

Wolfgang Schirmer
Dr. Jürgen Caro

Chemie und Umwelt. Versuch einer Prognose*

1. Einführung

Meine Generation, d.h. die Schirmer'sche, die unmittelbar nach dem Ersten Weltkrieg Geborenen, hat in ihrem Verhältnis zur Industrie, besonders zur chemischen Industrie, im Verlauf des Lebens einen grundlegenden Wandel, einen "argen Weg der Erkenntnis" (um mit Feuchtwanger zu sprechen) durchgemacht. In frühester Kindheit erzogen mit dem Grundsatz, daß der Mensch die Natur beherrschen möge, erwartete ich mit Naivität und auch Überzeugung die Erfüllung der großen gesellschaftlichen Ziele von der Wissenschaft. Schon mit 15 Jahren stand für mich fest, Chemiker zu werden. Unter dem Eindruck eines Vortrages von Friedrich Hofmann über die Synthese des Kautschuks stehend, wollte ich dazu beitragen, die ab 1935 in Deutschland immer stärker spürbar werdende Rohstoffknappheit auf dem Wege über chemische Synthesen zu lösen. Die Ideologen des Nationalsozialismus wurden nicht müde, uns als ein "Volk ohne Raum" darzustellen. Das Volk aber wurde systematisch auf Krieg vorbereitet. Wirtschaftlich hatte die einsetzende Autarkie eine hochintensive Entwicklung u.a. der chemischen Synthese zur Folge. Diese wissenschaftlich-technische Aufgabe schien mir interessant. Daß beide Seiten zu einer Medaille "Krieg" gehörten, erkannten wir, die studentische Jugend, zu spät.

Das Studium der Chemie stand in Berlin auf hohem Niveau. Ganz in der Tradition der Mitglieder der Preußischen Akademie Walter Nernst, Max Planck, Emil Fischer, Max Bodenstein stehend, trugen Otto Hahn, Karl Lohmann und Erich Thilo, Hans-Heinrich Franck, ab 1945 oder später Mitglieder der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, ihre neuesten Forschungsergebnisse vor, was uns Studenten sehr beeindruckte. Die Frage, die Umwelt vor den Folgen der ständig wachsenden Produktion an Chemikalien zu schützen, stellte sich für uns kaum, so sehr waren wir davon überzeugt, daß die Natur etwaige Abfälle durch Entfaltung von Selbstreinigungskräften ins biologische Gleichgewicht bringen würde. Es erregte einiges Aufsehen, als Erich Thilo im Wintersemester 1939/40 einen Abschnitt über Maßnahmen zum Schutz der Umwelt vor chemischen Gefahren in seine Vorlesung einbaute. Wie sorglos wir in dieser Hinsicht waren, zeigte die bewundernde Bemerkung eines namhaften Chemikers, der, als er 1947 die ersten Schuhe aus "Igelit" entdeckte, ausrief: "Wenn man bedenkt, daß dieses Produkt zu 60 %

* überarbeiteter Vortrag vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät am 19. Januar 1995

aus Chlor besteht, dann ist das eine großartige Leistung". Heute gibt selbst der Sachverständigen-Rat für Umweltfragen (1990) in Bonn zu: "Der Aufbau der Chlorchemie in den 50er und 60er Jahren war eine falsche Entscheidung" [1].

Auch wenn hier und da Einzelmaßnahmen zur Luftreinigung und Reinhaltung der Vorfluter getroffen wurden, Chemie schien untrennbar mit Gestank und Lärm verbunden. In den 50er Jahren und auch noch später hatte in der DDR aber auch anderswo Produktion Vorrang vor Umweltschutz.

