirtschaftsministerium erlassen Dringlichkeitsverordnungen für ein Importverbot von Rindern und bestimmten Produkten aus Großbritannien und aus der Schweiz. Zu diesem Zeitpunkt haben bereits 7 weitere EU-Mitgliedstaaten sowie Singapur und Neuseeland Importverbote verfügt. Die nationalen Alleingänge werden von der EU-Kommission ausdrücklich toleriert.

3/1996
Brüssel

Die EU-Kommission erläßt auf Grundlage eines Votums des Wissenschaftlichen Veterinärausschusses vom 22. März eine Entscheidung mit dem Schutz gegen die BSE zu treffenden Dring-

lichkeitsmaßnahmen (96/239/EG). Die britische Regierung bemüht sich vergebens, das Exportverbot zu verhindern, es tritt am 28. März in Kraft.

Artikel 1

In Erwartung einer Gesamtlageprüfung und unbeschadet der zum Schutz gegen die BSE erlassenen gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften wird der Versand von

- lebenden Rindern, Rindersamen und Rinderembryonen,
- Rindfleisch, ungeschlachtet im Vereinigten Königreich
- Erzeugnissen von Rindern, die im Vereinigten Königreich geschlachtet worden sind und geeignet sind als Lebensmittel oder Tierfutter verwendet zu werden und Produkte, die bestimmt sind für die Verwendung bei der Herstellung von Medizinalprodukten, Kosmetika und pharmazeutischen Erzeugnissen,
- Fleisch und Knochenmehl, das von Säugetieren stammt, aus dem Hoheitsgebiet des Vereinigten Königreichs nach den anderen Mitgliedstaaten und nach Drittländern untersagt.

Artikel 3

Das Vereinigte Königreich übermittelt der Kommission jede zweite Woche einen Bericht über die Anwendung der in Übereinstimmung mit den gemeinschaftlichen und einzelstaatlichen Vorschriften zum Schutz gegen BSE getroffenen Maßnahmen.

Artikel 4

Das Vereinigte Königreich wird gebeten, weitere Vorschläge vorzulegen über die Bekämpfung der BSE im Vereinigten Königreich.

4/1996
Luxemburg

Die EU-Agrarminister einigen sich auf ein Aktionsprogramm, das sich in vier Bereiche fassen läßt: Verbraucherschutz, Tilgung der Seuche in Großbritannien, Wiederherstellung des Verbrauchervertrauens und Marktstabilisierung. Etwa 4,4 Millionen britische Rinder im Alter von über 30 Monaten sollen – ohne Angabe eines Stichtages für die Altersgrenze – unschädlich beseitigt werden. Die EU beteiligt sich zu 70 % an den Ausgleichszahlungen an die betroffenen Farmer, die Kosten für die unschädliche Beseitigung der Tierkörper muß Großbritannien alleine tragen. SBO von Rindern, die jünger als 30 Monate sind, werden von der Nahrungs- und Futtermittelkette ausgeschlossen. Für Milch und Milchprodukte sind keine gesundheitlichen Maßnahmen erforderlich. Für den Monat April 1996 sind Stützungskäufe von bis zu 50.000 t Rindfleisch durch die EU vorgesehen, auch unter 30 Monate alte Rinder aus Großbritannien werden in die Intervention einbezogen.

- 4/1996
Genf Fachleute betonen auf einer Konferenz der Weltgesundheitsorganisation, daß ein direkter Zusammenhang zwischen BSE und CJD nach wie vor wissenschaftlich nicht belegt sei. Milch und Milchprodukte seien sicher. Zum Schutz vor BSE legen sie einen Maßnahmenkatalog vor, wonach v. a. keinerlei Teile von Rindern mit BSE-Verdacht oder Produkte daraus in die Nahrungskette gelangen dürfen. Die Empfehlung gilt auch für Tierarten mit ähnlichem Krankheitsbild, z. B. Scrapie.
- 4/1996
Amsterdam Die Niederlande beginnen mit der unschädlichen Beseitigung von etwa 64.000 aus Großbritannien importierten Kälbern. In Frankreich sollen etwa 80.000 Tiere geschlachtet und beschlagnahmt werden. Für weitere 27.000 Tiere in Belgien sind noch keine Maßnahmen vorgesehen. Auch diese Länder erhalten von der EU 70 % der Ausgleichszahlungen.
- 4/1996
Bonn Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage von Abgeordneten der SPD-Fraktion zum Thema „Gesundheitliche Gefahren durch Rinderwahnsinn (BSE)“. 151 Fragen werden durch das Bundesministerium für Gesundheit mit Schreiben vom 23.4.1996 beantwortet.
- 5/1996
Halle/Leopoldina Experten-Podiumsdiskussion. Die Arbeitsergebnisse werden unmittelbar danach in einer Pressemitteilung sowie in einer Broschüre (11/1996, Nova Acta Leopoldina NF Nr. 298, Bd. 75) veröffentlicht. Gefordert wird eine intensive, europaweit koordinierte BSE-Forschung mit den Schwerpunkten Aufdeckung des Erregers, zuverlässige Diagnostik am lebenden Rind, Klärung der Übertragbarkeit und der möglichen Übertragungswege auf den Menschen.
31. Oktober 1996 Insgesamt 164.258 registrierte BSE-Fälle (UK); außerdem 228 (CH), 153 (IRL), 53 (P), 26 (P), 4 (D), 2 (I), 2 (Oman), 1 (DK), 1 (CA), 1 (Falkland-I.).
20. Januar 1997 BSE-Nachweis bei einem Rind der Galloway-Rasse in Nordrhein-Westfalen; 5. (1. autochthoner) Fall in Deutschland. Übertragung durch Tiermehl wird ausgeschlossen, vermutlich vertikale Infektion von der Mutterkuh auf das Kalb^{*)}.

^{*)} Diese Aussage ist inzwischen nicht mehr haltbar, weil sie auf einer betrügerischen Manipulation basierte; d. h. Fall 5 (Rind „Cindy“) wurde illegal aus Großbritannien importiert.

BSE – Hinweise zu Produkten (die vom Rind stammen)

Fleisch

Vom Fleisch deutscher Rinder gehen keine Gefahren aus. Bei einheimischen Rindern hat es bisher keinen einzigen Fall von BSE gegeben. Insgesamt sind in Deutschland überhaupt nur 4 BSE-Fälle ermittelt worden und zwar ausschließlich bei Zuchtrindern, die aus Großbritannien importiert wurden (BMELF, 25.3.1996).

Milch und Milchprodukte

alle Übertragungsversuche des BSE-Erregers durch Milch verliefen negativ. Insoweit gelten Milch und Milchprodukte nach heutigem wissenschaftlichen Erkenntnisstand als unbedenklich (WHO, bgvv, 4.4.1996).

Gelatine

Die Hersteller von Gelatine setzen Produktionsverfahren ein, die den BSE-Erreger inaktivieren. Sie geben an, inzwischen weitgehend auf andere Rohstoffe zurückzugreifen und zunehmend auch pflanzliche Gelatineersatzstoffe einzusetzen. Gelatine wird deshalb hinsichtlich einer möglichen BSE-Übertragung als unbedenklich angesehen (WHO, bgvv, 4.4.1996).

Heimtierfütterung

Zur Herstellung von Heimtierfütterung werden seit 1990 keine Rindermaterialien aus Großbritannien und grundsätzlich keine BSO verwendet. Tiermehle wurden bisher nicht eingesetzt (Effem, 3/1996).

Arzneimittel

Die deutschen Behörden haben ihre Vorstellungen zu Sicherheitsanforderungen an Arzneimittel in einer Reihe von Empfehlungen und Stufenplanschreiben seit 1990 vorgestellt und internationale Richtlinien eingebracht. Ein Punkteschema zur Sicherheitsbewertung sieht vor, daß Gesichtspunkte der Herkunft und Haltung von Rindern, des verwendeten Ausgangsmaterials, der Verfahren zur Abtötung möglicher BSE-Erreger und Anwendung am Patienten gewichtet und bedacht werden. Die Anforderungen schließen eine Übertragung von BSE-Erregern auf den Menschen praktisch aus (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, 2.4.1996).

Kosmetika

Die Übertragbarkeit von BSE durch kosmetische Mittel ist sowohl nach gegenwärtigen Erkenntnissen als auch aufgrund der vorbeugenden Maßnahmen der Industrie auszuschließen. Bei äußerlicher Anwendung steht einer möglichen Infektion die Barrierefunktion der Haut entgegen. Die meisten Rohstoffe werden chemisch oder thermisch so behandelt, daß eine Infektionsgefahr auszuschließen ist. Rohstoffe, die nicht in dieser Weise behandelt werden, dürfen nur von Tieren aus vollständig gesunden Herden stammen. Als eine der vorbeugenden Maßnahmen wurde den Mitgliedsfirmen 1991/92 empfohlen, nur Rohstoffe von Tieren zu verwenden, die aus Ländern kommen, in denen keine BSE-Fälle aufgetreten sind (Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V., 27.3.1996).

(DTÄBl. 5/1996 – 425)

III.

**Festschrift
zum 100. Todestag von
Emil du Bois-Reymond
(1818–1896)**



Emil du Bois-Reymond
(1818–1896)

Randolf Menzel

Einführung

Mit dieser Festschrift zur 100. Wiederkehr des Todestages von Emil du Bois-Reymond feiern wir einen herausragenden Wissenschaftler, einen grübelnden Philosophen, einen weitblickenden und zu seiner Zeit sehr einflußreichen Wissenschaftspolitiker, einen begnadeten Hochschullehrer und einen Künstler und Architekten.

Die im folgenden veröffentlichten Vorträge wurden am 14. Dezember 1996 während eines eintägigen Festsymposiums im jetzigen Institut für Hygiene und Mikrobiologie der Humboldt-Universität zu Berlin, dem ehemaligen Physiologischen Institut der Friedrich-Wilhelms-Universität gehalten. Dieses eindrucksvolle Gebäude hat Emil du Bois-Reymonds mit viel Aufmerksamkeit und Mitwirkung bis in die Details geplant und ab 1874 zusammen mit einer Gruppe aktiver Physiologen genutzt. Hier haben sich die mitreißenden Vorlesungen abgespielt, die sein Schüler Munk so beschreibt: „Welch begeisterter und begeisternder Lehrer er war, ... und Welch reicher Beifall nach studentischem Brauch dem überaus beliebten Meister zuteil wurde, ein Beifall, der sich bei besonderen Gelegenheiten in geradezu frenetischen Ausbrüchen äußerte.“ Dieses Haus hat Emil du Bois-Reymond zu einem internationalen Zentrum der physikalischen Physiologie gemacht, in dem er viele einflußreiche Wissenschaftler Europas als Mitarbeiter und Gäste aufnahm. Seine grundlegenden Arbeiten hat er aber ab 1840 unter sehr spärlichen Bedingungen durchgeführt, teilweise in seiner eigenen Studentenbude und mit zusammengeborgten Instrumenten.

Als Schüler des berühmten Anatomen, Embryologen und Physiologen Johannes Müller und dessen Mitarbeiters Hermann von Helmholtz arbeitete er in einer Atmosphäre des Aufbruchs. Physikalische Meßmethoden und sorgfältig hergestellte Geräte wurden eingesetzt, um Lebensphänomene, insbesondere die der Nerven- und Muskelerregung, aufzuklären und aus dem Bannkreis des Vitalis-

mus zu befreien. Mit seinen Worten (1848): „Es könne nicht fehlen, daß dereinst die Physiologie ganz sich auflöst in Physik und Chemie.“

Heute ist uns allen geläufig, daß das Medium der Nervenaktivität, die Erregung, eine elektrische Spannung ist, die sich über die Nerven und Muskeln ausbreitet. Als wichtige diagnostische Mittel werden heute allerorten Elektrokardiogramme (EKG), Elektroenzephalogramme (EEG) und Elektromyogramme (EMG) aufgezeichnet, und es wird niemand unter uns sein, der die Registrierung elektrischer Erscheinungen seines eigenen Körpers nicht schon selbst erlebt hat. All dies und vieles mehr geht auf Emil du Bois-Reymond zurück.

Du Bois-Reymond hat – wie in den folgenden Beiträgen ausführlich dargestellt ist – als Gründer der Elektrophysiologie (oder wie er sagte: der Allgemeinen Muskel- und Nervenphysik) entscheidend dazu beigetragen, den spiritus animalis auf ein physikalisches Phänomen zu reduzieren, jenen geheimnisvollen Stoff also meßtechnisch zugänglich zu machen, der in der Lehre Galens (vor 1.800 Jahren) eine Art Gas (pneuma) und in der Descartes' (vor 350 Jahren) eine superfluide Flüssigkeit sein sollte. Sein Lehrer Johannes Müller muß erkannt haben, worin die besonderen Fähigkeiten seines jungen Mitarbeiters bestanden, als er ihn 1840 auf das Problem aufmerksam machte: Wenn der Nachweis der Identität von Elektrizität und spiritus animalis gelingen sollte, mußte man in der Lage sein, sehr kleine Ströme zu messen. In einer Zeit ohne Kathodenstrahloszilloskop und Röhren- oder Transistorverstärker war das eine schier unlösbare Aufgabe. Emil du Bois-Reymond setzte das 1820 von Ampère erfundene und nach Galvani benannte Galvanometer (in seiner Zeit als Multiplikator bezeichnet) ein und entdeckte 1843, daß ein Strom zwischen dem Querschnitt eines Nervenbündels und der Nervenummhüllung fließt und daß sich dieser Nervenstrom ändert, wenn er die Nerven reizte, und zwar nicht nur bei elektrischer Reizung, sondern auch bei chemischer Reizung. Der letztere Befund war in der damaligen Zeit besonders wichtig, weil die Debatte zwischen Galvani und Volta darüber, ob Nerven und Muskeln selbst Elektrizität erzeugen, noch immer nicht gänzlich entschieden war.

Außerdem fand er, daß der im Muskel gemessene Strom die gleiche Polarität wie der im Nerv gemessene hatte. Du Bois-Reymond erkannte die Bedeutung seiner Entdeckung. 1848 sagte er: „Es ist mir, wenn mich nicht alles täuscht, gelungen, jenen hundertjährigen Traum der Physiker und Physiologen von der Einerleiheit des Nervensystems und der Elektrizität, wenn auch in etwas abgeänderter Gestalt, zu lebensvoller Wirklichkeit zu erwecken.“ Und: „Durch die Allgemeinheit der elektrischen Phänomene in den Nerven wird hoffentlich die gehegte Besorgnis verscheucht, daß Elektrizität und Nerventätigkeit nur zwei einander begleitende nicht aber identische Tätigkeiten seien.“

Heute wissen wir, daß die „Einerleiheit“ des Nervensystems in Form von sehr kurzen (etwa eine Tausendstelsekunde langen) Spannungsänderungen (sogenann-

ten Aktionspotentialen) zwischen dem Inneren und Äußeren der Nervenmembran auftritt und daß diese Spannungsänderungen über den Nerv wandern. Seinem Schüler Julius Bernstein gelang es dann 1868 mit Hilfe eines Instruments, das sie „differentielles Rheotom“ nannten und das eine kluge Verknüpfung von Meßinstrumenten war, die Helmholtz und du Bois-Reymond entwickelt hatten, dieses Aktionspotential als erster zu messen – eine geniale meßtechnische Leistung, wenn man bedenkt, daß das Meßinstrument, das Galvanometer, viel zu langsam und viel zu unempfindlich war, um solche winzigen und sehr kurzen Spannungsänderungen zu registrieren.

Du Bois-Reymond war nicht nur Entdecker, Hochschullehrer und Baumeister, sondern auch ein Wissenschaftler, der über die Grenzen seiner Wissenschaft nachdachte und der aufkommenden Euphorie seinen Zweifel entgegensetzte. Ob wir je in der Lage sein werden, die Funktionsweise unseres eigenen Erkenntnisapparates, unseres Gehirns, verstehen zu können, war Gegenstand einer Rede „Über die Grenzen des Naturerkennens“, auf die in den Beiträgen von Florey und Singer ausführlich eingegangen wird. Sein „Ignorabimus“ ist gerade heute wieder ein intensiv diskutiertes Thema, seitdem die Neurowissenschaftler eine immer enger werdende Korrespondenz zwischen Gehirnfunktion und kognitiven Leistungen feststellen können. 130 Jahre nach dem ersten Sichtbarmachen des Elementarereignisses der Nervenfunktion, des Aktionspotentials, schicken sich die Neurowissenschaftler an, auch die funktionelle Organisation vieler Schaltkreise im Gehirn auf elementare physiologische Ereignisse zurückzuführen und damit im Sinne du Bois-Reymonds dereinst die Physiologie ganz in Physik und Chemie aufzulösen. Werden dann zur Physik und Chemie auch Wahrnehmungsleistungen, Sprache, Erinnerungen, Emotionen und Denken gehören? Viele Neurowissenschaftler teilen du Bois-Reymonds „Ignorabimus“ nicht, wenn ihnen auch unklar ist, was die außerordentlich enge Korrespondenz zwischen der Physik des Gehirns und seinen kognitiven Leistungen erkenntnistheoretisch bedeutet. Mit dem „Ignorabimus“ hat du Bois-Reymond Stellung in einem Problemfeld bezogen, das Neurowissenschaftler und Philosophen noch lange beschäftigen wird – auch dies ist ein herausragendes Zeichen für einen der bedeutendsten Gründer der Neurowissenschaft.

Du Bois-Reymond war nicht nur ein bedeutender Wissenschaftler, sondern auch ein ideenreicher und einflußreicher – wir würden heute sagen – Wissenschaftsmanager. Er war Mitbegründer der Physikalischen Gesellschaft und ein überaus aktives Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften – lange Jahre als Sekretar der Naturwissenschaftlichen Klasse. Den Lebensweg dieses herausragenden Wissenschaftlers zeichnete Herr Winau in seinem Vortrag nach.

Rolf Winau

Emil du Bois-Reymond Leben und Werk

*(Vortrag auf der Festveranstaltung anlässlich des 100. Todestages von
Emil du Bois-Reymond (1818–1896) am 14. Dezember 1996 in Berlin)*

„Der Augenblick, wo in diesem der Physiologie geweihten Raume zuerst das Wort eines Lehrers ertönt, ist für uns bedeutungsvoll genug, um dem Beginn unseres Tagewerks einige Betrachtungen vorzuschicken, welche bei dieser Gelegenheit sich aufdrängen.“¹ So hat am 6. November 1877 Emil du Bois-Reymond seine Eröffnungsrede für das neue Physiologische Institut begonnen, die er unter dem Titel *Der physiologische Unterricht sonst und jetzt* veröffentlicht hat. Nicht von sich selber wollte er reden, so fuhr er fort, sondern vom physiologischen Unterricht und dessen Entwicklung. „Ich möchte Sie den Zustand des physiologischen Unterrichts, den Sie im Beginn Ihrer Studien antreffen, besser würdigen lehren durch Hinweis auf den Zustand, den das Geschlecht von Physiologen und Ärzten antraf, welchem ich angehöre“.² Immer wieder drängt sich die eigene Biographie auf, wenn er von der Entwicklung der Physiologie spricht, sie ist ein Teil dieser Entwicklung geworden.