Der Durchbruch im Bewußtsein der Verantwortlichen wurde weltweit ausgelöst durch das Buch der amerikanischen Schriftstellerin Rachel Carson "The Silent Spring". 1963 war es höchste Zeit, daß die Industrie allgemein ihre Einstellung zu Umweltfragen änderte. Nicht mehr Beherrschung der Natur durch den Menschen konnte die Losung sein, sondern nur eine Tätigkeit des Menschen in Übereinstimmung mit der Natur unter Wahrung bestimmter biologischer und stofflicher Gleichgewichte bis hin zu einer zukünftigen "stabilen" Entwicklung (Hier wird in der meist englischsprachigen Literatur das Wort "sustainable" verwendet [2]. Die deutschen Übersetzungen wie "dauerhaft" oder "nachhaltig" treffen den Sinn des englischen Wortes nicht, ich, W.S., verwende daher "stabil", bin aber für bessere Übersetzungen dankbar). Um 1970 verschlechterte sich die Akzeptanz und das Ansehen der chemischen Industrie in der Öffentlichkeit wesentlich. Chemische Industrie und "Giftküche" wurden Synonyma. Die Schärfung des Umweltbewußtseins in der Gesellschaft führte dazu, daß die Kernindustrie und die chemische Industrie Diskussion und Verurteilung oft ohne ausreichende Informationen erfuhren. Inzwischen ist der Begriff „Chemie“ in den Medien fast zu einem Schimpfwort geworden. „Ganz ohne Chemie und Gift“ bezeichnet Qualität.

Einige Ereignisse, die von der chemischen Industrie unmittelbar zu verantworten waren, erschütterten das Vertrauen einer breiten Öffentlichkeit in die wissenschaftliche Sorgfalt dieses Industriezweiges:

- 1) erkrankten 120 japanische Fischer (von denen 40 starben) an der bis dahin unbekanntem "Minimata"- Krankheit, ausgelöst durch Quecksilber aus einer Elektrolyse.
- 2) wurde in Seveso in Norditalien zum ersten Mal Dioxin in größeren Mengen freigesetzt.
- 3) Schon in den 70er Jahren wurde der Bedeutung der Ozonschicht in der Stratosphäre größere Aufmerksamkeit zuteil. Als man ab 1985 etwa immer größere "Ozonlöcher" fand, die auf eine Zerstörung des O₃ durch FCKW zurückzuführen waren, stand die chemische Industrie als Schuldiger fest.

- 4) ereignete sich der folgenschwerste Chemieunfall aller Zeiten, als in Bhopal (Indien) durch eine Explosion von Methylisocyanat 2.500 Tote unter der Bevölkerung zu beklagen waren [3].
- 5) Verschiedene Unfälle, die zu spektakulären Verseuchungen von Flüssen führten, riefen Millionen von Anwohnern die Gefahren der Chemie deutlich ins Gedächtnis. Als Beispiel sei der Brand bei Sandoz in Basel angeführt, der 1987 zu einer Verseuchung des Rheinwassers führte.
- 6) Von 1972 ab wurde in Genf ohne Ergebnis über eine Ächtung von Chemiewaffen verhandelt. Der breite Einsatz von Chemikalien als Waffe in Vietnam durch die US-Armee und die Tötung von Tausenden von Einwohnern bei Halabja im Nordirak mit Hilfe von Chemiewaffen haben das Ansehen der Chemie weiterhin reduziert. (Nach 20 Jahren Verhandlung konnte endlich 1992 die Konvention zur Ächtung von Chemiewaffen abgeschlossen werden [4]).

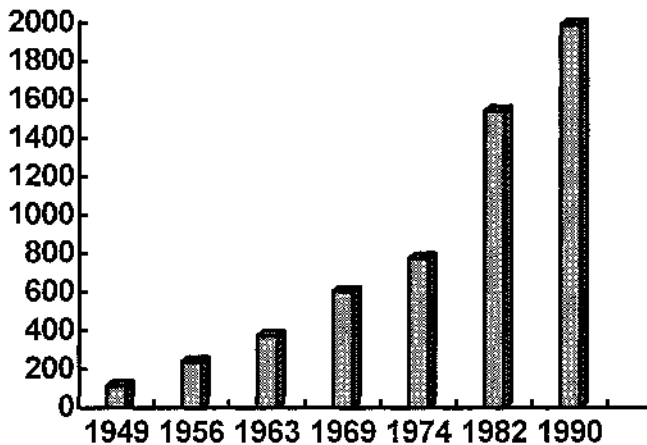


Abb. 1: Entwicklung der chemischen Produktion in der Bundesrepublik Deutschland von 1949 bis 1990 in Mrd. DM

Mit der gewaltig angestiegenen chemischen Produktion (seit 1949 stieg die Weltproduktion an Chemikalien bis 1990 auf das 18fache [5]) wurden die Konsequenzen für die Umwelt immer stärker spürbar, so daß auch die Bevölkerung der Industrieländer immer stärker gegen die Umweltbelastungen protestierte. Heute ist die Kritik organisiert: Verbraucherschutzverbände, *Greenpeace*, seit 1980 auch politische Parteien wie *Die Grünen* haben ihre

Verdienste daran, daß die Mißstände aufgedeckt werden, wie z. B. die Chlorchemie [6]. Wie das oft passiert, droht nun die Entwicklung in ein anderes Extrem zu verfallen, man vergißt, daß Lebensstandard und Zivilisation längst von der Produktion der chemischen Industrie abhängig sind. Etwa nach dem Grundsatz "So viel wie nötig, keineswegs so viel wie möglich an Chemie" müssen in der Zukunft Wege gefunden werden, die die Umwelt nicht belasten, aber auch die unentbehrlichen Produkte bereitstellen.

Welche Bedeutung haben die Produkte der Chemie für die moderne Gesellschaft?

1. Bisher sind in der wissenschaftlichen Literatur etwa 8 Mio. chemische Verbindungen beschrieben worden, die durch Synthese zugänglich sind. Jährlich kommen etwa 200.000 Verbindungen neu hinzu. Man kann davon ausgehen, daß für alle in der Natur vorkommenden Verbindungen auch Synthesewege erschlossen werden können.
2. Von diesen synthetisch zugänglichen Verbindungen werden weltweit etwa 70.000 - 100.000 [7] gehandelt, allerdings wurden davon in Deutschland 1990 nur 4.700 Produkte in einem Umfang von mehr als 10 jato hergestellt. 1.000 Substanzen werden mit Losgrößen über 1.000 jato produziert [8]. Es entspricht der Eigenart der chemischen Produktion, daß 90 % dieser Mengen im eigenen Betrieb weiter verarbeitet werden, also als Handelsprodukte nicht in Erscheinung treten.
3. Es liegt in der Sache begründet, daß die größte Zahl der chemischen Produkte in der Natur nicht vorkommt, daß sie daher im natürlichen Kreislauf der Produkte oft nur mit Schwierigkeiten durch Bakterien, Wirkstoffe oder Enzyme abgebaut werden. Besonders die C-F- oder C-Cl-Bindung erweist sich als sehr resistent. Die Natur hat kaum chlorhaltige Verbindungen aufzuarbeiten.
4. Durch welche Leistungen trägt die Chemie zu unserem heutigen Lebensniveau bei?

- Da wäre zunächst einmal unsere **Ernährung**. Heute produziert die westeuropäische Landwirtschaft erstaunliche Überschüsse. Von 1938 bis heute stieg die durchschnittliche Ernte an Getreide von 22 dt/ha auf das Dreifache, also auf über 60 dt/ha an. Wie verlogen erscheint da die alte Hunger prophezeiende Naziparole vom "Volk ohne Raum"! 50 - 60 % dieser Ertragssteigerung ist auf den Einsatz mineralischer Düngemittel nach den wissenschaftlichen Grundlagen, die auf J. v. Liebig basieren, zurückzuführen [9-11]. Bei richtiger Anwendung mineralischer Düngemittel ist kein Unterschied zur Düngung mit Stallmist oder Gülle festzustellen. Die Pflanze kann ohnehin nicht unterscheiden, ob das von ihr aufgenommene Nitrat- oder Phosphation aus Stallmist oder Mineralien stammt. Natürlich wird der Landwirt zuerst auf den Stallung als Dünger zurückgreifen, führt er doch in

einem partiellen Kreislauf die dem Boden entzogenen Nährstoffe im richtigen Mix wieder zu, verbessert er die Bodengare und den Humusgehalt - wohin auch sonst damit?