Emil du Bois-Reymond ist am 7. November 1818 in Berlin geboren. Sein Vater Félix Henri du Bois-Reymond war 1804 aus der Nähe von Neuchâtel, das seit 1707 zu Preußen gehörte und sich erst 1848 der Eidgenossenschaft anschloß, nach Berlin gekommen, Lehrer am Kadettenhaus geworden und hatte sich schließlich zum Geheimen Regierungsrat im Preußischen Außenministerium, dem die Wahrnehmung der Neuenburgischen Angelegenheiten oblag, hochgearbeitet. Er war verheiratet mit Minette Henry, einer Enkelin von Daniel Chodowiecki, dessen Begabung sich über die Mutter auf den Sohn vererbt hatte, wie die eigenhändigen Zeichnungen in du Bois-Reymonds Werken beweisen.

¹ Du Bois-Reymond, Emil: *Der physiologische Unterricht sonst und jetzt*. In: Du Bois-Reymond, Estelle (Hg.), *Reden von Emil Du Bois-Reymond*, 2. Aufl., Leipzig, 1912, Bd. 1, S. 630-653, 630.

² Ebda., S. 631.

Mit zwei Brüdern und zwei Schwestern wuchs du Bois-Reymond in einem Elternhaus auf, das durch einen orthodoxen Pietismus und die französische Sprache geprägt war. Er besuchte das Französische Gymnasium, bestand 1837 das Abitur und begann zunächst, eher unentschieden, welchen Beruf er ergreifen sollte, ein breit angelegtes Studium. In Berlin hörte er theologische, philosophische und psychologische Vorlesungen, in Bonn, im zweiten Studienjahr, war das Spektrum noch breiter: Logik, Metaphysik, Anthropologie, Botanik, Geologie, Geographie und Meteorologie.

Im Herbst 1839 begann er unter dem Einfluß seines um fünf Jahre älteren Freundes Eduard Hallmann in Berlin mit dem Medizinstudium. Es war dasselbe Semester, in dem auch der junge Rudolf Virchow als Zögling der Péripière die Berliner Universität bezog. Hallmann war 1834 nach Berlin gekommen und Assistent bei Johannes Müller geworden. Da er während seiner Studentenzeit in einen Demagogenprozeß verwickelt worden war, versagte ihm der preußische Staat die Approbation. So ging er mit Theodor Schwann nach Löwen, wurde schließlich 1845 Leiter einer Kuranstalt in Boppard. Früh ist er 1855 gestorben.

Der detaillierte Studienplan, den er für du Bois-Reymond aufstellte, ist erhalten. Er enthält nicht nur Vorschläge für den Besuch von Vorlesungen und für die Lektüre, sondern auch gute Ratschläge für das Bestehen des Examens: „Philosophicum ist bald zu machen ... Du mußt Dich beim Dekan sofort melden, damit Du der Erste der vier Examinanten in der Reihe bist und von allen Examinatoren zuerst gefragt wirst ... Bereite Dich auf irgendeine Tierfamilie vor, denn Lichtenstein fragt, womit Du Dich vorzüglich beschäftigt hast ... Auf das Philosophicum kommt es übrigens sehr wenig an. Durchfallen ist unmöglich.“³ Schon am 7. Dezember 1839 meldete du Bois-Reymond dem Freund nach Löwen: „Und heute um vier Uhr hab’ ich so nebenbei mein Philosophicum gemacht, ein Examen, wie ich sie alle Tage umsonst schockweise loslassen will ... Durch Deinen vortrefflichen Rat war ich der Erste und bekam einfache unverdorbenere Fragen. Mit mir drei ganz unbekannte Kamele.“⁴

Und im selben Brief denkt er über Johannes Müller nach: „Dein Müller ist bei weitem der unangenehmste Mensch, der mir seit längerer Zeit auf den Kathedern begegnet ist. Mit mir ist er freilich stets sehr höflich ... Es soll mich sehr wundern, ob ich nicht noch mit ihm in persönliche Berührung kommen werde.“⁵

In dem gleichen Maße wie er Müller näher kennenlernte, wurde sein Urteil milder, vielleicht auch gerechter: „Mit Müller vorzüglich steh’ ich gut“.⁶ Müller ist es

³ Du Bois-Reymond, Estelle (Hg): Jugendbriefe von Emil Du Bois-Reymond an Eduard Hallmann, Berlin, 1918, S. 5.

⁴ Ebda., S. 33.

⁵ Ebda., S. 35.

⁶ Ebda., S. 42

auch, der ihm 1841 das Gebiet zur Bearbeitung zuweist, das sein Lebenswerk werden sollte: die tierische Elektrizität.

1840 war Carlo Matteuccis Untersuchung *Essai sur les phénomènes électriques des animaux* erschienen. An Hallmann schrieb du Bois am 29. März 1841: „Der andere Gegenstand, den mir Müller aufs Dringendste (ganz von selbst, weil er meinte, die Aufgabe sei für mich, ich für die Aufgabe geschaffen) ans Herz gelegt hat, ist die wiederholende Fortführung und Prüfung der älteren und neuen Matteuccischen Versuche über den Froschstrom und das Verhalten des Nervenprinzips zur Elektrizität ... Augenscheinlich haben alle, welche diesen Gegenstand untersuchten, ... bald nichts von Physik, bald nichts von Physiologie verstanden, und so ist es gekommen, daß noch keiner die Sache von dem Standpunkt hat auffassen können, von dem ich sie gleich ergriff.“⁷

Für mehr als ein Jahrzehnt war du Bois ununterbrochen und fast ausschließlich mit experimentellen Untersuchungen zur Elektrophysiologie, zur Nerven- und Muskelphysiologie beschäftigt. Die Dissertation im Jahr 1843 *Quae apud veteres de piscibus electricis existant argumenta* war eigentlich nur Nebenprodukt dieser Tätigkeit.⁸ Bedeutsamer als die Arbeit selbst waren die Thesen, die er, wie es damals üblich war, gegen die Einwände von ausgewählten Opponenten verteidigte. Entscheidend ist die zweite These, bei der der Freund Ernst Brücke als Opponent auftrat: „In natura neque in anorganica neque in organica vires exstant, quarum ultimae componentes non sint aut attrahentes, aut repellentes“ und zu der er im Brief an Hallmann bemerkt: „Nr. 2 ist zur Opposition mit Brücke, der sich dumm stellen wird, um die entgegengesetzte Ansicht lächerlich zu machen.“⁹

Die eigentliche wissenschaftliche Publikationstätigkeit zum Thema begann im selben Jahr mit der Arbeit *Vorläufiger Abriß einer Untersuchung über den sogenannten Froschstrom und über die elektromotorischen Fische* im 58. Band von Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie. „Im Frühling 1841 forderte mich Herr Geheimrat J. Müller auf, meine Untersuchung über den Froschstrom, courant de la grenouille Nobili, anzustellen. Die Resultate, zu denen ich bis jetzt gelangt bin, sind folgende: ...“ Und es folgen 76 Thesen, die bereits im Kern wichtige Ergebnisse enthalten: die Beschreibung und Analyse des sogenannten Froschstroms, des Stromes des ruhenden Muskels und der Nerven.¹⁰ Mit dieser Veröffentlichung erregte er auch das Interesse des gerade aus Paris zurückgekehrten

⁷ Ebda., S. 85f.

⁸ Du Bois-Reymond, Emil: *Quae apud veteres de piscibus electricis existant argumenta*, Diss. med. Berlin 1843.

⁹ Du Bois-Reymond (wie Anm. 3), S. 113.

¹⁰ Du Bois-Reymond, Emil: *Vorläufiger Abriß einer Untersuchung über den sogenannten Froschstrom und über die elektromotorischen Fische*. In: *Annalen der Physik und Chemie*, 58 (1843) 1-30, S. 1.

Alexander von Humboldt, der selbst auf dem Gebiet der tierischen Elektrizität gearbeitet hatte und sich von nun an des jungen Wissenschaftlers annahm. Du Bois arbeitete weiter an seinen Experimenten, Ende 1845 waren sie soweit abgeschlossen, daß die Niederschrift des Textes und die Herstellung von Zeichnungen beginnen konnte. Sehr anschaulich hat er diese Zeit in der eingangs erwähnten Rede zur Einweihung des Physiologischen Instituts beschrieben: „Wollte zur Zeit, von der wir reden, ein junger Mensch selber physiologische Versuche anstellen, so mußte er dies meist auf der Stube tun, wo er wegen der Frösche und Kaninchen (an Hunde wagten wir uns nicht) mit seinen Hausleuten in Ungelegenheiten geriet und wo viele Untersuchungen geradezu unmöglich waren oder mit den größten Widerwärtigkeiten zu kämpfen hatten. Keine lehreifrigen Assistenten wiesen ihn zurecht; keine öffentliche Fachbibliothek, keine Apparatsammlung gab ihm ihre Schätze preis. Aus eigenen Mitteln mußte er Bücher, Chemikalien, Versuchsmaterial aller Art und auch Instrumente anschaffen, oft mit eigenen Händen letztere anfertigen. Wir haben selber unsere Rollen gewickelt, unsere Elemente gelötet, ja unsere Kautschukröhren geklebt, denn noch gab es keine käuflichen Gummischläuche. Wir sägten, hobelten und bohrten, wir feilten, drechselten und schliffen. Das Bedürfnis nach Rat und Hilfe in mechanischen Dingen trieb uns in die Werkstätten, wo wir im Verkehr mit talentvollen Künstlern allerlei nützliche Handgriffe lernten, und uns gewöhnten, den Bau von Instrumenten bis auf die letzte Schraube uns so klar zu machen, als handele es sich um die Anatomie eines Tieres. Wurde durch Freundlichkeit eines Lehrers uns sein wertvoller Apparat anvertraut, wie nutzten wir ihn aus, wie studierten wir seine Laune, vor allem wie hielten wir ihn rein“.¹¹

Ende 1848 erschien der erste Band und ein Jahr später die erste Abteilung des zweiten Bandes der *Untersuchungen über thierische Electricität*¹², ihnen folgten 1875/77 die *Gesammelten Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik*¹³, in denen die wichtigsten Arbeiten der Jahre 1850–1875 zusammengefaßt sind.

In all diesen Veröffentlichungen bilden du Bois-Reymonds Mitteilungen über Methoden und Geräte einen wichtigen Teil. Hier sind die nicht polarisierbaren Elektroden zu nennen, dann vor allem der Multiplikator, ein von vielen Drahtwindungen umgebenes Paar Magnethadeln, die entgegengesetzt gerichtet waren, um den Einfluß des Erdmagnetismus weitgehend auszuschalten, und mit deren Hilfe auch ein schwacher Nervenstrom gemessen werden konnte. Freilich war

¹¹ Du Bois-Reymond (wie Anm. 1), S. 834f.

¹² Du Bois-Reymond, Emil: *Untersuchungen über thierische Electricität*, Bd. 1, Berlin, 1848; Bd. 2, Abt. 1, Berlin, 1849.

¹³ Du Bois-Reymond, Emil: *Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik*, Bd. 1, Leipzig, 1875; Bd. 2, Leipzig, 1877.

ein solches Gerät, auch wenn es über 20.000 Windungen hatte, nicht in der Lage, einen einzelnen Nervenimpuls anzuzeigen. Dazu ist es viel zu träge. Du Bois-Reymond experimentierte deshalb mit „tetanisierten“ Nerven und Muskeln, die in schneller Folge gereizt wurden. Die rasch aufeinanderfolgenden elektrischen Ereignisse wurden durch den Multiplikator aufsummiert und so sichtbar gemacht. Dies war besonders wichtig, weil kleine Ströme noch nicht gemessen werden konnten und nur die Aufsummierung den Rückschluß auf den Einzelvorgang zuließ. Andererseits wurde es auch die einzige Möglichkeit, die elektrophysiologischen Phänomene sichtbar zu machen. 1862 hat er der *Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken* eine eigene Abhandlung gewidmet¹⁴, in der z. B. die Frosch-Pistole beschrieben wird, ein Gerät, bei dem in einen Glaszylinder ein Nerv-Muskel-Präparat eingespannt werden konnte und bei dem jeder Teilnehmer der Vorlesung durch Knopfdruck eine Muskelzuckung auslösen konnte. „In dem Maß aber, wie die Physiologie experimentell ward, steigerten sich deren äußere Bedürfnisse. Der physiologische Hörsaal mußte eine Schaubühne für Naturerscheinungen werden, wie der physikalische und chemische es schon waren, und der Physiologe bedurfte fortan eines seinen besonderen Zwecken angepaßten, für Unterricht und Forschung eingerichteten Laboratoriums.“¹⁵

Karl Eduard Rothschuh hat als wichtigste Ergebnisse der elektrophysiologischen Forschungen du Bois-Reymonds genannt:

1. Du Bois klärte die Existenz, die Polarität, die Intensität und die Verteilung der Elektrizität im Muskel. Dabei ging er davon aus, daß sich im Muskel elektromotorische Molekel befänden, die sich dadurch auszeichneten, daß sie eine positive Äquatorialzone und zwei negative polare Zonen enthielten und daß um diese Molekel immer ein ganz geringer Strom kreise, daß dieser Strom also präexistent sei.
2. Er bewies den Stromfluß bei der Muskelkontraktion.
3. Er definierte die „induzierte Zuckung“ Matteuccis als einen Effekt eines elektrischen Prozesses im Muskel.
4. Er zeigte die elektrische Diskontinuität in einem tetanischen Muskel.
5. Er bewies die Existenz eines Stromes im verletzten Nerv.
6. Er bewies die Veränderung des Nervenruhestroms beim Durchgang von Nervenimpulsen.

¹⁴ Du Bois-Reymond, Emil: Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken. In: Abh. Akad. d. Wiss. Berlin, Physik. Kl. 1862, S. 75-162.

¹⁵ Du Bois-Reymond (wie Anm. 1), S. 637.

7. Er entdeckte bei einer elektrischen Dauerdurchströmung des Nerven eine Zustandsänderung, die er Elektrotonus nannte und die er als Polarisation der 'Nervmolekel' interpretierte.
8. Er klärte die charakteristischen Qualitäten der Nervenreizung; nicht die Dauer der Durchströmung, auch nicht die absolute Intensität des Reizstromes sind ausschlaggebend, sondern die Änderung der Stromdichte pro Zeiteinheit.
9. Er interpretierte die Vorgänge an der motorischen Endplatte einerseits als elektromotorische Vorgänge, hielt aber eine andere Hypothese für durchaus denkbar, daß nämlich „an der Grenze von Sohle und contractiler Substanz“ eine reizende Sekretion von Amoniak, Milchsäure oder anderem stattfindet.
10. Er formulierte eine theoretische Interpretation aller bioelektrischen Erscheinungen, basierend auf seiner Präexistenztheorie, die auf der Vorstellung von peripolaren und dipolaren elektromotorischen Molekeln beruhte.¹⁶

Mit der Skizzierung der elektrophysiologischen Forschungen sind wir im Lebenslauf Emil du Bois-Reymonds um Jahre vorausgeeilt. Kehren wir in die Mitte der 40er Jahre zurück.

1845 gehörte du Bois-Reymond zu den Gründern der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin, in der der schon 1841 gegründete jüngere Naturforscherverein aufging. Mit ihm waren es die Freunde Brücke und Helmholtz, die unter den kritischen Blicken von Gustav Magnus diese Gesellschaft gründeten. Du Bois wurde bald ihr Vorsitzender und blieb es 47 Jahre lang bis zu seinem Tode. Dem im selben Jahr gegründeten Physiologischen Verein stand er zunächst fern, erst 1874 wurde er dort Mitglied, dann aber gleich zum Vorsitzenden gewählt, und die ein Jahr später erfolgte Vereinigung mit dem Verein für Klinische Wissenschaften zur Berliner Physiologischen Gesellschaft dürfte nicht zuletzt auf seine Initiative zurückzuführen sein. Sie tagte ab 1877 im Physiologischen Institut, und der (noch existierende) Lesesaal war der Ort, an dem Robert Koch an jenem denkwürdigen 24. März 1882 unter dem Vorsitz von du Bois-Reymond seinen berühmten Vortrag über die Entdeckung des Erregers der Tuberkulose hielt.

1846 hat sich du Bois für das Fach Physiologie habilitiert, 1850 wurde er nach Paris eingeladen, um an der Académie des Sciences seine Experimente zu zeigen, zwei Jahre später erfolgte eine ähnliche Einladung nach London. Von 1849 bis 1853 war er Lehrer der Anatomie an der Berliner Akademie der Künste, 1849 übernahm er die Gehilfenstelle bei Johannes Müller, 1855 wurde er zum außerordentlichen Professor ernannt. 1850 schlugen Alexander von Humboldt und Johannes Müller den 32jährigen zur Aufnahme in die Preußische Akademie der

¹⁶ Rothschuh, Karl-Eduard: Emil du Bois-Reymond und die Elektrophysiologie der Nerven. In: Rothschuh, Karl-Eduard (Hg.), Von Boerhaave bis Berger, Stuttgart, 1964, S. 85–105.

Wissenschaften vor. Im Januar 1851 wurde er zum ordentlichen Mitglied gewählt. Seine Antrittsrede am 3. Juli 1851 hat er mit dem Versprechen beschlossen, „erst jetzt das Höchste aufzubieten, um mich des Preises würdig zu machen, der mir so überraschend früh, noch fast am Anfang der Bahn, von solchen Kampfrichtern gereicht wurde; in dem festen Entschluß, so lange dies Gehirn, diese Sinne, diese Hände ausreichen, nicht abzulassen von der Aufgabe, die mir zuteil ward: die Physiologie, und sei es auch nur um ein Differenzial, ihrem Ziel näher zu rücken, die Physik und Chemie der sogenannten Lebensvorgänge zu sein“.¹⁷

1852 veröffentlichte Karl Ludwig in Leipzig den ersten Band seines Lehrbuches der Physiologie, dem 1856 der zweite Band folgen sollte. Mit Ludwig ist der letzte der Namen aus dem Freundeskreis um Emil du Bois-Reymond genannt, den dieser einmal als „Fahnenträger der Schule“ bezeichnet hat. Du Bois-Reymond, Brücke, Helmholtz und Ludwig, sie sind die Vertreter jener neuen Schule, die eine tierexperimentelle, analytische, quantitativ messende Physiologie geschaffen hat. „Wir haben uns verschworen, die Wahrheit geltend zu machen, das im Organischen keine anderen Kräfte wirksam sind als die gemeinen physikalisch-chemischen“.¹⁸ Die schon in der zweiten These der Dissertation angesprochene Ablehnung jeglicher Form des Vitalismus gehört zum Programm der vier.

In der Vorrede zu den *Untersuchungen über tierische Elektrizität* hatte du Bois-Reymond geschrieben, die Vorstellungen von Physiologen, Ärzten, Philosophen liefen darauf hinaus, „eine Lebenskraft als Ursache und obersten Ordner aller Lebenserscheinungen anzunehmen. Diese Kraft bewohnt den ganzen Körper, ihr unbewußt-bewußtes Wesen treibend auf dem geheimnisvollen, ja übersinnlichen Hintergrund eines Schauplatzes, auf dessen äußerster Vorbühne allein alles sinnlich Erreichbare, Erklärliche spielt. Sie ist im Innersten verschieden von den in der unorganischen Natur waltenden, physikalischen und chemischen Kräften ... Gesetze kennt sie nicht, ihr ist gegeben, zu binden und zu lösen, wie ihr gefällt ... Sie widersteht der feindseligen Gefräßigkeit des Sauerstoffs, der nach unserer Kohle lechzt ... Sie verbietet der Fäulnis Platz zu greifen, so lange sie Herr im Hause ist.“ Sie erscheint als ein „Gewebe der willkürlichsten Behauptungen, als ein Fantasiegebilde von offenkundiger Abgeschmacktheit“. Und in diesem Zusammenhang ist auch die Rede von „jener Geißel Gottes“ – gemeint ist Justus Liebig –, die die „Lebenskraft in der Verhüllung von allerlei Deckmäntelchen“ wiederbeleben wolle.¹⁹ Als diese Vorrede in den Gesammelten Abhandlungen

¹⁷ Du Bois-Reymond, Emil: In der Leibniz-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 3. Juli 1851 gehaltene Antrittsrede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 2, S. 574-576, 575f.

¹⁸ Du Bois-Reymond (wie Anm. 3), S. 108.

¹⁹ Du Bois-Reymond (wie Anm. 12), Bd. 1, S. 11

unter dem Titel *Über die Lebenskraft* erneut abgedruckt wurde, bemerkte du Bois in einer Anmerkung dazu: „Sie hat in der Geschichte der deutschen Wissenschaft eine gewisse Bedeutung erlangt, sofern sie die letzte gegen den Vitalismus gerichtete ausdrückliche Kundgebung geblieben ist, welcher heute bei uns, wie ich es verlangt und vorher gesagt hatte, wirklich von der Bühne verschwand: sei's, weil er durch frühere Angriffe schon so erschüttert war, daß er zu seinem Sturze nur noch eines Stoßes bedurfte; sei's weil die rücksichtslose Kühnheit und aufseherregende Heftigkeit meines Vorgehens gegen eine von den ersten Männern ... verteidigte Stellung entscheidend wirkte; sei's endlich, weil meine Gründe tiefer geschöpft und schwerer beiseite zu setzen waren als die meiner Vorgänger“.²⁰ Und an Ludwig schrieb er 1853: „Nein, ich denke allen Ernstes, unser vier gemeinschaftliches Auftreten wird wirklich eine Epoche in der Wissenschaft, der Physiologie, gegründet haben.“²¹

Als Johannes Müller 1858 starb, wurde sein Lehrstuhl geteilt, Karl Bogislaus Reichert wurde Ordinarius für Anatomie, Emil du Bois-Reymond Ordinarius für Physiologie. Das Institut aber blieb noch immer in den unzulänglichen Räumen im Gebäude der Universität untergebracht. Dabei hat du Bois-Reymond von Anfang an darauf gedrängt, ein eigenes Institut in eigenen Räumen zu erhalten. Nicht mehr die Anatomie sei der adäquate Partner, „die wissenschaftlichen Beziehungen weisen vielmehr dem Physiologischen Institute seinen Platz in der Nähe chemischer, physikalischer, pharmakologischer Laboratorien an.“²² Aber es sollte noch fast zwei Jahrzehnte bis zur Realisierung dieser Pläne dauern. In engen, nur mäßig ausgerüsteten Räumen drängten sich die jungen Wissenschaftler, es war eine Brutstätte der neuen Wissenschaft: Eduard Pflüger wurde 29jährig Ordinarius in Bonn, Albrecht von Bezold 23jährig Extraordinarius in Jena. „Trotz aller Ungunst der äußeren Verhältnisse war gerade dies die Zeit, wo aus dem Laboratorium nicht allein eine Anzahl bedeutender Arbeiten, sondern auch eine Reihe von Männern hervorging, welche die da selbst gereiften Lehren und Methoden weithin nach deutschen Universitäten, ja bis ins Ausland trugen“, schrieb du Bois-Reymond 1886 und listete von Christoph Aeby bis Wilhelm Wundt seine erfolgreichen Schüler auf.²³

²⁰ Du Bois-Reymond, Emil: *Über die Lebenskraft*. In: *Reden* (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 1-26, 22.

²¹ Du Bois-Reymond, Estelle und Diepgen, Paul (Hg.): *Zwei große Naturforscher des 19. Jahrhunderts. Ein Briefwechsel zwischen Emil Du Bois-Reymond und Karl Ludwig*, Leipzig, 1927, S. 120.

²² Du Bois-Reymond (wie Anm. 1), S. 640.

²³ *Das physiologische Institut*. In: Guttstadt, Albert (Hg.), *Die naturwissenschaftlichen und medicinischen Staatsanstalten Berlins*, Berlin, 1886, S. 260-287, 262.

1866 wurde du Bois-Reymond zum ersten Mal zum Dekan der Medizinischen Fakultät gewählt, fünf weitere Dekanate sollten folgen. 1867 wurde er einer der ständigen Sekretäre der Preußischen Akademie der Wissenschaften, zweimal war er Rektor der Berliner Universität, in den Jahren 1869/70 und 1882/83. Als er am 11. Februar 1893 sein goldenes Doktorjubiläum feierte, war es der Rektor der Universität, Rudolf Virchow, der ihm die Festrede hielt und dabei anführte, daß schon im Promotionsjahr der Umschwung in der Medizin ein „fast allgemeiner“ gewesen sei. „Er richtete sich in erster Linie gegen die letzten Reste der Naturphilosophie und den Vitalismus, und es begann jene moderne Richtung, die uns in wenigen Decennien mitten in das ‘naturwissenschaftliche Zeitalter’ hineingeführt hat“. Du Bois-Reymond sei einer derjenigen gewesen, die diesen Fortschritt bewirkt hätten. Ja, noch mehr: „Das geläuterte Wissen der fortschreitenden Naturerkenntnis ist allmählich Allgemeingut aller Gebildeten worden, und die seltene Popularität, welche der Name unseres Freundes gewonnen hat, erklärt sich nicht zum wenigsten daraus, daß er es nicht verschmäht hat, in volkstümlich verständlicher Weise die Fortschritte der gelehrten Forschung großen Kreisen darzulegen. Es ist dies eine Seite des teuren Mannes, welche nicht hoch genug veranschlagt werden kann. Denn sie hat mächtig dazu beigetragen, der Naturwissenschaft jene allgemeine Anerkennung zu sichern, welche sie weit hin in unserem Volke und endlich bei allen Culturvölkern gefunden hat“.²⁴

Beide, du Bois-Reymond und Virchow, gehören zu den Gründern der naturwissenschaftlichen Medizin, sie begannen gemeinsam ihr Medizinstudium in Berlin, aber sie haben ihr ganzes Leben lang ein merkwürdig distanzierendes Verhältnis zueinander gehabt. Ob dies nur auf ihre so unterschiedlichen politischen Anschauungen zurückzuführen ist, ist zweifelhaft. Vielleicht hat auch eine unterschiedliche Grundorientierung der beiden eine Rolle gespielt: Virchow war Morphologe, und von der Morphologie hat du Bois-Reymond in zunehmenden Maße immer weniger gehalten.

Neben den akademischen Würden und Ehrungen war die Errichtung des Physiologischen Instituts, in dessen Direktorwohnung, zur Neuen Wilhelmstraße hin gelegen, er mit seiner Familie schon zwei Jahre zuvor eingezogen war, sicher einer der Höhepunkte in du Bois-Reymonds Leben. Aus der Eröffnungsrede habe ich schon mehrfach zitiert. Neben dem großen Hörsaal, er steht im Mittelpunkt des Instituts, ausgerüstet mit allen technischen Errungenschaften der Zeit, gliederten sich vier Abteilungen: die mikroskopisch-biologische Abteilung unter Gustav Fritsch, eine physiologisch-vivisektorische Abteilung unter Hugo Kronecker, später unter Johannes Gag, eine physikalische Abteilung unter Arthur Christiani und

²⁴ Virchow, Rudolf: Ansprache an Herrn Geh. Rath du Bois-Reymond bei der Feier seines 50jährigen Doktorjubiläums am 12. Februar 1893. In: Berl. Klin. Wschr., 30 (1893) S. 198f.

eine chemisch-physiologische Abteilung unter Eugen Baumann, später Albrecht Kossel. „Passende Räumlichkeiten, gute Apparate, Hilfsmittel sind freilich heute unentbehrlich, um in der Physiologie weitere Fortschritte zu ermöglichen. Doch tun sie es nicht allein; zur Klinge gehört des Khalifen Arm“.²⁵ Und man fühlt sich in die Gegenwart versetzt bei dem Satz: „alle kämpfen um Raum und Licht, bei Betrieb um Material und Arbeitskräfte, das heißt um Geld“!

Auch die Schlußsätze der Eröffnungsrede könnten aus der heutigen Zeit stammen: „Es ist wahr, die Wissenschaft ward schwieriger und es werden an Sie, meine Herren, größere Anforderungen gestellt, als an ihre Vorgänger im medizinischen Studium. Aber unstreitlich in noch höherem Grade sind die Unterrichtsmittel vervollkommenet. Der Genies wegen (möchten doch recht viele unter Ihnen sein) ist diese Anstalt weniger da: die Genies haben stets auch ohne dergleichen sich durchgeschlagen. Sondern dem Durchschnittskopfe, ja dem Minderbegabten gesunde physiologische Anschauungen und tüchtige induktive Schulung als Leuchte und Wehr in das bedenkliche Halbdunkel der Medizin mitzugeben: dazu ist das Physiologische Institut da, und leistet es dies, so waren die dafür gebrachten Opfer nicht zu groß“.²⁶

Rudolf Virchow hat in seiner Rede 1893 darauf hingewiesen, welche bedeutende Rolle du Bois-Reymond für die Akzeptanz der neuen Naturwissenschaften gespielt hat. Liest man die Titel seiner Reden, so wird die Breite seines Denkens sichtbar: sie reicht von Gedächtnisreden auf seine Lehrer und Freunde – so auf Paul Ermann²⁷, Eduard Hallmann²⁸, Johannes Müller²⁹, Hermann von Helmholtz³⁰ – über wissenschaftshistorische Themen – *Voltaire als Naturforscher*³¹, *La Mettrie*³², *Friedrich II. und Jean-Jacques Rousseau*³³, *Goethe und kein Ende*³⁴

²⁵ Du Bois-Reymond (wie Anm. 1), S. 647f.

²⁶ Ebda., S. 651.

²⁷ Gedächtnisrede auf Paul Ermann. Gehalten in der Leibniz-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 7. Juli 1853. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 51-83.

²⁸ Eduard Hallmanns Leben. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 84-103.

²⁹ Gedächtnisrede auf Johannes Müller. Gehalten in der Leibniz-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 8. Juli 1858. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 135-315.

³⁰ Gedächtnisrede auf Hermann von Helmholtz. Gehalten in der Leibniz-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 4. Juli 1885. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 2, S. 516-570.

³¹ Voltaire als Naturforscher. In der Friedrichs-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 30. Januar 1868 gehaltene Rede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 318-348.

³² La Mettrie. In der Friedrichs-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 28. Januar 1875 gehaltene Rede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 509-539.

³³ Friedrich II. und Jean-Jacques Rousseau. In der Friedrichs-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 30. Januar gehaltene Rede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 2, S. 1-45.

– über wissenschaftstheoretische Themen – *Über die Grenzen des Naturerkennens*³⁵, *Kulturgeschichte und Naturwissenschaft*³⁶, *Die sieben Welträtsel*³⁷ seien genannt – bis zu aktuell politischen Fragestellungen, vor allen Dingen in seinen Rektoratsreden und in Reden zur Geburtstagsfeier des Kaisers – *Der deutsche Krieg*³⁸, *Über das Nationalgefühl*³⁹. Hier fällt dann auch der vielzitierte Satz von der „Berliner Universität, dem Palaste des Königs gegenüber einquartiert“ als dem „geistigen Leibregiment des Hauses Hohenzollern“.⁴⁰ Wichtiger als diese Reden sind die wissenschaftshistorischen und -theoretischen Beiträge, sein Kampf für eine Umgestaltung der Gymnasien – „Kegelschnitte statt griechische Grammatik“ wurde zum geflügelten Wort. Wohl am meisten Aufsehen hat seine Rede auf der 45. Naturforscherversammlung in Leipzig im Jahre 1872 ausgelöst. Du Bois-Reymond reflektiert hier die Grenzen des Naturerkennens und spricht das zum Schlagwort gewordene „Ignorabimus“ aus. In den sieben Welträtseln greift er das Thema noch einmal auf. Ich kann es hier bei dieser Erwähnung belassen, ein spezieller Beitrag der Festveranstaltung wird sich diesem Problem widmen.

„In den letzten 20 Jahren seines Lebens war du Bois-Reymonds Arbeit fast ausschließlich von seinen Arbeiten als beständiger Sekretar der Akademie der Wissenschaften in Anspruch genommen“.⁴¹ Arbeit im Labor fand kaum noch statt. Die Vorlesungen, auch Vorlesungen für Hörer aller Fakultäten, aber hat er gehalten und Prüfungen hat er noch abgenommen. Auch wenn die Bemerkung, er habe im Jahre 1890 immer noch die Physiologie von 1868 vorgetragen, sicher übertrieben ist, in seinen Vorlesungen waren stehende Redewendungen, Anek-

³⁴ Goethe und kein Ende. In der Aula der Berliner Universität am 15. Oktober 1882 gehaltene Rektoratsrede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 2, S. 157-183.

³⁵ Über die Grenzen des Naturerkennens. In der zweiten allgemeinen Sitzung der 45. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Leipzig am 14. August 1872 gehaltener Vortrag. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 441-473.

³⁶ Kulturgeschichte und Naturwissenschaft. Im Verein für wissenschaftliche Vorlesungen zu Köln am 24. März 1874 gehaltener Vortrag. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 567-629.

³⁷ Die sieben Welträtsel. In der Leibniz-Sitzung der Akademie der Wissenschaften am 8. Juli 1880 gehaltene Rede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 2, S. 65-98.

³⁸ Der deutsche Krieg. In der Aula der Berliner Universität am 3. August 1870 gehaltene Rektoratsrede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 393-420.

³⁹ Über das Nationalgefühl. In der Sitzung der Akademie der Wissenschaften zur Geburtstagsfeier des Kaisers und Königs am 28. März 1878 gehaltene Rede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 654-677.

⁴⁰ Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 418.

⁴¹ Rosenthal, Isidor: Biographie und Gedächtnisrede. In: Reden (wie Anm. 1), Bd. 1, S. VII-XXXIII, XXVIII.

doten und Bonmots fest eingeplant und wurden mit dramaturgischer Wirkung dargeboten. Die Schilderungen darüber reichen von wohlwollender Kritik bis zu sarkastischer Denuntiation.

Ähnliches gilt für die Prüfungen. Karl Ludwig Schleich, dessen Lebenserinnerungen *Besonnte Vergangenheit* man durchaus skeptisch gegenüberstehen kann, was ihren Wahrheitsgehalt anbetrifft, schildert seine Physikumerlebnisse recht drastisch. „Es war unerlässlich, einige 40 hoch pathetischer, manchmal sehr geistreicher Schlagsätze des Meisters der Physiologie wortwörtlich herzuleiern ... Solche Sätze lauteten: ‘Wenn das rote Blutkörperchen des Menschen die Größe eines Markstückes hätte, so müßte der dazugehörige Mensch den Chimborasso mit dem Scheitel küssen können ...’ oder ‘Hätte der Mensch die proportionale Muskelkraft eines Flohes, so würde er seinen federnden Leib auf die Spitze des Kölner Domes, ja auf den Montblanc zu schleudern vermögen’“.⁴² Wie hatte du Bois doch in seinem Plädoyer für eine deutsche Akademie der deutschen Sprache gefordert: „Es ist nicht von jedem zu verlangen, daß er geistreich, fein, schwunghaft schreibe, daß er mit sinnvollen Wendungen den Leser gewinne, mit treffenden Gleichnissen ihn erfreue, durch Leidenschaft fortreiße“.⁴³ Für sich selber aber nahm er solches wohl in Anspruch.

Zu Beginn des Wintersemesters 1896 erkrankte du Bois-Reymond, am 26. Dezember starb er in seiner Wohnung an Altersveränderungen der Gefäße. Drei Tage später fand im Großen Hörsaal die Trauerfeier statt, der Sarg wurde von dort aus in einem Trauerzug zum Französischen Friedhof gebracht.

Wir erinnern mit dieser Festveranstaltung an den Begründer der Elektrophysiologie, den Mitbegründer der modernen Physiologie, den Wegbereiter einer naturwissenschaftlichen Medizin und nicht zuletzt an den Erbauer des Hauses, das einst das physiologische Institut beherbergte.

⁴² Schleich, Karl Ludwig: *Besonnte Vergangenheit*, Berlin, 1920, S. 235.

⁴³ Du Bois-Reymond, Emil: *Über eine Kaiserliche Akademie der deutschen Sprache*. In: *Reden* (wie Anm. 1), Bd. 1, S. 474-508.

Ernst Florey

Das 5. Welträtsel – Ignorabimus?

Über die Unmöglichkeit, bewußtes Empfinden
physiologisch zu erklären

*(Vortrag auf der Festveranstaltung anlässlich des 100. Todestages von
Emil du Bois-Reymond (1818–1896) am 14. Dezember 1996 in Berlin)*

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts entstand, wohl auch als Reaktion auf die deutsche Naturphilosophie Schellingscher Prägung, ein überoptimistischer naturwissenschaftlicher Materialismus, der es sich zutraute, alles in der Natur – auch bewußtes Wahrnehmen und Denken – physikalisch-chemisch zu erklären. Berühmt wurden die Worte des Zoologen und Naturalisten Karl Vogt, die dieser in den 40er Jahren in seinen *Physiologischen Briefen* veröffentlichte: „Die Gedanken stehen in dem selben Verhältnis zu dem Gehirn wie die Galle zur Leber oder der Urin zu den Nieren“. Und wenig später schrieb der Mediziner Ludwig Büchner in seinem berühmten Buch *Kraft und Stoff*: „Die Worte Seele, Geist, Gedanke, Empfindung, Wille, Leben bezeichnen keine Wesenheiten, keine wirklichen Dinge, sondern nur Eigenschaften, Fähigkeiten, Verrichtungen der lebenden Substanz ...“

Gegen diese Art von Weltverständnis trat Emil du Bois-Reymond energisch an. Auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte, die am 14. August des Jahres 1872 in Leipzig stattfand, hielt er seinen berühmt gewordenen Vortrag „Über die Grenzen des Naturerkennens“, in dem er erklärte, daß es zwei Grenzen des Naturerkennens gäbe, die der Naturforscher nicht überschreiten könne. Hinter diesen Grenzen verbärgen sich „die Rätsel was Materie und Kraft seien, und wie die ihnen zugrundeliegende Substanz unter bestimmten Bedingungen empfinden, begehren und denken könne“. Der Vortrag endet mit dem dramatischen Wort *‘Ignorabimus’* – wir werden die Antwort nie wissen!