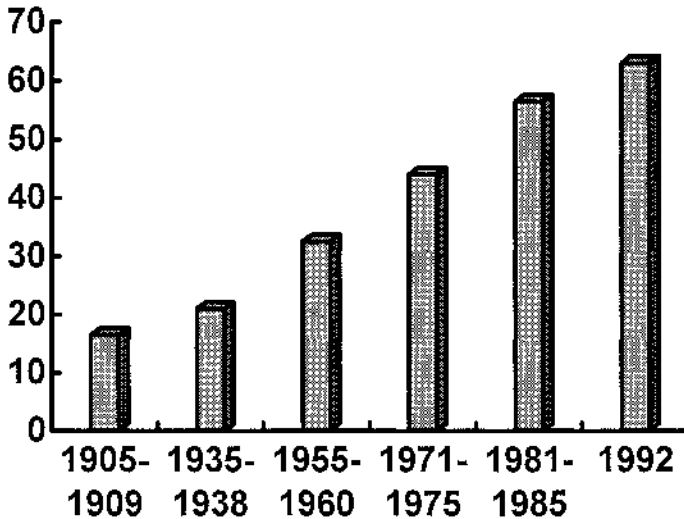


Abb. 2: Getreideerträge in Deutschland in dt/ha

- **Kunststoffe** oder, wie wir in der DDR sagten, Plaste sind aus dem heutigen Materialangebot der Volkswirtschaft nicht mehr wegzudenken. Ihr Produktionsumfang stieg seit 1950 auf das 80fache. Sie sind leicht, chemisch widerstandsfähig, vielfartig verarbeitbar und äußerst variabel einsetzbar. Ein modernes Auto enthält 130 kg dieser Produkte, wollte man sie durch andere Werkstoffe ersetzen, so müßte man mit 300 kg Mehrgewicht rechnen [12]. Dennoch ist die Kunststoffeuphorie der 60er Jahre verflogen. Damals sprach man vom Eintritt in das "Plastzeitalter". Dazu wird es nicht kommen. Es hat sich eine Mischung aus den verschiedenen Werkstoffen durchgesetzt.

- Bisher wurden 30.000 verschiedene Krankheitsbilder beschrieben. Gegen 6.000 von ihnen hat man durch chemische Synthese **Medikamente** entwickelt. INH und Semicarbazone reduzierten die Volkskrankheit Tuberkulose stark (allerdings sind neuerdings wieder resistente Erreger aufgetreten), alle Infektionskrankheiten haben chemische Widersacher gefunden, nur bei der Influenza, von Viren verursacht, war die Chemie bisher erfolglos. Ich bin überzeugt, daß die Chemie auch ihren Beitrag zur Überwindung von AIDS leisten wird. Wenn die durchschnittliche Lebenserwartung in Europa seit

1950 um 6 - 8 Jahre angestiegen ist, so hat die Chemie auch ihren Anteil daran [13].

- Stichpunktartig nur sei erwähnt:

Wer möchte auf moderne Waschmittel verzichten?

Wer möchte nicht die brillanten Textilfarben nutzen?

Wer weiß nicht die Beiträge der Chemie zur Computertechnik, zur Informations- und Unterhaltungselektronik zu schätzen?

So viele Fragen, so viele positive Antworten! Prüfen wir jetzt an Einzelbeispielen, welche Prognose dem Thema "Chemie und Umwelt" gestellt werden kann.

2. Die Chemie und die Landwirtschaft

Während 1938 eine in der Landwirtschaft beschäftigte Person 10 Einwohner Deutschlands ernähren mußte, ist diese Zahl inzwischen auf 75 angestiegen.

Es ist bekannt, daß für die Erzeugung von 40 t Weizen oder 18 t Raps eine Tonne N benötigt wird. Um N aufnehmen zu können, muß er der Pflanze als NO_3^- (Nitrat-Ion) zur Verfügung stehen. NH_3 wird im Boden durch biologische Prozesse in NO_3^- überführt. Den Pflanzen steht Stickstoff aus verschiedenen Quellen zur Verfügung:

- aus der Tätigkeit von Bodenbakterien, die im Wurzelbereich von Pflanzen leben und die in der Lage sind, Stickstoff aus der Luft in pflanzenverfügbares Nitrat zu überführen. Weltweit werden so etwa 150 Mio. t N bereitgestellt [14],
- aus mineralischer Düngung, die sowohl als NH_3 , NH_4^+ , Harnstoff (Amidform) oder direkt als NO_3^- erfolgen kann. Auf diese Weise werden weitere 100 Mio. t bereitgestellt. Der Vorteil besteht darin, daß man in der Wachstumsperiode Kopfdünger streuen kann,
- aus Stallmist und Jauche stammen weitere 20 - 30 Mio. t.