Wohlgemerkt: Du Bois-Reymond war durchaus der Ansicht, daß es möglich sein würde, „die mit den geistigen Vorgängen der Zeit nach stets, also wohl notwendigen materiellen Vorgänge“ im Nervensystem vollkommen zu durchschauen. „Und es wäre natürlich ein hoher Triumph,“ erklärte er, „wenn wir zu sagen wüßten, daß bei einem bestimmten geistigen Vorgang in bestimmten Ganglienzellen und Nervenfasern eine bestimmte Bewegung bestimmter Atome stattfindet.“

Es wäre grenzenlos interessant, wenn wir so mit geistigem Auge in uns hineinblickend die zu einem Rechenexempel gehörige Gehirnmechanik sich abspielen sähen wie die Mechanik einer Rechenmaschine.“

Aber, so stellte er fest, „durch keine zu ersinnende Anordnung oder Bewegung materieller Teilchen [...] läßt sich eine Brücke ins Reich des Bewußtseins schlagen“. „Die neben den materiellen im Gehirn einhergehenden geistigen Vorgänge entbehren also für unseren Verstand des zureichenden Grundes.“

Du Bois-Reymond hält es durchaus für möglich, daß es einmal gelingen könnte, Lebewesen zu erzeugen: „Könnten wir die Bedingungen herstellen, unter denen einst Lebewesen entstanden, so würden [...] wie damals auch heute Lebewesen entstehen“. Er verweist auf die Evolution der Organismen und muß feststellen, daß „an irgendeinem Punkt der Entwicklung des Lebens auf Erden [...] etwas Neues, bis dahin Unerhörtes auf[trat], [...] etwas Unbegreifliches“. Unser Naturerkennen, sagt er, „gelangt hier an eine Kluft, über die kein Steg, kein Fittig trägt: wir stehen an der [...] Grenze unseres Witzes. [...] Dies neue Unbegreifliche ist das Bewußtsein. Ich werde [...] in zwingender Weise dartun, daß nicht allein bei dem heutigen Stand unserer Kenntnis das Bewußtsein aus seinen materiellen Bedingungen nicht erklärbar ist, was wohl jeder zugibt, sondern daß es auch der Natur der Dinge nach aus diesen Bedingungen nicht erklärbar sein wird“.

Du Bois-Reymond benutzt den Ausdruck *‘Bewußtsein’* als gemeinsamen Nenner für alle irgendwie geistigen Vorgänge. „Man braucht nicht Watt sein Parallelogramm erdenkend, nicht Shakespeare, Raphael, Mozart in der wunderbarsten ihrer Schöpfungen begriffen sich vorzustellen, um das Beispiel eines aus seinen materiellen Bedingungen unerklärbaren geistigen Vorganges zu haben. In der Hauptsache ist die erhabendste Seelentätigkeit nicht unbegreiflicher aus materiellen Bedingungen, als das Bewußtsein auf seiner ersten Stufe, der Sinnesempfindung. Mit der ersten Regung von Behagen oder Schmerz, die im Beginn des tierischen Lebens auf Erden ein einfachstes Wesen empfand, oder mit der ersten Wahrnehmung einer Qualität, ist jene unübersteigliche Kluft gesetzt ...“

Du Bois-Reymond benutzt den Begriff der *‘astronomischen Kenntnis’*, worunter er die Kenntnis der Lage und Bewegung eines jeden Atoms im Weltall versteht, insbesondere auch die aller lebenden Körper. Es ist vorteilhaft, diesen Begriff dem heutigen Kenntnisstand der Biologischen Wissenschaften entsprechend zu ersetzen. Wir glauben ja heute an Moleküle und Ionen, an molekulare Prozesse, so wie sie uns heute jedes Lehrbuch der Biochemie, der Biophysik und der Physiologie vorstellt. Was du Bois-Reymond im Jahre 1872 mit dem Begriff *‘astronomische Kenntnis’* meinte, könnte man als *‘vollständige Kenntnis der molekularen Prozesse’* bezeichnen. Den Begriff der astronomischen Kenntnis können wir dann durch den Begriff der *‘molekularen Kenntnis’* ersetzen. Was du Bois-Reymond in seiner Rede erklärte, läßt sich dann in einer modernisierten

Fassung sehr plausibel machen. Bei vollständiger molekularer Kenntnis wären uns, so erklärte er, „Muskelverkürzung, Absonderung in der Drüse, Schlag des elektrischen [Organs], Leuchten des Leuchtorganes, Flimmerbewegung, Wachstum und Chemismus der Zellen [...] so durchsichtig, wie die Bewegungen der Planeten“.

„Machen wir dagegen dieselbe Voraussetzung molekularer Kenntnis für das Gehirn des Menschen, oder auch nur für das Seelenorgan des niedersten Tieres, [...] so wird zwar in bezug auf alle darin stattfindenden materiellen Vorgänge unser Erkennen ebenso vollkommen sein und unser Kausalitätstrieb ebenso befriedigt sich fühlen, wie in bezug auf Zuckung oder Absonderung bei molekularer Kenntnis von Muskel und Drüse. [...] Auch die mit geistigen Vorgängen der Zeit nach stets, also wohl notwendig zusammenfallenden materiellen Vorgänge wären ebenso vollkommen durchschaut. [...] Was aber die geistigen Vorgänge selber betrifft, so zeigt sich, daß sie [...] bei molekularer Kenntnis des Seelenorgans uns ganz ebenso unbegreiflich wären wie jetzt. Im Besitze dieser Kenntnis ständen wir vor ihnen [...] als vor einem völlig Unvermittelten. Die molekulare Kenntnis des Gehirns [...] enthüllt uns darin nichts als bewegte Materie. Durch keine zu ersinnende Anordnung oder Bewegung materieller Teilchen aber läßt sich eine Brücke ins Reich des Bewußtseins schlagen.“

Die großartigen Leistungen moderner Computer und Roboter legen uns heute nahe, daß solche Maschinen so handeln können, als hätten sie Bewußtsein, und es gibt nicht wenige KI-Forscher, die ihren Maschinen auch ein Bewußtsein zuschreiben. Du Bois-Reymond verwies auf Leibniz¹, der erklärt hatte, daß ein mit entsprechendem Wissen ausgestatteter „Geist“ (gemeint ist ein Mensch, ein Ingenieur, – heute würden wir sagen: ein Computerspezialist oder KI-Forscher) eine Maschine bauen könnte, die fähig wäre, „für einige Zeit in einer Stadt sich umher zu bewegen und genau an gewissen Straßenecken umzubiegen [...] Ein solcher Mensch könnte prinzipiell auch einen Körper bilden, der die Handlungen eines Menschen nachahmte“. Dieser Leibnizsche Roboter hätte aber keinen Geist, er wäre bewußtlos.

Du Bois-Reymond hielt den bewußtlosen, traumlos schlafenden Menschen und auch dessen Gehirn für naturwissenschaftlich vollständig beschreibbar. „Der traumlos Schlafende ist begreiflich, so weit wie die Welt, ehe es Bewußtsein gab. Wie aber mit der ersten Regung von Bewußtsein die Welt [...] unbegreiflich ward, so wird auch der Schläfer es wieder mit dem ersten ihm dämmernden Traumbild“.

¹ Réplique aux Réflexions contenues dans la seconde Edition du Dictionnaire critique de Mr. Bayle. In: Erdmann, J. J. (Hg.), G. G. Leibniti Opera philosophica, Berolini, 1840, S. 183ff.

Du Bois-Reymond erklärt – wie so viele Philosophen vor ihm –, daß die erkennbare Welt eigenschaftslos ist und daß die Eigenschaften, die Sinnesqualitäten, erst durch die sinnliche Erfahrung entstünden. „Zwischen bestimmter Lage und Bewegung gewisser Atome eigenschaftsloser Materie in der Sehsubstanz und dem Sehen ist so wenig Beziehung wie zwischen einem ähnlichen Hergang in der Hörsubstanz und dem Hören [...] darum bleibt die objektive Welt der molekularen Kenntnis eigenschaftslos.“

Du Bois-Reymond denkt wie ein moderner Neurobiologe. Er erkennt, „daß wirklich die Sinneseindrücke sich der sogenannten Seele mitteilen, [...] daß die materiellen Bedingungen das Geistesleben beeinflussen“. Er ist überzeugt, daß der menschliche Geist mit dem Gehirn wächst und daß dieser Geist „wesentliche Formen seines Denkens sogar erst durch äußere Wahrnehmungen sich aneignet“. Dem modernen Naturforscher, so stellt er fest, „zeigt sich [...] die geistige Tätigkeit abhängig von der dauernden oder vorübergehenden Beschaffenheit des Seelenorgans. Kein theologisches Vorurteil hindert ihn [...] in den Tierseelen der Menschenseele verwandte, stufenweise minder vollkommene Glieder einer und derselben Entwicklungsreihe zu erblicken“.

Dann heißt es weiter: „Die verschiedene Anordnung derselben Elementarteile, Ganglienzellen und Nervenfasern, bei Wirbeltieren und Wirbellosen belehrt den Naturforscher, daß es hier wie bei anderen Organen weniger auf die Architektur, als auf die Strukturelemente ankommt.“ Wenn da unter ‘*Architektur*’ die äußere Form gemeint ist, dann wäre auch aus heutiger Sicht an dem Satz nichts auszusetzen. Wir sind allerdings heute der Meinung, daß die innere Architektur, die Zytoarchitektur, des Gehirns von grundlegender Bedeutung ist für das, was man früher als das Seelenleben bezeichnete, und das wir heute lieber mit dem Begriff ‘*kognitive Fähigkeiten*’ benennen.

Wir dürfen aber nicht vergessen, daß du Bois-Reymond diesen Vortrag zwanzig Jahre vor der Begründung der Neuronen-Doktrin hielt, mehr als zwanzig Jahre vor der Konzeption der Synapsen und der synaptischen Verschaltung der Hirn-Neurone. Damals sah man das Nervensystem im wesentlichen als aus Nervenfasern aufgebaut an, und für du Bois-Reymond waren für deren Funktion die ‘*Molekeln*’ die entscheidenden Elemente. In seiner Rede ging er ja dann noch weiter und konzipierte ein Wissen, das auch die Elemente dieser Molekeln, die Atome in Betracht zog. Die geistigen Prozesse sind demnach abhängig von Lage und Bewegung der Gehirnatome, und seine Vision einer vollständigen Erklärung der Hirnfunktion war die vollständige Kenntnis von Lage und Bewegung aller Hirnatome. In einem Gedankenexperiment erläutert er dann die Konsequenzen eines solchen Wissens: Man könnte dann, meinte er, von einem einzelnen Menschen, zum Beispiel von Julius Caesar, beliebig viele Exemplare herstellen, und diese hätten dann auch die geistigen Fähigkeiten des Modells:

„Man denke sich alle Atome, aus denen Caesar in einem Augenblick, am Rubicon etwa, bestand, durch mechanische Kunst mit einem Schläge jedes an seinen Ort gebracht und mit seiner Geschwindigkeit im richtigen Sinne versehen. Nach unserer Anschauung wäre dann Caesar geistig wie körperlich wieder hergestellt. Der künstliche Caesar hätte im ersten Augenblick dieselben Empfindungen, Strebungen, Vorstellungen wie sein Vorbild am Rubicon und teilte mit ihm seine Gedächtnisbilder, ererbten und erworbenen Fähigkeiten usf. Man denke sich das gleiche Kunststück im gleichen Augenblicke [...] ein-, zwei-, mehreremal ausgeführt. Worin sonst unterschieden sich im ersten Augenblick der neue Caesar und seine Doppelgänger, als in dem Ort, an dem sie wären zusammengesetzt worden?“

Ein phantastisches Experiment, beste Science-fiction! Außerdem aber ist dieses Beispiel von hervorragendem didaktischen Wert, denn hier wird in überspitzter Form die ganze Problematik, um die es du Bois-Reymond ging, klar gemacht. Der Forscher, der den neuen Caesar und dessen Doppelgänger gebildet hätte, so erklärt du Bois-Reymond, „verstände gleichwohl nicht, wie die von ihm selber richtig angeordneten und im richtigen Sinne fortgeschleunigten Atome deren Seelentätigkeit vermitteln“. Das ist das Rätsel: Wie werden die atomaren Vorgänge in mentale Ereignisse, in bewußtes Erleben transponiert?

Nicht darum geht es also, ob aus den physischen Prozessen, die im Gehirn vor sich gehen, psychische Prozesse – bewußtes Wahrnehmen, Vorstellen und Denken also – entstehen. Daran zweifelte du Bois-Reymond ja gar nicht. Das Rätsel, so sagte er, besteht darin, zu erklären, *wie* das geschieht! Und dieses Rätsel hielt du Bois-Reymond für unlösbar. Die Lösung dieses Rätsels werden wir nie wissen, erklärte er und rief aus: 'Ignorabimus'.

Das Rätsel wird auch heute rege diskutiert, und die Debatte ist keineswegs erledigt – im Gegenteil! Eigenartigerweise wird die erkenntnistheoretische Schwierigkeit dieses Rätsels meist verkannt; sie wurde auch nach du Bois-Reymonds Vortrag von 1872 zumeist nicht verstanden.

Du Bois-Reymond sah sich veranlaßt, seine Position in einer weiteren Rede klarzustellen. Am 8. Juli 1880 hielt er vor der Akademie der Wissenschaften in Berlin seine nicht minder berühmt gewordene Rede „Die sieben Welträtsel“, in der er sieben große Fragen der Naturwissenschaften besprach, die er als Welträtsel bezeichnete: 1. Das Wesen von Materie und Kraft, 2. Der Ursprung der Bewegung, 3. Die Entstehung des Lebens, 4. Die Zweckmäßigkeit in der Natur, 5. Das Entstehen der einfachen Sinnesempfindungen, 6. Das vernünftige Denken und der Ursprung der Sprache und 7. Die Willensfreiheit. Das fünfte dieser Welträtsel behandelt er besonders ausführlich, denn es hat wohl nach seinem ersten Vortrag die größte Kontroverse ausgelöst: die Frage nach der Natur und nach dem Entstehen des Bewußtseins – oder vorsichtiger ausgedrückt –, die Frage wie aus

Hirnprozessen bewußtes Empfinden und Wahrnehmen werden kann, wie die Sinnesqualitäten entstehen. Das sind Probleme, die ja auch noch heute vehement und kontrovers diskutiert werden.

Du Bois-Reymond begann seinen Vortrag mit folgenden Worten: „Als ich vor acht Jahren übernommen hatte, in öffentlicher Sitzung der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte einen Vortrag zu halten, zögerte ich lange bis ich mich entschloß, die Grenzen des Naturerkennens zu meinem Gegenstande zu wählen. Die Unmöglichkeit, einerseits das Wesen von Materie und Kraft zu begreifen, andererseits das Bewußtsein auch auf niederster Stufe mechanisch zu erklären, erschien mir eigentlich als triviale Wahrheit. [...] Daß durch keine Anordnung und Bewegung von Materie auch nur die einfachste Sinnesempfindung verständlich werde, haben längst vortreffliche Denker erkannt. Wohl aber wußte ich, daß über letzteren Punkt falsche Begriffe verbreitet seien; fast aber schämte ich mich, den deutschen Naturforschern so abgestandenen Trunk zu schenken, und nur durch die Neuheit meiner Beweisführung hoffte ich Teilnahme zu erwecken. Der Empfang, der meiner Auseinandersetzung [zuteil] wurde, zeigte mir, daß ich mich in der Sachlage getäuscht hatte. Dem anfangs kühl aufgenommenen Vortrage widerfuhr bald die Ehre, Gegenstand zahlreicher Besprechungen zu werden [...]. Die Kritik schlug alle Töne vom freudig zustimmenden Lob bis zum wegwerfendsten Tadel an, und das 'Ignorabimus', in welchem meine Untersuchung gipfelte, ward förmlich zu einer Art von naturphilosophischem Schiboleth.“²

Du Bois-Reymond macht durchaus deutlich, was er von der Bildung solcher Hörer und Leser hält, wenn er erklärt: „Die durch meinen Vortrag in der deutschen Welt hervorgebrachte Erregung läßt die philosophische Bildung der Nation [...] in keinem günstigen Licht erscheinen.“

Du Bois-Reymond hielt nichts von den Argumenten mancher Biologen, daß auch die Atome und Moleküle Bewußtsein hätten, „womit weder das Bewußtsein überhaupt, noch das einheitliche Bewußtsein des Gesamthirnes erklärt würde“. Erst 1876 hatte der Zoologe Ernst Haeckel sein Buch *Perigenesis der Plastidule*

² Ob du Bois-Reymond mit diesem Wort „Schiboleth“ seine Hörer und Leser herausfordern wollte, wenigstens sich selbst ihre eigene Unwissenheit oder mangelnde Bildung einzugestehen? In neueren Wörterbüchern oder Lexika ist es jedenfalls nicht zu finden. Ich wurde erst in Zedlers Lexikon von 1742 fündig, wo es heißt: „Schiboleth, das Wort, das die lispelnden Ephraemiten nicht aussprechen konnten, sondern Siboleth gesaget, daran sie erkannt wurden, also dass sie in dem Streite wider Jephtha und die Gileaditen an dem Jordan geschlagen und ihrer 42.000 umgebracht wurden. Jud. XII. 6.“

oder die Wellenzugung der Lebensteilchen³ veröffentlicht, in dem er von der Annahme ausging, daß Atome und Atomkomplexe ('Plastidule') beseelt sind. Eine ähnliche Auffassung vertrat ein Jahr später der Botaniker Karl von Nägeli in einem Vortrag über *Die Schranken der naturwissenschaftlichen Erkenntnis*, den er auf der 50. Jahrestagung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte in München hielt⁴ – in offenkundiger Absicht, die Grenzen des Naturerkennens du Bois-Reymonds zu überwinden.

Auch der Berliner Philosoph Eduard von Hartmann (1842–1906) schrieb ähnliches in seinem eigenartigen Werk, das er seiner damals bereits berühmten *Philosophie des Unbewussten* nachschickte: *Das Unbewusste vom Standpunkt der Physiologie und Descendenztheorie. Eine kritische Beleuchtung des naturphilosophischen Theils der Philosophie des Unbewussten aus naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten*. Es wurde 1872 veröffentlicht, im selben Jahr, in dem du Bois-Reymond seinen Ignorabimus-Vortrag hielt. Da heißt es: „Das Ich-Bewußtsein oder Gehirnbewußtsein ist die Summation der Bewußtseine der Hirnzellen.“⁵

In seinem zweiten Vortrag erklärte nun du Bois-Reymond erneut seine Bewunderung für den Philosophen Gottfried Wilhelm Leibniz, der bereits in seinen *Nouveaux essais sur l'entendement humain*⁶ erklärt hatte, daß es keine Modifikation oder Kombination der Teilchen der Materie gäbe, wie klein sie auch seien, welche Wahrnehmung erzeugen könnte. Er zitierte Leibniz' berühmtes Mühlengleichnis aus dessen Monadologie, wo es heißt: „Man ist gezwungen zu gestehen, daß die Wahrnehmung, und was davon abhängt, aus mechanischen Gründen, d. h. durch Figuren und Bewegungen unerklärlich ist. Stellt man sich eine Maschine vor, deren Bau Denken, Fühlen, Wahrnehmen bewirke, so wird man sie sich in denselben Verhältnissen vergrößert denken können, so daß man hineintreten könnte, wie in eine Mühle. Und dies vorausgesetzt wird man in ihrem Inneren nichts antreffen

³ Haeckel, Ernst: *Perigenesis der Plastidule, oder die Wellenzugung der Lebensteilchen. Ein Versuch zur mechanischen Erklärung der elementaren Entwicklungsvorgänge*, Berlin: Reimer, 1876, 79 S.

⁴ Nägeli, Karl von: *Die Schranken der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse*. Beilage zum Tageblatt der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in München, September 1877; wiederabgedruckt in: Nägeli, K. v.: *Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre. Mit einem Anhang: 1. Die Schranken der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse. 2. Kräfte und Gestalten im molekularen Gebiet*, München/Leipzig: R. Oldenbourg, 1884, XI, 822 S.

⁵ Hartmann, Eduard von: *Das Unbewusste vom Standpunkt der Physiologie und Descendenztheorie*, Berlin: Dunckers, 1872, 2. Aufl., Berlin: Dunckers, 1877, S. 74.

⁶ Leibniz, G. W.: *Nouveaux essais sur l'entendement humain*. In: Erdmann, J. J. (Hg.), *G. G. Leibniz Opera omnia*, 1840, S. 375f.

als Teile, die einander stoßen, und nie irgend etwas woraus Wahrnehmung sich erklären ließe.“⁷

Heute würden wir wohl ein anderes Modell wählen, nämlich ein stark vergrößertes Gehirn von der Dimension, die uns etwa ein Elektronenmikroskop darstellen würde. Wir müßten gar nicht hineingehen, um mit Hilfe der heute verfügbaren elektronischen Meßverfahren beobachten zu können, was da vorgeht, wenn die Erregungswellen von Sinnesnerven sich über die neuronalen Netzwerke ausbreiten. Viele Neurobiologen zögern nicht, die Ansicht zu vertreten, daß ein Gehirn durch einen beliebig großen Computer repräsentiert werden könnte, der prinzipiell alle Leistungen eines Gehirns ausführen kann, der also auch – mit Hilfe künstlicher Sinnesorgane – zu komplexen kognitiven Leistungen fähig ist. Ein solcher Computer könnte sogar sich selbst repräsentieren, quasi über sich selbst reflektieren. Die Ansicht wird nicht mehr für abwegig gehalten, daß ein solches Gerät seiner selbst bewußt wäre⁸. Wird du Bois-Reymonds Erkenntnis-Pessimismus damit widerlegt?

Die antivitalistisch eingestellten Physiologen, Hermann von Helmholtz, Carl Ludwig, Sigmund Exner, aber auch Wilhelm Wundt – alles Zeitgenossen du Bois-Reymonds, haben die Frage nach der Entstehung bewußter Empfindung nicht gestellt; sie gingen davon aus, daß die materiellen Vorgänge in den Sinnesnerven und im Gehirn Anlaß bewußter Wahrnehmung sind. An die Existenz eines Bewußtseins glaubten sie genauso wie an die Existenz der Materie; die Frage, wie materielle Prozesse zu Empfindungen werden, haben sie nicht behandelt. Charakteristisch ist eine Aussage von Rudolf Virchow aus dem Jahre 1856⁹: „Alle menschliche Erkenntnis begründet sich auf das Bewußtsein der Einwirkungen, welche der Einzelne von dem erfährt, was ausser ihm ist.

Diese Einwirkungen werden bewusst durch die Veränderungen, welche an den Centralapparaten des Gehirns erregt werden. Der gewöhnliche Weg, auf welchem solche Veränderungen hervorgebracht werden, ist der durch die Sinnesorgane, welche zunächst von äusseren Einwirkungen getroffen werden und ihre eigene Veränderung durch einfache oder mehrfache Nervenverbindungen zum Gehirn fortleiten. [...]

⁷ Leibniz, G. W.: *Monadologie*. In: Erdmann, J. J. (Hg.), *G. G. Leibnitii Opera omnia*, 1840, S. 706.

⁸ Dazu: Flohr, Hans: *Die physiologischen Bedingungen des Bewußtsein*. In: Lenk, H. & H. Poser (Hg.), *Neue Realitäten – Herausforderung der Philosophie*, Berlin: Akademie Verlag, 1994, S. 222-235; Flohr, Hans: *Denken und Bewußtsein*. In: Fedrowitz, J., Matejovski, D. & G. Kaiser (Hg.), *Neuworlds, Gehirn – Geist – Kultur*, Frankfurt a. M./New York: Campus Verlag, 1994, S. 335-353.

⁹ Virchow, Rudolf: *Gesammelte Abhandlungen zur Wissenschaftlichen Medicin*, Frankfurt a. M.: Meidinger, 1856, S. 6ff.

Der menschliche Stolz hat sich darin gefallen, gegenüber dieser mitgetheilten Erregung eine freiwillige als charakteristische Eigenschaft der menschlichen Species aufzustellen, die Spontaneität des Denkens, den Willen. Allein die Beobachtung sowohl der Naturvölker, als des einzelnen Menschen von den ersten Tagen seiner Geburt an zeigt uns, dass eine ursprüngliche Spontaneität nicht besteht, sondern dass von Anfang an überall nur Empfindung und Reflexthätigkeit, oder wie man sagt, instinktive Thätigkeit [...] vorhanden ist. Das neugeborene Kind fühlt noch allein nichts. Es sieht nur die Veränderungen seines Central-Sehapparats, es hört nur die Schwingungen seines Central-Hörorgans. Erst durch die gleichzeitige Veränderung mehrerer Sinnesapparate oder durch eine gewisse Reihenfolge der Veränderungen desselben Organs kommt es zur Vergleichung, zur Unterscheidung, zur distinktiven Thätigkeit. Durch das Unterscheiden gestaltet sich allmählig die Erkenntnis von den Verschiedenheiten zwischen den äusseren Dingen und den inneren Veränderungen des Gehirns, welche durch die Einwirkungen der äusseren Dinge erst hervorgebracht werden, der Gegensatz von Mensch und Aussenwelt, das Bewußtsein des Ich.“

In seinem im Jahre 1858 in zweiter Auflage erschienenen *Lehrbuch der Physiologie des Menschen* setzt Carl Ludwig die Existenz einer Seele ganz einfach voraus. So kann man dann Sätze lesen wie den folgenden: „Die Anregung, welche die Nerven der Seele [...] zur Erzeugung von Empfindung [...] zu ertheilen vermag, belegt man mit dem Namen der physiologischen Nerventhätigkeit oder Nervenkraft.“¹⁰ Aber Carl Ludwig macht (im Abschnitt *Physiologie der Seelenorgane*) deutlich, daß „die Umstände, durch deren Zusammenwirken die Empfindung entsteht so gut wie unbekannt“ sind. „Es muß noch etwas zu den erregten Nerven hinzutreten, damit sich die Empfindung bildet. [...] Diese unter allen Umständen der Empfindung beigefügten Zusätze können aber, wie es scheint, ganz unmöglich begriffen werden aus der Nervenerregung.“¹¹ Es klingt wie eine Verteidigung du Bois-Reymonds, wenn Ludwig später erklärte, der Physiologe würde aus den angegebenen Gründen „es auch verschmähen, durch andere, leicht zu erfindende, zum Theil plausible Unterstellungen, die Annahme zu bekämpfen, welche die Hirnfunktionen ganz unnöthigerweise als ausserhalb der Naturgrenzen stehend ansieht“.¹² Aber er meint hier doch etwas anderes, nämlich, daß der Physiologe sich eines Urteils enthalten müsse, solange die Theorien zur Hirnfunktion noch mangelhaft seien.

¹⁰ Ludwig, Carl: *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*. Bd. 1. Physiologie der Atome, der Aggregatzustände, der Nerven und Muskeln, 2. Aufl., Leipzig/Heidelberg: Winter, 1858, S. 110ff.

¹¹ loc. cit., S. 593ff.

¹² loc. cit., S. 598ff.

Wilhelm Wundt, zum anderen, weist ganz einfach die materiellen Nerven- und Hirnvorgänge den Physiologen, die psychischen Vorgänge dagegen den Psychologen zu und läßt das von du Bois-Reymond erörterte Welträtsel unbeachtet. Die Problematik wird ja auch von anderen prominenten Physiologen, die sich mit Empfindung und Wahrnehmung befassen, nicht erörtert. Ich erwähne nur Hermann von Helmholtz und Ewald Hering. Sie haben sich an dem Ignorabimus du Bois-Reymonds nicht gestoßen und keinen Widerspruch eingelegt; für sie waren die Qualitäten bewußter Sinneswahrnehmung gegebene Tatsachen.

Nicht-Physiologen dagegen protestierten, hielten die Reden eines Naturwissenschaftlers für unwürdig, wenn nicht gar für Schwachsinn. Ernst Haeckel sah sich genötigt, ein Buch zu schreiben, in welchem er die Argumente du Bois-Reymonds ein für allemal widerlegen wollte. Er nannte es in Anlehnung an den Titel von du Bois-Reymonds zweitem Vortrag *Die Welträtsel*. Das Buch wurde 1888 erstmals veröffentlicht und erlebte zahllose Auflagen. Darin drückt Haeckel zunächst sein Erstaunen darüber aus, daß du Bois-Reymond wie auch Virchow, die doch in früheren Jahren eine materialistische Position vertreten hätten, nun in eine sozusagen idealistische Richtung umgeschwenkt seien. So schreibt Haeckel im Kapitel über *Das Wesen der Seele*: „Ein interessantes Beispiel ähnlicher tiefgreifender Wandelung bieten zwei der berühmtesten Naturforscher, R. Virchow und E. Du-Bois-Reymond: die Metamorphose ihrer psychologischen Grundanschauungen darf um so weniger übersehen werden, als beide Berliner Biologen mehr als 40 Jahre hindurch an der größten Universität Deutschlands eine höchst bedeutende Rolle gespielt und sowohl direkt wie indirekt einen tiefgreifenden Einfluß auf das moderne Geistesleben geübt haben.“¹³ Und nach einer Besprechung der veränderten Geisteshaltung von Rudolf Virchow heißt es dann weiter:

„Ähnliche Widersprüche in bezug auf die wichtigsten philosophischen Grundsätze wie Virchow hat auch Emil Du Bois-Reymond gezeigt und damit den lauten Beifall der dualistischen Schulen und vor allem der *Ecclesia militans* errungen. Je mehr dieser berühmte Rektor der Berliner Akademie im Allgemeinen die Grundsätze unseres Monismus vertrat, je mehr er selbst zur Widerlegung des Vitalismus und der transzendenten Lebensauffassung beigetragen hatte, desto lauter war das Triumphgeschrei der Gegner, als er 1872 in seiner wirkungsvollen Ignorabimus-Rede das 'Bewußtsein' als ein unlösbares Welträtsel hingestellt und als eine übernatürliche Erscheinung den anderen Gehirnfunktionen gegenübergestellt hatte.“

Es folgt dann eine wohl sehr boshafte Bemerkung: „Man kann [...] behaupten, daß die großen Männer der Wissenschaft in jüngeren Jahren unbefangener und

¹³ Haeckel Ernst: *Die Welträtsel*. Zitiert nach der 11. Auflage, 1919, Leipzig: Kröner, 1919; Neudruck Stuttgart: Kröner, 1984, S. 127f.

mutiger an ihre schwierige Aufgabe herantreten, daß ihr Blick freier und ihre Urteilskraft reiner ist; die Erfahrungen späterer Jahre führen vielfach nicht nur zur Bereicherung, sondern auch zur Trübung der Einsicht, und mit dem Greisenalter tritt allmählich Rückbildung ebenso im Gehirn wie in den anderen Organen ein.“¹⁴

Schließlich heißt es dann im Kapitel *Bewußtsein und Seele*:¹⁵ „In dem berühmten Vortrage ‘über die Grenzen des Naturerkennens’, welchen E. du Bois-Reymond am 14. August 1872 auf der Naturforscherversammlung in Leipzig hielt, stellt derselbe zwei verschiedene ‘unbedingte Grenzen’ unseres Naturerkennens auf, welche der menschliche Geist auch bei vorgeschrittenster Naturerkenntnis niemals überschreiten werde – niemals, wie das oft zitierte Schlußwort des Vortrags ausdrücklich betont: ‘Ignorabimus!’ . [...]

Der merkwürdige Erfolg der Ignorabimus-Rede [...] erklärt sich aus zwei Gründen, einem äußeren und einem inneren. Äußerlich war dieselbe unzweifelhaft ‘ein bedeutungsvolles rhetorisches Kunstwerk, eine schöne Predigt von hoher Vollendung der Form und überraschendem Wechsel naturphilosophischer Bilder. Bekanntlich beurteilt aber die Mehrheit eine schöne Predigt nicht nach dem wahren Ideengehalte, sondern nach dem ästhetischen Unterhaltungswerte’ (Monismus, S. 44). Innerlich analysiert dagegen enthält die Ignorabimus-Rede das entschiedene Programm des metaphysischen Dualismus; die Welt ist ‘doppelt unbegreiflich’: einmal die materielle Welt, in welcher ‘Materie und Kraft’ ihr Wesen treiben, und gegenüber, ganz getrennt, die immaterielle Welt des ‘Geistes’, in welcher ‘Denken und Bewußtsein nicht aus materiellen Bedingungen erklärbar’ sind wie bei der ersteren. [...]

Auch im ‘Monismus’ habe ich denselben [Ignorabimus-Vortrag] wiederholt berührt. Du Bois-Reymond, welcher dadurch an seiner empfindlichsten Stelle getroffen war, antwortete sehr gereizt in verschiedenen Reden; auch diese sind, wie die meisten seiner vielgelesenen Reden, blendend durch den eleganten französischen Stil und fesselnd durch den Bilderreichtum und die überraschenden Redewendungen. Aber eine wesentliche Förderung der Welterkenntnis liefert ihre oberflächliche Betrachtungsweise nicht.“

Ein schlimmeres Mißverständnis der ‘Ignorabimus-Rede’ du Bois-Reymonds läßt sich kaum vorstellen. Aber Haeckels Argumente fanden größeren Zuspruch als die von du Bois-Reymond, die auch heute noch von denen mißverstanden werden, die das so verketzerzte ‘Leib-Seele-Problem’ aus der Welt geschafft zu haben meinen, indem sie entweder das Bewußtsein als ‘*emergent*’ bezeichnen und ihm eine absurde Bedeutung zuschreiben, die für das tatsächliche Leben und

¹⁴ loc. cit., S. 137.

¹⁵ loc. cit., S. 231f.

Verhalten des Menschen ohne Konsequenz ist, weil es ja kausal unwirksam ist, – oder aber, indem sie die bewußte Empfindung einfach als die andere Seite der Münze, nämlich der Nerventätigkeit auffassen, wobei sie dann gerade die Frage, die du Bois-Reymond so beschäftigte, ignorieren, nämlich wie es denn kommt, daß diese Münze zwei so prinzipiell verschiedene Seiten hat.

Du Bois-Reymond war überzeugt, *daß* bewußte Empfindung, ja daß die Seele – sofern man unter Seele die Summe der sogenannten psychischen Erscheinungen versteht – erst durch Nerventätigkeit entsteht. Er gestand es dem Physiologen zu, daß er die physischen Bedingungen von Empfindung und Wahrnehmung untersuchen kann und daß er diese eines Tages auch vollständig wird beschreiben können. Nur die Frage, *wie* aus den physischen Nervenprozessen bewußte Empfindung und Wahrnehmung wird, die hielt er für unbeantwortbar, weil er meinte, die naturwissenschaftliche Erklärung bestünde in einer mechanischen Analyse der Nervenmaterie, in der vollständigen Beschreibung der Position und Bewegung aller Hirnatome.

Es gibt neue Denkansätze, die uns das Problem in anderer Weise sehen lassen. Schon Bertrand Russel¹⁶ hat sie dargelegt, und neuerdings sind sie unter dem Namen '*radikaler Konstruktivismus*' bekannt geworden. Die Welt, die wir wahrnehmen und erkennen, ist demnach das Produkt unseres Gehirns, aber dieses von uns erkannte Gehirn ist als Teil dieser konstruierten Welt, ebenfalls ein Konstrukt. Es gibt also zwei Gehirne: Das '*Gehirn an sich*' – Gerhard Roth¹⁷ nennt es das '*reale Gehirn*' – welches, als solches unwahrnehmbar, unsere Welt konstruiert und dabei das wahrgenommene Gehirn erzeugt, das Roth das '*wirkliche Gehirn*' nennt, weil es Teil der vom realen Gehirn erzeugten Wirklichkeit ist. Roth erklärt: „Ich habe diejenigen Dinge und Vorgänge, die ich anschaulich wahrnehme, als Konstrukte des Gehirns bezeichnet. Was aber ist mit meinem Gehirn, das ich ja ebenfalls anschauen kann, zum Beispiel mithilfe eines Computertomographen? Ich könnte mir auch in einem heroischen Selbstversuch den Schädel öffnen und dann mein Gehirn im Spiegel oder mithilfe einer Videokamera ansehen. Ich stelle dann folgende Vermutung an: Wie alles, was ich wahrnehme, ist auch dieser Sinneseindruck ein Konstrukt des Gehirns. Das Gehirn erzeugt also ein Konstrukt von sich selbst. Dies tut es ganz offensichtlich deshalb, weil die Netzhaut von bestimmten optischen Reizen in bestimmter Weise erregt wird und das visuelle System in der geschilderten Weise mithilfe des Gedächtnisses hieraus eben dieses Bild meines Gehirns zusammensetzt. Das bedeutet aber, daß dieses Gehirn, das ich betrachte und als meines identifiziere, nicht dasjenige Ge-

¹⁶ Russel, Bertrand: *My Philosophical Development*, London: George Allen & Unwin, 1959.

¹⁷ Roth, Gerhard: *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. 5. Aufl., Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1996.

hirn sein kann, welches mein Wahrnehmungsbild von diesem Gehirn hervorbringt. Würde ich beide Gehirne miteinander identifizieren, so käme ich zu der Schlußfolgerung, daß mein Gehirn sich als echte Teilmenge enthält. Ich wäre nämlich zugleich in mir und außer mir, und der Operationsaal, in dem ich mich dann befinde, wäre zugleich in meinem Gehirn, und das Gehirn (zusammen mit dem Kopf und Körper) in dem Operationsaal. Um derartige absurde Schlußfolgerungen zu vermeiden, müssen wir zwischen einem realen Gehirn, welches die Wirklichkeit hervorbringt, und dem wirklichen Gehirn unterscheiden. Daraus folgt: Dasjenige Gehirn, das mich hervorbringt, ist mir selbst unzugänglich, genauso wie der reale Körper, in dem es steckt, und die Reale Welt, in welcher der Körper lebt. Daraus folgt zugleich: Nicht nur die von mir wahrgenommenen Dinge sind Konstrukte in der Wirklichkeit, ich selbst bin ein Konstrukt. Ich komme unabweisbar in dieser Wirklichkeit vor. Dies bedeutet, daß das reale Gehirn eine Wirklichkeit hervorbringt, in der ein Ich existiert, das sich als Subjekt seiner mentalen Akte, Wahrnehmungen und Handlungen erlebt, einen Körper besitzt und einer Außenwelt gegenübersteht.¹⁸

Ganz ähnlich argumentierte Bertrand Russel, nur daß in seiner Darstellung das Gehirn nicht durch einen Computertomographen, sondern unterm Mikroskop beobachtet wird. Er erklärte:¹⁹ „What you see when you look at a brain through a microscope is part of your private world. It is the effect in you of a long causal process starting from the brain that you say you are looking at. The brain that you say you are looking at is, no doubt, part of the physical world; but this is not the brain which is a datum in your experience. That brain is a remote effect of the physical brain.“ Und dann fährt Russel fort: „We may define ‘mind’ as a collection of events connected with each other by memory chains backwards and forwards. We know one such collection of events – namely that constituting our self – more intimately and directly than we know anything else in the world. In regard to what happens to ourself, we know not only abstract logical structures, but also qualities – by which I mean what characterizes sound as opposed to colours, or red as opposed to green. This is the sort of thing that we cannot know where the physical world is concerned.“

Diese Argumentation gibt dem 5. Welträtsel eine neue Perspektive, aber auch sie kann dieses Rätsel nicht lösen. Der naive Realismus, welcher den üblichen Forschungsansätzen der Physiologen zugrunde liegt, wird zwar umgangen, aber wie soll dann Bewußtsein erklärt werden, wenn die Welt, und mit ihr das Gehirn, von dem wir ja wissen wollen, wie es Bewußtsein erzeugt, bereits Teil dieser bewußten Welt ist? Dann müssen wir ja die Frage, die du Bois-Reymond stellte,

¹⁸ loc. cit. S. 328f.