Der im Boden vor sich gehende Nitrifikationsprozeß sei hier nicht ausführlich dargestellt. Der Vorwurf gegen die mineralische N-Düngung besteht nun darin, daß das in Wasser leicht lösliche NO_3^- -Ion aus dem Boden ausgewaschen wird (tatsächlich treten N-Verluste von 5 bis 20 % je nach Witterung besonders im Spätherbst und Winter auf, da in dieser vegetationsarmen Zeit kein Verbrauch durch Kulturpflanzen erfolgt) und als Nitrat in die Trinkwasser führenden Bodenschichten gelangen kann. Hier stellt das NO_3^- ein Risiko dar, da es besonders bei Kindern Methämoglobinbildung verursachen kann. Deshalb ist in Deutschland der NO_3^- -Gehalt im Trinkwasser auf 50 mg/l begrenzt. Der niedrigere Grenzwert von 40mg/l, der in der DDR galt, wurde allerdings - wie Untersuchungen 1988 zeigten -

vielfach überschritten. In extremen Fällen wurden Kleinkinder mit Mineralwasser versorgt.

Diese Auswaschverluste können durch Einhaltung der agrotechnischen Termine, Vermeidung überhöhter N-Gaben und saurer Böden weitgehend verhindert werden [15]. Wissenschaftlich erarbeitete Richtlinien für den Einsatz mineralischer Düngemittel liegen vor.

Die Pflanze braucht zum Gedeihen außerdem die Elemente P, K, Mg und einige Spurenelemente, die ihr in wohldosierten Mengen zugeführt werden müssen. Dabei hat die Phosphatdüngung den Nachteil, daß ausgewaschene Mengen von PO_4^{3-} in stehenden Gewässern (besonders in Verbindung mit erhöhter N-Zuführung) zur sogenannten "Eutrophierung", also vermehrtem Pflanzen- und Algenwachstum mit der Gefahr der Störung biologischer Gleichgewichte führen können. Der Schädigungsmechanismus ist bekannt: Zuerst erfolgt das unkontrollierte Massenwachstum von Biomasse, die bei Temperaturwechsel abstirbt und bei ihrer Zersetzung dem Wasser den lebenswichtigen Sauerstoff entzieht [16]. Fäulnisprozesse sind die Folge, Fischsterben. Alle diese biologischen Gleichgewichte sind von einer wissenschaftlich betriebenen Landwirtschaft zu berücksichtigen.

30 % der geernteten Feldfrüchte gehen weltweit durch Lagerungsschäden wieder verloren. Schädlinge (Heuschrecken, Kartoffelkäfer, Kornkäfer) können ganze Ernten auf dem Halm vernichten, Unkräuter können die Kulturpflanzen verdrängen. Es war daher von großer Bedeutung, daß erstmals 1932 über die Kontaktwirksamkeit chemischer Verbindungen berichtet wurde. Um 1940 wurde in der 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure die erste allgemein anwendbare phytotoxische Verbindung gefunden. Heute werden weltweit 600 Substanzen als Herbizide und Insecticide gehandelt [17]. Die Arbeitsproduktivität in der Landwirtschaft steigerte sich infolge vereinfachter Pflegemethoden rasch. Infolge des Einsatzes von DDT konnte z. B. die Anophelesmücke so erfolgreich bekämpft werden, daß die Malaria um 1963 als eine aussterbende Tropenkrankheit galt. Leider zeigte sich sehr bald, daß vor allem die chlorierten Verbindungen wie DDT, Lindan und 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (T) sich in der Natur als sehr widerstandsfähig erweisen, im tierischen Fettgewebe angereichert werden und bald weltweit, sogar in Grönlands Eisküsten, nachzuweisen waren. Warnungen vor "chemischen Zeitbomben" konnten nicht mehr überhört werden. Die Produktion von DDT, Lindan, 2,4,5-T und Pentachlorphenol wurde in Deutschland eingestellt.