¹⁹ Russel, Bertrand: *My Philosophical Development*, London: George Allen & Unwin, 1959, p. 25ff.

umkehren. Nicht wie Bewußtsein entsteht, sondern wie aus Prozessen, die sich im „wirklichen Gehirn“ abspielen, die reale Welt und das reale Gehirn, das „Gehirn an sich“ (um mit Kant zu reden) entstehen kann, das ist nun die Frage. Hat Russel recht, wenn er erklärt: „This is the sort of thing that we cannot know“?

Mag sein, daß du Bois-Reymond damals sein fünftes Welträtsel noch nicht richtig formuliert hat, aber sein „Ignorabimus“ gilt heute erst recht!

Wolf Singer

Bewußtsein, etwas „Neues, bis dahin Unerhörtes“

(Vortrag auf der Festveranstaltung anlässlich des 100. Todestages von Emil du Bois-Reymond (1818–1896) am 14. Dezember 1996 in Berlin)

„Dies Neue, Unbegreifliche ist das Bewußtsein. Ich werde jetzt, wie ich glaube, in sehr zwingender Weise dartun, daß nicht alleine bei dem heutigen Stand unserer Kenntnis das Bewußtsein aus seinen materiellen Bedingungen nicht erklärbar ist, was wohl jeder zugibt, sondern auch, daß es der Natur der Dinge nach aus diesen Bedingungen nie erklärbar sein wird. [...] Welche denkbare Verbindung besteht zwischen bestimmten Bewegungen bestimmter Atome in meinem Gehirn einerseits, andererseits den für mich ursprünglichen, nicht weiter definierbaren, nicht wegzuleugnenden Tatsachen: ‘Ich fühle Schmerz, ich fühle Lust, fühle warm, fühle kalt; ich schmecke Süßes, rieche Rosenduft, höre Orgelton, sehe Rot’ und der ebenso unmittelbar daraus schließenden Gewißheit: ‘Also bin ich?’ [...] Es ist in keiner Weise einzusehen, wie aus ihrem (der Atome) Zusammenwirken Bewußtsein entstehen könnte. Sollte ihre Lagerungs- und Bewegungsweise ihnen nicht gleichgültig sein, so müßte man sie nach Art der Monaden schon einzeln mit Bewußtsein ausgestattet denken. Weder wäre damit das Bewußtsein überhaupt erklärt, noch für die Erklärung des einheitlichen Bewußtseins das Mindeste gewonnen.“ So Emil du Bois-Reymond in seinem Vortrag *Über Grenzen der Naturerkennntnis*, den er 1872 auf der Tagung der Naturforscher und Ärzte gehalten hat.

„En conséquence, les théories de l'évolution qui, en fonction des philosophies qui les inspirent, considèrent l'esprit comme émergeant des forces de la matière vivante ou comme un simple épiphénomène de cette matière sont incompatibles avec la vérité de l'homme. Elles sont d'ailleurs incapables de fonder la dignité de la personne.

Avec l'homme, nous nous trouvons donc devant une différence d'ordre ontologique, devant un saut ontologique, pourrait-on dire. Mais poser une telle discontinuité ontologique, n'est-ce pas aller à l'encontre de cette continuité physique qui semble être comme le fil conducteur des recherches sur l'évolution, et ceci dès le

plan de la physique et de la chimie? La considération de la méthode utilisée dans les divers ordres du savoir permet de mettre en accord deux points de vue qui sembleraient inconciliables. Les sciences de l'observation décrivent et mesurent avec toujours plus de précision les multiples manifestations de la vie et les inscrivent sur la ligne du temps. Le moment du passage au spirituel n'est pas objet d'une observation de ce type, qui peut néanmoins déceler, au niveau expérimental, une série de signes très précieux de la spécificité de l'être humain. Mais l'expérience du savoir métaphysique, de la conscience de soi et de sa réflexivité, celle de la conscience morale, celle de la liberté, ou encore l'expérience esthétique et religieuse, sont du ressort de l'analyse et de la réflexion philosophiques, alors que la théologie en dégage le sens ultime selon des desseins du Créateur.“ So Papst Johannes Paul II. am 22. Oktober 1996 in seiner Botschaft an die Päpstliche Akademie der Wissenschaften, in der er einräumt, daß es sich bei der Evolutionstheorie um mehr als nur eine Hypothese handelt. Konvergenz also bei der Beurteilung der Möglichkeit, den Ursprung von Leben und die Entstehung der Arten einschließlich des Menschen im Rahmen naturwissenschaftlicher Beschreibungssysteme darzustellen. Nahezu gleichlautende Zweifel jedoch im Hinblick auf die Möglichkeit einer reduktionistischen Erklärung mentaler Phänomene wie subjektive Empfindungen, Intentionalität und die Erfahrung, ein freies autonomes Selbst zu sein, das zwar in einem biologisch begründeten Organismus residiert, von diesem aber ontologisch verschieden ist. Diese Phänomene, so die über Jahrhunderte unveränderte Position, verschlossen sich einer reduktionistischen Erklärung im Rahmen naturwissenschaftlicher Beschreibungssysteme. Je überzeugender die Beweise dafür werden, daß wir unser Dasein und Sosein einem kontinuierlichen evolutionären Prozeß verdanken, in dessen Verlauf es keinen Hinweis auf ontologische Sprünge gibt, um so zwingender wird die Notwendigkeit, sich erneut mit dem Phänomen der Emergenz mentaler Qualitäten auseinanderzusetzen. Da die Phänomene, die wir gemeinhin unter Bewußtsein subsumieren, unzweifelhaft auf kognitiven Funktionen unserer Gehirne beruhen, möchte ich das Phänomen des Bewußtseins im Lichte dessen erneut kommentieren, was wir heute über die Evolution und unsere Gehirne zu wissen glauben.

Was hat sich zugetragen? Die Evolution von Leben begann mit der Aggregation der elementaren Bausteine von Materie zu komplexen Molekülen, deren Eigenschaft es war, ihresgleichen über autokatalytische Prozesse zu replizieren. Zu Beginn wurden diese Prozesse der Selbstreproduktion wohl ausschließlich von Ribonukleinsäure-Molekülen (RNS) getragen. Durch die Synthese von enzymatisch wirkenden Proteinen ließ sich die Effektivität dieser reproduktiven Vorgänge steigern, und schließlich kam es zur Erfindung von Arbeitsteilung im Reproduktionsprozeß. Desoxyribonucleinsäure-Moleküle (DNS), die späteren Gene, übernahmen die Speicherung der zur Reproduktion notwendigen Information, die

bislang allein zuständige RNS spezialisierte sich auf die Informationsvermittlung. Ihr fiel es zu, die in den DNS-Sequenzen gespeicherte Information abzulesen und die Synthese von Makromolekülen zu veranlassen, die ihrerseits den Reproduktionsvorgang begünstigen und schließlich den Phenotyp der reproduktionsfähigen Makrostrukturen bestimmen. Irgendwann kam es dann zur Erfindung von Zellmembranen, die diese Reproduktionsmaschinerie umschlossen, die ersten autonomen einzelligen Organismen waren geboren. Schon bald statteten sich diese mit primitiven Sensoren an der Oberfläche aus, die über Kaskaden interagierender Makromoleküle an Effektoren gekoppelt wurden. Die einzelligen Organismen erlangten die Fähigkeit, auf Reize zu reagieren. Die Erfindung kontraktile Moleküle verhalf diesen frühen Organismen zur Beweglichkeit und eröffnete ihnen die Option, die zur Strukturhaltung und Reproduktion erforderlichen Energiequellen aktiv aufzusuchen und Bedingungen zu meiden, die ihre Integrität gefährden könnten. Ein erster Schritt zur Autonomie war getan. Offensichtlich erwies sich das Prinzip der Arbeitsteilung als zweckmäßig. Es führte zur Aggregation von Zellen zu vielzelligen Organismen, deren Komponenten sich spezialisierten und unterschiedliche Aufgaben übernahmen. Ein Teil der Organismen bezahlte die potentiellen Vorteile der Vielzelligkeit mit der Preisgabe ihrer Motilität. Die bis dahin verfügbaren Systeme zur Informationsweiterleitung und -verarbeitung reichten nicht aus, um die Koordinierungsprobleme zu lösen, die vielzellige Organismen bewältigen müssen, um zielgerichtete Bewegungen auszuführen. Wie der evolutionäre Erfolg der Pflanzen beweist, können jedoch die Vorteile der arbeitsteiligen Vielzelligkeit die Nachteile der Unbeweglichkeit durchaus kompensieren. Andere Organismen vermochten die Vorteile der Vielzelligkeit mit denen der Beweglichkeit zu vereinen. Sie lösten das Problem der effektiven Informationsweiterleitung und -verarbeitung durch die Entwicklung von Nervenzellen. Es war dies der entscheidende Durchbruch zur Evolution zunehmend komplexer und autonomer Organismen. Nervenzellen erschlossen die Möglichkeit, Signale aus der Umwelt in beliebiger Weise zu rekombinieren, im Kontext der Bedürfnisse des Organismus zu bewerten und durch Verhaltensmodifikation in flexibler Weise zu beantworten. Durch die Erfindung von Nervenzellen ließen sich die Vorteile von Spezialisierung und Arbeitsteilung voll ausschöpfen. Ohne ein versatiles System zur Informationsverarbeitung führt Spezialisierung in der Regel zur Verminderung von Flexibilität. Das Umgekehrte gilt, wenn es gelingt, spezialisierte Funktionen auf effektive Weise zu kombinieren und zu koordinieren. Entsprechend ging während der nun folgenden Evolution die Differenzierung von Sensoren und Effektoren mit einer ständigen Verbesserung der informationsverarbeitenden Strukturen einher. Im wesentlichen beruhten diese Verbesserungen auf der Optimierung von Strategien zur Bewältigung kombinatorischer Probleme, auf der Vermehrung von Optionen, die Ergebnisse dieser kombinatorischen Operationen

zu speichern und dieses so erworbene „Wissen“ über die Welt für die Steuerung von Verhaltensreaktionen verfügbar zu halten. Es kam zur Herausbildung von Gehirnen, zur zentralen Verwaltung von Information. Obgleich die strukturellen, biochemischen und damit auch die physiologischen Eigenschaften von Nervenzellen seit ihrem ersten Auftreten in Molusken bis hin zum menschlichen Gehirn über alle Phyla hinweg auf frappierende Weise nahezu unverändert geblieben sind, gab es bei der Entwicklung von zentralen Nervensystemen offenbar verschiedene Optionen. Die von den Wirbeltieren eingeschlagene Strategie erwies sich offenbar als die ausbaufähigste. Bei ihnen, und hier wiederum bei den warmblütigen und insbesondere bei den Säugetieren, erreichten die Gehirne ein Höchstmaß an Differenziertheit und Komplexität. Dies wiederum scheint vorwiegend auf der Entwicklung einer ganz bestimmten Hirnstruktur zu beruhen, der Großhirnrinde. Sie ist die letzte große Erfindung der Evolution. Seit ihrem ersten Auftreten bei niederen Wirbeltieren, wie etwa der Schildkröte, wurden keine neuen Hirnstrukturen mehr entwickelt. Die hochdifferenzierten Gehirne von Primaten und Menschen unterscheiden sich von den weniger komplexen Wirbeltiergehirnen im wesentlichen nur durch die dramatische Zunahme des Volumens der Großhirnrinde. Folglich müssen all jene Leistungen, die uns von Primaten, und diese wiederum von Tieren mit einfacher strukturierten Gehirnen unterscheiden, der Großhirnrinde zugeschrieben werden.

Die Frage nach der biologischen Bedingt- und Besonderheit des Menschseins ist somit eng verbunden mit der Frage nach den Funktionen der Großhirnrinde. Wie zu zeigen sein wird, ist diese Struktur in ganz besonderem Maße geeignet, kombinatorische Probleme zu lösen, die Ergebnisse in universellen Datenformaten zu kodieren und zu speichern und dieses Wissen in flexibler Weise zur Steuerung von Verhalten umzusetzen. Wie sehr die Entwicklung von Großhirnrindenfunktionen mit der Emergenz mentaler, spezifisch menschlicher Qualitäten verbunden ist, läßt sich nicht nur aus der Evolution unserer Gehirne ableiten, sondern auch aus der Individualentwicklung. Die Entwicklung des menschlichen Gehirns ist zum Zeitpunkt der Geburt nicht abgeschlossen, sondern zieht sich bis zur Pubertät hin, wobei die meisten dieser späten Entwicklungsschritte auf der Ausreifung von Großhirnrindenfunktionen beruhen. Von besonderem Interesse ist im gegenwärtigen Kontext, daß zwischen diesen protrahierten Entwicklungsprozessen und der Expression mentaler Leistungen eine faszinierend enge Korrelation besteht. So ist zum Beispiel die Fähigkeit, Reaktionen auf Reize zurückzustellen und erst nach Durchspielen von Modellen möglicher Folgen zuzulassen, unmittelbar von der Ausreifung gewisser präfrontaler Rindenregionen abhängig. Ein ähnlich enger Zusammenhang besteht zwischen dem Erwerb der Fähigkeit, invertierte Frage-sätze zu bilden, und der Ausreifung sprachkompetenter Rindenareale.

Bereits auf der Basis des heutigen Wissens läßt sich nahezu lückenlos nachvollziehen, wie Umweltreize in neuronale Aktivität umgesetzt und zu invarianten Repräsentationen, den Grundlagen aller kognitiven Leistungen, verarbeitet werden. Auch ist nachvollziehbar, wie Entscheidungsprozesse organisiert und Handlungsabfolgen programmiert werden. Eine Fülle von Teilfunktionen sind inzwischen durch neuronale Wechselwirkungen vollständig erklärbar. Zwar gibt es noch zahlreiche ungelöste Probleme hinsichtlich der dynamischen Koordination und Bindung dieser Teilfunktionen. Im Prinzip aber, so scheint es, sollte es möglich sein, alle Hirnleistungen, einschließlich der höchsten mentalen und psychischen Funktionen, auf neuronale Wechselwirkungen zurückzuführen, die den bisher bekannten Gesetzmäßigkeiten folgen.

So dies zutrifft, muß gelten, daß alleine die Vermehrung der Großhirnrinde dafür verantwortlich gemacht werden muß, daß wir nicht nur Signale aus der Umwelt und aus unserem Körper verarbeiten, wahrnehmen, erinnern und in Aktionen umsetzen können, sondern daß wir zudem fähig sind, uns dieser Vorgänge gewahr zu werden, ja mehr noch, daß wir die Gabe haben, mentale Modelle von Vorgängen in je anderen Gehirnen zu erstellen, daß wir in Diskurse eintreten können der Art: „ich weiß, daß Du weißt, daß ich fühle“ oder „ich weiß, daß Du weißt, daß ich meiner bewußt bin“. Und dennoch legt unsere Intuition nahe, daß zwischen den einfachen Hirnleistungen, die zu angepaßten Reaktionen befähigen, und diesen mentalen Prozessen qualitative Unterschiede bestehen, die durch eine lediglich quantitative Vermehrung von Hirnrinde alleine nicht zu erklären sind, daß die mentalen Phänomene, die du Bois-Reymond unter dem Begriff Bewußtsein subsumiert, einen anderen ontologischen Status beanspruchen als all jene Hirnfunktionen, für deren reduktionistische Erklärung wir keine Schwierigkeiten antizipieren.

Ich werde im folgenden die Position verteidigen, daß die mentalen Phänomene, die du Bois-Reymond mit Bewußtsein umreißt, in der Tat einer anderen ontologischen Kategorie zugeschrieben werden müssen als die unproblematisch erscheinenden Hirnleistungen wie Reizverarbeitung, Speicherung, Wahrnehmung und Verhaltenssteuerung, daß Bewußtsein aber dennoch als Phänomen verstanden werden kann, das auf der Basis von Hirnfunktionen entsteht, die im Rahmen neurobiologischer Beschreibungssysteme erklärt werden können. Ich werde versuchen zu zeigen, daß es möglich ist, mentale Phänomene als Konsequenz kontinuierlicher evolutionärer und ontogenetischer Prozesse zu verstehen, und daß das Auftreten qualitativer Sprünge alleine noch kein Grund ist, der Versuchung nachzugeben, einen dualistischen Standpunkt einzunehmen.

Am Beispiel der Evolution der Großhirnrinde läßt sich nachvollziehen, wie durch Iteration der immer gleichen Prozesse neue Qualitäten entstehen können. Die während der Evolution von Primaten- und Menschengehirnen hinzugekommenen

neuen Areale der Großhirnrinde scheinen mit den bereits vorhandenen so verbunden zu sein wie letztere mit den Sinnesorganen. Da sich die „alten“ und „neuen“ Rindenareale strukturell gleichen und somit davon ausgegangen werden kann, daß sie die gleichen Basisoperationen ausführen, muß gelten, daß die neu hinzugekommenen Areale die Verarbeitungsergebnisse der bereits vorhandenen in genau der gleichen Weise behandeln wie diese die Signale der Sinnesorgane. Die neu hinzugekommenen Areale nehmen gewissermaßen die Funktion eines inneren Auges wahr. Sie können dies, ohne weiterer eigener Sinnesorgane zu bedürfen, weil die zu verarbeitenden Signale bereits in der Sprache der Großhirnrinde kodiert sind. Die neu hinzugekommenen Areale brauchen lediglich mit den bereits vorhandenen verbunden zu werden, um deren Verarbeitungsergebnisse erneut zum Gegenstand eines kognitiven Prozesses zu machen. Die hirnternen Prozesse, die zu primären Wahrnehmungsleistungen befähigen, werden auf diese Weise selbst zum Gegenstand weiterer kognitiver Prozesse. Die Iteration von im Prinzip gleichartigen Verarbeitungs- und Repräsentationsprozessen genügt, um kognitive Leistungen höherer Ordnung hervorzubringen, Leistungen, die zur reflektiven Analyse und Repräsentation hirnterner Prozesse befähigen. Gehirne, die diese Organisationsstufe aufweisen, sind in der Lage, über die in ihnen ablaufenden Verarbeitungsprozesse Protokoll zu führen. Wenn nun, was der Fall ist, diese kognitiven Strukturen höherer Ordnung ihrerseits Zugang zu Effektor-systemen haben, können sich Gehirne über Aktionen des sie beherbergenden Organismus, also Gesten, Taten, und bei Menschen schließlich durch Sprache, darüber austauschen, was in ihnen vorgeht. Sie können dem je anderen Gehirn mitteilen, welche Wahrnehmungen sie haben, wie sie diese emotional bewerten und in welcher Verhaltensdisposition sie sich befinden. Mein Vorschlag ist nun, daß durch, und erst durch diesen reziproken Abbildungsprozeß, durch diesen Dialog zwischen Gehirnen, die zusätzliche Erfahrung vermittelt wird, Individualität zu besitzen, ein mit Intentionalität ausgestatteter Agent zu sein; ein Wesen, das zu subjektiven Empfindungen fähig ist, entscheiden kann, Bewußtsein hat: Bewußtsein als Ergebnis der Reflexion im je anderen.

Bewußtsein in dem Sinne, in dem wir Menschen es verstehen und in dem es du Bois-Reymond zum Problem wurde, wäre somit ein Phänomen, das nicht mehr als emergente Qualität eines einzelnen Gehirns anzusehen ist, sondern als Phänomen, das Eigenschaften hat, die nur durch die Wechselwirkung mit anderen Gehirnen entstehen können. Damit aber erlangt Bewußtsein den ontologischen Status einer sozialen Realität, es erhält eine interpersonelle Konnotation. Und mehr noch, weil die am Dialog mit dem werdenden Gehirn partizipierenden Bezugspersonen ihrerseits hinsichtlich ihrer kognitiven Strukturen stark von kulturellen Einflüssen geprägt sind, erhält Bewußtsein eine zusätzliche historische Dimension. Bewußtsein, das Sichgewahrsein seiner selbst, wird in dieser Be-

trachungsweise zu einem Produkt nicht nur der biologischen, sondern auch der kulturellen Evolution. Daraus folgt, daß unsere spezifische Art, uns zu erfahren, uns unseres Selbst bewußt zu sein, kulturspezifische Merkmale aufweisen muß. Unsere Icherfahrung ist deshalb mit hoher Wahrscheinlichkeit verschieden von der unserer Vorfahren oder Angehöriger anderer Kulturkreise.

Diese Sichtweise macht deutlich, warum wir so große Schwierigkeiten haben. „Bewußtsein“, die Erfahrung von Qualia, von subjektiven Empfindungen, innerhalb neurobiologischer Beschreibungssysteme einer reduktionistischen Erklärung zuzuführen, wie uns dies ohne Mühe für primäre sensorische Prozesse oder für die Koordination von Verhaltensreaktionen gelingt. Der Grund ist, daß Phänomene, die erst durch interzerebralen Diskurs entstehen, eine interpersonelle und damit soziale Dimension haben und sich somit einer Erklärung innerhalb von Beschreibungssystemen entziehen, die sich, wie die Neurobiologie, definitionsgemäß ausschließlich mit Prozessen innerhalb eines einzelnen Gehirns befassen. Dies, so mein Vorschlag, ist auch einer der Gründe, warum wir bestimmte Aspekte des Bewußtseins als immaterielle, mentale oder geistige Phänomene erleben, welche außerhalb der Klasse jener Phänomene zu liegen scheinen, die mit naturwissenschaftlichen Verfahren analysiert und erklärt werden können.

Ein weiterer und vielleicht der wichtigste Grund für die scheinbar unerklärliche, unfaßbare Qualität von bewußtem Erleben seiner selbst – der Empfindung, ein immaterieller Beobachter seiner selbst zu sein – ist der Umstand, daß der Dialog, durch welchen sich die Erfahrung seiner selbst vollzieht, durch den sich das Selbst konstituiert und Bewußtsein entsteht – daß dieser Dialog sich im dunkeln nicht erinnerbarer früher Kindheit vollzieht. Wir fallen einem Zirkel anheim, weil bewußte Erinnerung offensichtlich erst dann einsetzt, wenn sich das Bewußtsein seiner selbst bereits konstituiert hat. Dadurch entbehrt Bewußtsein jeder Kausation, es ist immer schon, weil die Erinnerung an sein Werden fehlt. In dieser kindlichen Amnesie, so mein Vorschlag, liegt einer der bedeutendsten Gründe für die als geheimnisvoll oder transzendental erfahrenen Qualitäten von Bewußtsein und damit für die Attraktion dualistischer Positionen. Ähnliche Qualitäten kommen auch dem impliziten, in der biologischen Evolution erworbenen Wissen zu, das in der genetisch vorgegebenen Architektur unserer Gehirne residiert, und dem Wissen, das über kollektive Erfahrung während der kulturellen Evolution erworben wurde und über Erziehung vermittelt wird. An den Ursprung dieses Wissens haben wir keine Erinnerung, da sein Erwerb nicht von bewußter Reflexion begleitet wurde. Vielleicht liegt hier der Grund, warum wir auch die Quellen dieses Wissens transzendieren, als nicht von dieser Welt verstehen, und Götter und Mythen bemühen.

Doch damit genug der Spekulationen. Ich hoffe, es ist mir gelungen aufzuzeigen, wo die Schwierigkeiten liegen und warum die Neurobiologie alleine überfordert

ist bei der Erklärung von Bewußtsein. Ich hoffe aber auch, daß es mir gelungen ist zu zeigen, daß keine dualistischen oder mystischen Positionen bemüht werden müssen, um dem Phänomen Bewußtsein gerechtzuwerden. Was Not tut, ist eine Weitung des wissenschaftlichen Ansatzes, der Versuch, die Grenzen bisheriger Beschreibungssysteme zu überschreiten und diese ineinander überzuführen. Es gibt keinen einsichtigen Grund, warum Beschreibungssysteme, die sich mit der Erklärung von Hirnleistungen, und solche, die sich mit den Produkten kollektiver Hirnleistungen befassen, nicht ineinander übergeführt werden können. Schließlich sind die Forschungsgegenstände der traditionellen Geisteswissenschaften, aber auch die der kulturanthropologischen, kulturhistorischen und psychologischen Forschung ausschließlich Erzeugnisse menschlicher Gehirne. Die von diesen Disziplinen bearbeiteten Phänomene sind nichts anderes als die Produkte jener kollektiven Hirnleistungen, die der kulturellen Evolution zugrunde liegen. Somit muß es möglich sein, die Beschreibungssysteme, die Hirnfunktionen auf Wechselwirkungen materieller Komponenten zurückführen, an Beschreibungssysteme anzunähern, die sich mit den Produkten eben jener Hirnfunktionen befassen, Produkten, die aus der Wechselwirkung interagierender Gehirne entstehen. Es werden dann die Begriffe aus der einen Sprache auf die aus der je anderen verweisen. Wenn dies geleistet ist, wird es eine Veränderung unserer Wahrnehmung von Wirklichkeit bewirkt haben. Es wird dann auch keine emotionalen Zwänge zur Verteidigung dualistischer Positionen mehr geben. Das Leib-Seele-Problem wird dann anderen, neuen Problemen weichen. Voraussetzung dafür ist aber, daß die Kulturwissenschaften ihre Zielsetzung erweitern und dem bisherigen Diskurs einen kulturanthropologischen Ansatz hinzufügen. So steht zu erwarten, daß sich in absehbarer Zeit neue kulturwissenschaftliche Disziplinen herausbilden, die Kultur als emergentes Phänomen mit evolutionärer Dynamik verstehen und sich bei der Erforschung kultureller Aktivitäten und ihrer Erzeugnisse auf das Wissen stützen, das inzwischen über die biologischen und kulturellen Bedingtheiten mentaler Prozesse erarbeitet wurde. Sollten die traditionellen geisteswissenschaftlichen Disziplinen sich als unfähig erweisen, diesen Paradigmenwechsel zu vollziehen, dann muß damit gerechnet werden, daß dieses attraktive Forschungsfeld „von unten herauf“ besetzt wird. Anzeichen dafür, daß Neuro- und Kognitionswissenschaften in traditionell von Geisteswissenschaften verwaltete Gebiete eindringen, mehren sich. Da, wer sich anschickt, Grenzen zu überschreiten, in den neuen Territorien gemeinhin zunächst zu dilettieren pflegt, sollte Sorge getragen werden, die Neuankömmlinge dennoch wohlwollend aufzunehmen und die Gastgeschenke anzunehmen.

Doch lassen Sie mich nun einige Fakten anführen, um meine Hypothese zu stützen. Dies erfordert einige detailliertere Ausführungen über die Organisation der Großhirnrinde, jener Struktur, die für alle höheren kognitiven Leistungen verantwort-

lich ist, also für die Fähigkeit wahrzunehmen, zu erinnern, zu empfinden und zu bewerten, für die Fähigkeit, Handlungen zu beschließen und zu programmieren, sich dieser Leistungen gewahrzuwerden und anderen darüber zu berichten. Wie verhält es sich also mit dem Postulat, die Großhirnrinde führte immer die gleichen Operationen aus, um diese vielfältigen Funktionen zu erschließen? Untersuchungen der Feinstruktur der Großhirnrinde haben gezeigt, daß sie nach immer gleichen Organisationsprinzipien aufgebaut ist, gleichgültig, ob es sich um Rindenbezirke handelt, die mit der Verarbeitung sensorischer Signale oder der Ausarbeitung motorischer Programme befaßt sind. Die numerische Verteilung der verschiedenen Zelltypen, deren topologische Anordnung in distinkten Schichten, und die Architektur der Verbindungen zwischen den Nervenzellen sind über die verschiedenen Areale hinweg nahezu identisch. Da das Programm für Hirnfunktionen durch die funktionelle Architektur der Verknüpfungen zwischen Nervenzellen festgelegt wird, folgt aus dieser anatomischen Gleichförmigkeit, daß die Großhirnrinde mit großer Wahrscheinlichkeit immer die gleichen Rechenoperationen durchführt. Auch das zweite Postulat, daß die höheren kognitiven Leistungen durch Iteration immer gleicher Verarbeitungsschritte realisiert werden, scheint zuzutreffen. Die Analyse der Eingangsverbindungen phylogenetisch alter und neu hinzugekommener Großhirnrindenareale zeigt, daß letztere mit ersteren so verbunden sind wie diese mit den Sinnesorganen. Die neu hinzugekommenen Areale erhalten ihre Eingangsaktivität hauptsächlich von den stammesgeschichtlich älteren Hirnrindenarealen; sie schauen auf die alten wie diese auf die Welt. Trotz ihrer indirekten Verbindung mit dem Sensorium haben sich diese neu hinzugekommenen Hirnrindenareale aber fast ausnahmslos direkten Zugriff auf motorische Effektorsysteme erschlossen.

Unausweichlich wird nun die Frage nach den besonderen Verarbeitungsleistungen, die in der Hirnrinde erbracht werden, die Frage, warum diese Struktur so außerordentlich erfolgreich war und zum Hauptträger der rezenten Evolution wurde. Es ist hier nicht der Ort, in eine ausführliche Diskussion unseres Wissens über die Funktion der Hirnrinde einzutreten. Ich möchte jedoch einige grundlegende Organisationsprinzipien vorstellen und dabei auch auf bislang ungelöste Probleme verweisen. Ich werde dies am Beispiel von Hirnrindenarealen versuchen, die sich mit der Bearbeitung visueller Information befassen, weil im Bereich visueller Funktionen die umfassendsten Meßergebnisse vorliegen und die Theoriebildung am weitesten fortgeschritten ist. Ich möchte jedoch betonen, daß die dort gefundenen Organisationsprinzipien auf die anderen Hirnrindenbereiche generalisiert werden können.

Eine der zentralen Fragen ist, wie in der Großhirnrinde die Vielzahl der sich ständig wandelnden Sinnessignale mit erinnertem Vorwissen verbunden werden. Unserer Intuition folgend neigen wir zu der Annahme, daß es im Gehirn ein

Zentrum geben müsse, in dem die Signale der verschiedenen Sinnesorgane konvergieren, mit gespeicherten Inhalten verglichen und nach erfolgter Deutung in Handlungsentwürfe umgesetzt werden. Naturgemäß wäre dieses Konvergenzzentrum auch der Ort, wo Entscheidungen gefällt werden und wo das Bewußtsein residiert. Die Ergebnisse neurobiologischer Nachforschungen haben nun gezeigt, daß die plausible Annahme eines Konvergenzzentrums, eines Cartesianischen Theaters mit einem singulären Zuschauer, in dramatischer Weise falsch ist.

Eine der Hauptfunktionen der Großhirnrinde scheint darin zu bestehen, nach konsistenten Beziehungen zwischen einlaufenden Signalen zu suchen und häufig auftretende Relationen durch Aktivität von Nervenzellen zu repräsentieren, die selektiv auf ganz bestimmte Konstellationen von Eingangssignalen ansprechen. Die Annahme ist, daß eine mehrstufige Wiederholung dieses gleichen Vorgangs schließlich zu abstrakten Beschreibungen konsistenter Kombinationen von elementaren Merkmalen führt, von Konstellationen, wie sie für individuelle perzeptuelle Objekte charakteristisch sind. Weil die Zahl der möglichen Merkmalskonstellationen astronomisch hoch ist, läßt sich voraussagen, daß die in der Hirnrinde realisierten Verarbeitungsalgorithmen darauf spezialisiert sein müssen, kombinatorische Probleme zu lösen.

Im Gehirn von Primaten befassen sich mehr als 30 verschiedene Areale der Großhirnrinde mit der Verarbeitung visueller Information. Die primäre Sehrinde verteilt ihre Verarbeitungsergebnisse parallel an eine Vielzahl eng miteinander vernetzter Hirnrindenregionen, wobei jedes dieser Areale jeweils nur einen Teilaspekt der Sehwelt bearbeitet. Zu diesen zählen z. B. die Lokalisation und Bewegung von Objekten, deren räumliche Beziehung zueinander, Form- und Texturmerkmale, die Farbe und schließlich bestimmte, stereotype Kombinationen dieser Merkmale.

Beim Auftauchen eines Gegenstandes im Gesichtsfeld werden alle diese Areale nahezu gleichzeitig aktiviert, treten miteinander in Wechselwirkung, tauschen ihre Verarbeitungsergebnisse aus und senden die Resultate ihrer Ermittlungen in ebenso verteilter Weise an eine Vielzahl weiterer Hirnrindenareale, die sich mit der Analyse von Signalen anderer Sinnesmodalitäten oder mit der Vorbereitung motorischer Aktionen befassen. Das postulierte Konvergenzzentrum, in dem die Ergebnisse dieser vielfältigen, parallel ablaufenden Analyseprozesse zusammengefaßt und interpretiert werden könnten, existiert nicht.

Dies wirft die Frage auf, wie trotz dieser distributiven Organisation kohärente Repräsentationen aufgebaut und wie Entscheidungen getroffen werden können, wie eine einheitliche Interpretation der umgebenden Welt und aus ihr abgeleitete, koordinierte Verhaltensstrategien möglich werden. Diese, als „Bindungsproblem“ angesprochene Frage nach der Koordination zentralnervöser Prozesse wurde in den letzten Jahren als eine der großen Herausforderungen an die Hirnforschung

erkannt. Die Analyse von Verarbeitungsprozessen innerhalb einer Modalität zeigt, daß Bindungsprobleme mit ganz ähnlicher Struktur schon bei scheinbar einfachen sensorischen Funktionen auftreten. Es besteht also die begründete Hoffnung, daß sich die Bindungsmechanismen auf peripheren Verarbeitungsebenen aufklären und die Lösungen sich dann auf höhere Funktionen generalisieren lassen.

Kognitive Systeme müssen in der Lage sein, komplexe Anordnungen von Merkmalen zu distinkten, perzeptuellen Objekten zu gruppieren. Im visuellen System sprechen wir von Szenensegmentierung beziehungsweise perzeptuellem Gruppieren. Visuelle Objekte werden erst dann als solche identifizierbar, wenn es dem Sehsystem gelungen ist, die verschiedenen Konturen, die in einer Szene oder einem Bild enthalten sind, so zu gruppieren, daß all jene, die ein bestimmtes Objekt ausmachen, als zusammengehörig gesehen werden. Erst wenn diese Gruppierungsversuche erfolgreich beendet sind, kann damit begonnen werden, die segmentierten Objekte zu identifizieren. Die Segmentierung geht dem Erkennen voraus und muß deshalb nach Gesetzen erfolgen, die objektunabhängig sind. Was schließlich wahrgenommen wird, hängt also in kritischer Weise davon ab, wie und nach welchen Kriterien das Sehsystem die Gruppierung von Merkmalen zu kohärenten Figuren vornimmt und welche Lösungen dieser vorbewußt ablaufende Gruppierungsprozeß anbietet. Es ist dies ein Beispiel von vielen für die konstruktive Leistung unserer kognitiven Systeme.

Fragt man nach den neuronalen Prozessen, die dieser Segmentierungsleistung zugrunde liegen, wird deutlich, daß auch hier Bindungsprobleme gelöst werden müssen, die in ihrer Struktur den oben angesprochenen ähneln. Das Sehsystem muß die Antworten von Nervenzellen, die auf die Konturlinien der gleichen Figur reagieren, miteinander verbinden und so kennzeichnen, daß nachfolgende Verarbeitungsstrukturen diese gebundenen Antworten gemeinsam bearbeiten und als zusammengehörig interpretieren können. Dieser Bindungsmechanismus muß ein hohes Maß an Flexibilität aufweisen und in rascher Folge verschiedene Interpretationsweisen realisieren können; er muß dynamisch sein.

Die klassischen Vorschläge zur Lösung dieses Bindungsproblems orientieren sich an hierarchischen Verarbeitungsstrukturen, in denen Bindung durch Konvergenz erfolgt. Die Annahme ist, daß Signale, die gebunden werden sollen, über konvergierende Nervenbahnen in einzelnen, auf die Gruppierung spezifischer Signalkombinationen spezialisierten Bindungsneuronen zusammengeführt werden.

Diese Strategie zur Lösung des Bindungsproblems ist aber nur dann anwendbar, wenn wenige und stereotype Muster analysiert und repräsentiert werden müssen. Sie taugt nicht zur Bewältigung von Bindungsproblemen im allgemeinen. Der Grund ist, daß für jedes erkennbare Objekt und alle seine Erscheinungsformen jeweils mindestens ein Bindungsneuron erforderlich wäre, das selektiv mit dem

entsprechenden Satz von Merkmalsdetektoren verknüpft sein müßte. Offensichtlich erfordert diese Strategie zur Lösung des Bindungsproblems eine riesige Zahl von Bindungsneuronen. Ferner benötigte man eine beträchtliche Menge noch nicht festgelegter Bindungsneuronen, um neue Objekte repräsentieren zu können. Irgendwo im Gehirn müßte ein riesiges Areal existieren, in dem, neben einer Vielzahl hochspezialisierter, spezifische Objekte repräsentierender Neurone gleichermaßen viele, völlig unselektive Nervenzellen implementiert sind. Solche Areale wurden bislang nicht gefunden, und nachdem die Funktionen aller größeren Areale der Großhirnrinde bekannt sind, kann die Existenz solcher Regionen mit großer Verlässlichkeit ausgeschlossen werden.

Alle intuitiv plausiblen Lösungen des Bindungsproblems erweisen sich also bei genauerer Betrachtung als untauglich, und es stellt sich die Frage nach Alternativen. Die Hirnrinde scheint sich zweier komplementärer Strategien zu bedienen, um Bindungsprobleme zu lösen, und in dieser Komplementarität liegt vermutlich ihr beispielloser evolutionärer Erfolg. Einerseits werden Beziehungen zwischen Merkmalen tatsächlich durch Konvergenz auf Bindungsneuronen definiert und durch die selektiven Antworten dieser Neuronen repräsentiert. Diese Strategie beschränkt sich jedoch auf die Repräsentation relativ elementarer Merkmalskonstellationen. Komplementär dazu existiert ein dynamischer Gruppierungsmechanismus, der eine flexible Rekombination von neuronalen Antworten ermöglicht und die Voraussetzung dafür schafft, daß ganz unterschiedliche Konstellationen im gleichen Netzwerk fest verschalteter Neuronen nacheinander analysiert und repräsentiert werden können.

Zur zentralen Frage wird somit, über welchen Mechanismus Nervenzellen auf flexible Weise und temporär zu funktionell kohärenten Gruppen zusammengebunden und deren Antworten so markiert werden können, daß diese auf nachfolgenden Verarbeitungsebenen als zusammengehörig identifiziert und von Antworten anderer, gleichzeitig aktiver Gruppierungen unterschieden werden können.

Das Nervensystem hat nur eine Option, um aus vielen, gleichzeitig aktiven Neuronen wenige auszuwählen und diese als zusammengehörig auszuweisen. Die Antworten der ausgewählten Neuronen müssen gemeinsam hervorgehoben werden; die Wahrscheinlichkeit, daß diese in nachgeschalteten Strukturen wiederum zur Erregung von Neuronen führen, muß erhöht werden. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten. Die naheliegendste ist, die ausgewählten Nervenzellen stärker zu aktivieren, da dies über zeitliche Summation das Erreichen der Erregungsschwelle von Neuronen auf der nächsten Stufe begünstigen würde. Nun ist es möglich, gleichzeitig mehrere Figuren zu erkennen, also mehrere Neuronengruppierungen gleichzeitig hervorzuheben. Würde dies lediglich durch Anhebung der Entladungstätigkeit der entsprechenden Neuronengruppen bewirkt, stellte sich erneut das Problem herauszufinden, welche der gleichermaßen verstärkten Ant-

worten zu einer bestimmten Figur gehören. Es wäre unmöglich zu entscheiden, ob ein großes Ensemble entstanden ist oder ob sich mehrere kleinere Ensembles gebildet haben. Würden alle verstärkten Antworten einem Ensemble zugeordnet, entstünden falsche Konjunktionen zwischen nichtzusammengehörigen Bildelementen. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, wurde vorgeschlagen, daß die Synchronizität der Entladungstätigkeit der Neurone diese als zusammengehörig ausweisen sollte und nicht deren erhöhte Entladungsrate. Dahinter steht die gut begründete Annahme, daß neuronale Antworten nicht nur durch Frequenzerhöhung, sondern auch durch Synchronisation hervorgehoben werden können. Der Grund ist, daß gleichzeitig eintreffende synaptische Potentiale in nachgeschalteten Zellen besonders gut summieren. Die saubere Trennung zwischen mehreren Ensembles wird dadurch möglich, daß nur die neuronalen Entladungen von der Summation profitieren, die genau synchron sind. Weil die Zeitstruktur der synchronen Eingangssignale in den Antworten nachgeschalteter Zellen erhalten bleibt, kann die Signatur der Zusammengehörigkeit über mehrere Verarbeitungsstrukturen hinweg vermittelt werden. Synchronisation erscheint somit als ideale Strategie, um die Effektivität der Antworten von ausgewählten Zellgruppen selektiv zu erhöhen und diese herausgehobenen Antworten für eine weitere, gemeinsame Verarbeitung zusammenzubinden.

Falls die Ensemblebildung in der Großhirnrinde auf diesem Prinzip beruht, müssen eine Reihe von Phänomenen beobachtbar sein. Eine kritische Voraussage ist zum Beispiel, daß räumlich verteilte Nervenzellen ihre Antworten synchronisieren müssen, wenn sie sich an der Kodierung einer kohärenten Figur beteiligen. Diese Synchronisationsphänomene müssen sich wegen der distributiven Organisation kortikaler Repräsentationen nicht nur innerhalb eines Verarbeitungsareals, sondern auch zwischen verschiedenen Arealen nachweisen lassen. Eine weitere Voraussage ist, daß die Wahrscheinlichkeit, mit der Neurone ihre Antworten synchronisieren, die Gestaltkriterien widerspiegeln muß, nach denen Konturen zu Objekten zusammengefaßt werden. Neurone sollten also ihre Antworten synchronisieren, wenn sie von kontinuierlichen Konturen erregt werden oder von Kontursegmenten, die die gleiche Orientierung oder Farbe haben oder sich mit gleicher Geschwindigkeit in die gleiche Richtung bewegen. Eine weitere wichtige Voraussage ist, daß einzelne Zellen die Partner, mit denen sie sich synchronisieren, sehr schnell wechseln können müssen, wenn sich die Gegebenheiten im Bildraum ändern. Nur so kann die Forderung erfüllt werden, daß verschiedene Merkmale oder, auf höheren Verarbeitungsstufen, verschiedene Kombinationen von Merkmalen, durch verschieden zusammengesetzte, aber bezüglich der beteiligten Neurone erheblich überlappende Ensembles repräsentiert werden.

Ferner sollte gelten, daß die Kriterien, nach denen Merkmale gruppiert werden, in der funktionellen Architektur der assoziativen Verbindungen zwischen Hirn-

rindenneuronen verankert liegen. Entsprechend sollten die Verbindungen zwischen Neuronen in der Hirnrinde, die sogenannten cortico-corticalen Verbindungen, synchronisierende Wirkung haben. Das „Vorwissen“ über die je wahrscheinlichsten Zuordnungen muß in der Netzwerkarchitektur dieser synchronisierenden Verbindungen gespeichert sein. Angeborene Merkmale dieser Architektur würden dann den Anteil genetisch vorgegebener Gruppierungskriterien widerspiegeln. Da bekannt ist, daß die Gestaltkriterien für die Gruppierung von Merkmalen durch Erfahrung modifiziert werden können, muß die funktionelle Architektur synchronisierender Verbindungen zudem durch Erfahrung veränderbar sein. Dies ist auch erforderlich, damit neue Ensembles strukturiert werden können, wenn neue Objekte zur Repräsentation kommen. Ein Großteil dieser Voraussagen konnte inzwischen experimentell überprüft und im wesentlichen bestätigt werden. Eine zusammenfassende Darstellung der Literatur zu diesen Arbeiten findet sich in Singer and Gray (1995) und Singer (1995).

Zu klären bleibt nun die Frage, inwieweit die gemessenen Synchronisationsphänomene tatsächlich vom Gehirn genutzt werden, um das Bindungsproblem zu lösen. Die bisher verfügbaren Daten sind allesamt mit dieser Annahme kompatibel. Wie so oft in der experimentellen Forschung erweist sich jedoch der Nachweis als schwierig, daß eine aufgefundene Phänomenologie der Funktion entspricht, die ihr der hypothesenbildende Experimentator zuweist. Es muß damit gerechnet werden, daß die gemessenen Phänomene Begleiterscheinungen eines Mechanismus sind, der ganz andere Funktionen erfüllt als die, die den Experimenten als Hypothese zugrundegelegt wurden. Sollte die Hypothese jedoch zutreffen, daß das Bindungsproblem über die Synchronisierung von neuronaler Aktivität gelöst wird, dann würde die Voraussage gelten, daß nur solche Aktivitätszustände zu Wahrnehmungen und Empfindungen führen und letztlich bewußt werden können, die ein hinreichendes Maß an zeitlicher Kohärenz aufweisen. Inhalte der Wahrnehmung und Empfindungen würden demnach nicht auf der Aktivierung einiger weniger spezialisierter Nervenzellen beruhen, sondern auf der temporären Synchronisation all jener im Netzwerk verteilten Nervenzellen, welche durch ihre Antworten das Vorhandensein der verschiedenen Komponenten eines Wahrnehmungsinhaltes repräsentieren. Bei unreflektierten Primärwahrnehmungen beziehungsweise -empfindungen würden diese synchronen Aktivitätsmuster entsprechend auf primäre Verarbeitungsstrukturen beschränkt bleiben. Inhalte dagegen, die einer weitergehenden Reflexion unterzogen werden und als Abbildung hirninterner Prozesse bewußt werden, müßten folglich durch synchrone Aktivierungszustände von Neuronen in kortikalen Arealen höherer Ordnung repräsentiert werden. Noch gibt es wenig direkte experimentelle Evidenz für diese Voraussagen. Erste Hinweise, daß dies tatsächlich so sein könnte, wurden in Versuchen an Katzen erhalten, von deren Sehrinde neuronale Aktivität abgeleitet wurde,

während die Tiere dem Phänomen der binokularen Rivalität ausgesetzt waren. Wenn den beiden Augen unterschiedliche, nicht zu einem einheitlichen Perzept fusionierbare Muster angeboten werden, tritt interokulare Rivalität auf, ein Phänomen, das bei Tier und Mensch gleichermaßen nachweisbar ist. Wahrgenommen werden immer nur die Signale von je einem Auge. Obgleich die dargebotenen Muster physikalisch unverändert bleiben, bewirkt ein zentraler Mechanismus, der auf Konkurrenz beruht, daß die beiden Muster alternierend wahrgenommen werden. Unter Ausnutzung dieses Phänomens läßt sich nun untersuchen, wie sich neuronale Antworten auf Muster, die wahrgenommen werden, unterscheiden von Antworten auf Muster, die nicht zur Wahrnehmung kommen. Diese Versuche haben ergeben, daß sich wahrnehmbare neuronale Aktivitäten von nicht wahrnehmbaren nicht dadurch unterscheiden, daß erstere stärker und letztere schwächer sind; die Antwortamplituden der Neuronengruppen, die auf die verschiedenen Muster ansprechen, sind ununterscheidbar. Ein signifikanter Unterschied besteht jedoch hinsichtlich des Synchronisationsverhaltens. Nervenzellen, welche wahrnehmbare Signale vermitteln, zeichnen sich dadurch aus, daß ihre Antworten zeitlich synchronisiert sind, während die Antworten von Neuronengruppen, die auf das nicht wahrnehmbare Muster reagieren, weniger gut oder gar nicht synchronisiert sind. Es ist dies ein erster Hinweis darauf, daß das Maß an Synchronizität mit der Wahrnehmbarkeit von Mustern korreliert. Diese Daten wurden in der primären Sehrinde erhoben, betreffen also Prozesse auf relativ peripherer Verarbeitungsstufe. Wenn jedoch gilt, daß die Verarbeitungsprinzipien innerhalb der verschiedenen Hirnrindenareale ähnlich sind, dann sollte dieser Befund auch auf die Substrate höherer kognitiver Phänomene generalisierbar sein. Da sich die elektrischen Signale, die durch kohärente, synchronisierte neuronale Aktivität generiert werden, besonders gut aufsummieren, scheint es nicht ausgeschlossen, daß sich kohärente Aktivitätszustände auch beim Menschen mit Hilfe nicht-invasiver Ableitungsverfahren erfassen lassen. Somit scheint es nicht utopisch, auch beim Menschen nach elektrophysiologischen Korrelaten von Wahrnehmungen und Empfindungen und deren Repräsentation in höheren Hirnrindenarealen zu suchen.

Aber selbst wenn diese Suche erfolgreich sein sollte, wären wiederum nur die Randbedingungen geklärt, die erfüllt sein müssen, damit Bewußtsein möglich wird. Jene Attribute, die den speziellen ontologischen Status der Erfahrung ausmachen, ein bewußtes, autonomes, frei agierendes Selbst zu sein, wären auch dann nicht erklärt, weil die Inhalte, die zu dieser Erfahrung führen, nicht aus dem aktuellen Reizgeschehen heraus erklärbar sind, sondern eine Geschichte haben, die ihrerseits auf dem Diskurs von Menschen beruht, die in eine gemeinsame kulturhistorische Tradition eingebunden sind.

Literatur

- Singer, W. & C. M. Gray (1995): Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. In: *Annu. Rev. Neurosci.*, 18, S. 555-586.
- Singer, W. (1995): Development and plasticity of cortical processing architectures. In: *Science*, 270, S. 758-764.

Anhang

Hinweise zu den Autoren

Florey, Ernst, Prof. Dr., geb. 1927; em. Professor; dienstlich: Universität Konstanz, Fakultät für Biologie, Postfach 55 60-607, 78434 Konstanz, Tel.: 0 75 31/ 88 22 37, Fax: 0 75 31/88 38 94

Friedrich, Bärbel, Prof. Dr. rer. nat., geb. 1945; Professorin für Mikrobiologie; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Mikrobiologie/Molekulare Stoffwechselphysiologie von Prokaryonten. Im Mittelpunkt der Forschung steht die Aufklärung der Biosynthese, Funktion und Regulation metallhaltiger Redoxproteine. die Arbeiten umfassen Prozesse des Stofftransports, Elektronentransfers, der Proteinassemblierung und -faltung sowie Signaltransduktion und Mechanismen der Genexpression; dienstlich: Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Biologie – Mikrobiologie – Chausseestr. 117, 10115 Berlin, Tel.: 0 30/20 93 81 00, Fax: 0 30/20 93 81 02

Garton Ash, Timothy, MR, geb. 1955, GB; Fellow of St Antony's College, Oxford; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Zeitgeschichte/Europäische Zeitgeschichte, insb. Mitteleuropa nach 1945, Ost-West-Beziehungen in Europa; dienstlich: St Antony's College, Oxford OX2 6JF, GB, Tel.: 00 44/18 65/ 27 44 74, Fax: 00 44/18 65/55 67 62

Giloi, Wolfgang K., Prof. Dr.-Ing., geb. 1930; Professor für Technische Informatik an der TU Berlin; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Informatik/ Analog- und Hybridrechnen, Computer-Simulation, digitale Signalverarbeitung, Computer-Graphik und Computervision, Rechnerentwurf, Parallelrechner-Architekturen (Supercomputer), Programmiersysteme; dienstlich: GMD FIRST, Rudower Chaussee 5, 12489 Berlin, Tel.: 0 30/63 92 18 00/ -18 01, Fax: 0 30/63 92 18 05

Hackbusch, Wolfgang, Prof. Dr. rer. nat., geb. 1948 in Westerstede, Kreis Ammerland/Niedersachsen; Universitätsprofessor; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Angewandte Mathematik/Numerische Behandlung partieller, insbesondere elliptischer Differentialgleichungen, Randelementmethoden, schnelle Löser für große Gleichungssysteme; dienstlich: Christian-Albrechts-Universität, Lehrstuhl Praktische Mathematik, Mathematisches Seminar, Olshausenstr. 40, 24098 Kiel, Tel.: 04 31/8 80 44 90, Fax: 04 31/8 80 40 54, e-mail: wh@numerik.uni-kiel.de

Hiepe, Theodor, Univ.-Prof. (em.) Dr. med. vet. habil. Dr. h.c., geb. 1929; Universitätsprofessor (em.) für Parasitologie an der Freien Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Institut für Parasitologie und Tropenveterinärmedizin; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Veterinärmedizin, Parasitologie/Wesen des Parasitismus, Strategie der Parasitenbekämpfung, Parasitäre Zoonosen, Alternativmethoden zum Tierversuch, Immunparasitologie; dienstlich: Gastprofessor an der Humboldt-Universität zu Berlin, Lehrstuhl für Molekulare Parasitologie, Luisenstr. 56, 10117 Berlin, Tel.: 0 30/20 93 64 03, Fax: 0 30/20 93 60 51

Hillemeier, Bernd, Prof. Dr.-Ing., geb. 1941; Universitätsprofessor für Baustofftechnologie, Baustoffprüfung und Bauchemie und Direktor des Instituts für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (IEMB); Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Baustofftechnologie/Dauerhaftigkeit, zerstörungsfreie Prüfverfahren, Bauwerkerhaltung, Stoffgesetze, Qualitätsmanagement im Bauwesen; dienstlich: Technische Universität Berlin, Institut für Baukonstruktionen und Festigkeit, Straße des 17. Juni 135/Sekr. B4, 10623 Berlin, Tel.: 0 30/31 42 29 80, Fax: 0 30/31 42 68 34

Menzel, Randolf, Prof. Dr. rer. nat., geb. 1940; Professor an der Freien Universität Berlin, Leiter des Instituts für Neurobiologie; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Zoologie, Neurologie, Verhaltensbiologie/neuronale Grundlagen von Lernen und Gedächtnis bei Tieren; dienstlich: Freie Universität Berlin, Fachbereich Biologie, Institut für Neurobiologie, Königin-Luise-Str. 28-30, 14195 Berlin, Tel.: 0 30/8 38 39 30, Fax: 0 30/8 38 54 55, e-mail: Menzel@neuro.biologie.fu-berlin.de

Polze, Christoph, Prof. Dr. sc. nat. Dr.-Ing., geb. 1936; Universitätsprofessor für Systemarchitektur; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Praktische Informatik/bis 1975 Betriebssysteme, Entwicklung eines Time-Sharing-Systems, bis 1985 Softwaretechnik und Compilerverbau, bis 1989 Softwaretechnik mit

dem Hintergrund UNIX, seit 1989 UNIX und Kommunikation, verteilte Systeme; dienstlich: Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik, Axel-Springer-Str. 54a, 10117 Berlin, Tel.: 0 30/20 18 12 32, Fax: 0 30/20 18 12 34, e-mail: polze@informatik.hu-berlin.de, www: <http://www.informatik.hu-berlin/~polze>

Singer, Wolf, Prof. Dr. med., geb. 1943; Direktor am MPI für Hirnforschung; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Neurobiologie/Entwicklung des Zentralnervensystems, strukturelle und funktionelle Organisation der Großhirnrinde, visuelle Wahrnehmung, Lernvorgänge; dienstlich: Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Deutschordenstr. 46, 60528 Frankfurt/Main, Tel.: 0 69/ 96 76 92 18, Fax: 0 69/96 76 93 27, e-mail: singer@mpih-frankfurt.mpg.de

Winau, Rolf, Prof. Dr. Dr., geb. 1937; Direktor des Instituts für Geschichte der Medizin der Freien Universität Berlin und Gründungsdirektor des Zentrums für Human- und Gesundheitswissenschaften der Medizinischen Fakultäten der Humboldt-Universität zu Berlin und der Freien Universität Berlin; Hauptfachrichtung/Hauptarbeitsgebiete: Geschichte der Medizin/Geschichte des Biologismus, der Medizin im Nationalsozialismus und der Medizin in Berlin; dienstlich: Freie Universität Berlin, Institut für Geschichte der Medizin, Klingsorstr. 119, 12203 Berlin, Tel.: 0 30/83 00 92 30, Fax: 0 30/83 00 92 30, e-mail: winau@ukbf.fu-berlin.de