Pflanzenschutzmittel gehören heute zu den toxikologisch am besten untersuchten chemischen Verbindungen. Nur etwa 20 % der im Umlauf befindlichen Produkte können überhaupt einer Giftklasse zugeordnet werden. Dennoch ist die Kritik am Einsatz dieser Produkte sehr wertvoll. Sie führte dazu, daß entwickelt wurden seit 1980

- immer selektiver wirkende Mittel (Getreide - Flughafer)
- Mittel, die schon in geringster Menge wirksam werden
- Produkte, die nach Anwendung leicht abgebaut werden und kein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen [18].

Allgemein wird versucht, auf biologische Schädlingsbekämpfungsverfahren durch Sexuallockstoffe wie die Pheromone überzugehen. Von "Chemischen Keulen", wie sie einst in Totalvernichtungsmitteln vom Typ Dalapon (Dichlorpropionsäure) angewandt wurden, sind wir heute schon sehr weit entfernt, die Suche nach noch selektiver wirkenden Präparaten wird fortgesetzt.

Mit diesen Ausführungen ist das Problem "Chemie und Landwirtschaft" keineswegs erschöpfend behandelt. Tieraufzuchtpräparate vom Typ Glenbutamol und Hormone sorgten für unerfreuliche Schlagzeilen, Produkte zur Förderung der Intensivhaltung von Tieren wurden entwickelt, es gibt Halmstabilisatoren und Mittel zur Verbesserung der Bodenstruktur, Konservierungsstoffe und viele Tierarzneimittel - mit einem Wort: die Chemie ist in der Landwirtschaft und den Nahrungsmitteln allgegenwärtig. Der heute in Europa erreichte Stand in der Landwirtschaft: ein Landwirt sorgt für die Ernährung von 75 Personen, ist ohne Chemie nicht aufrechtzuerhalten.

Als Ausweg aus diesem Dilemma wird "Alternativer Landbau" empfohlen. Er soll ganz ohne Chemie auskommen, d. h., er will auf wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse über Pflanzenernährung und Landwirtschaft, die wir seit 150 Jahren gesammelt haben, verzichten. Er nimmt dabei in Kauf, daß die landwirtschaftliche Produktion in Europa um 30 % zurückgehen könnte, ein Umstand, der sehr schwer ins Gewicht fallen würde, wenn wir in Westeuropa keine Überschußproduktion mehr hätten. Die Produkte der alternativen Erzeugung kosten auf dem Markt etwa das Doppelte, über eventuelle Vorteile im Geschmack oder Aussehen können wir uns hier nicht äußern. Auf die kürzlich geführte Diskussion über holländische Gewächshaus-Tomaten wollen wir nicht eingehen. Ihre erkennbaren Qualitätsmängel sind vor allem durch gentechnische Einflüsse bedingt. Die hartnäckige Kritik am Chemieeinsatz in der Landwirtschaft war von großem Wert, trug sie doch dazu bei, das Umweltbewußtsein der Öffentlichkeit erheblich zu schärfen [19].

Man darf das Problem der Versorgung mit Landwirtschaftsprodukten nicht nur mit westeuropäischen Maßstäben messen. Mindestens 1 Mrd. Menschen sind gegenwärtig unterernährt, d.h. ihnen stehen Lebensmittel von weit weniger als dem Durchschnittswert von 2.500 Kcal/Tag zur Verfügung. Die Zahl der Hungernden steigt weiter an. Um ihren Hunger zu stillen, kann die Landwirtschaft weltweit nicht auf den Beitrag der Chemie verzichten. Wir

werden uns also auch in Zukunft mit dem Thema "Chemie und Landwirtschaft" beschäftigen müssen.

Was bleibt also zu tun?

- Wir sollten an dem Weg, die Übereinstimmung des Menschen mit der Natur auf wissenschaftliche Weise zu begründen, festhalten und die Bemühungen der Wissenschaft konsequent fortsetzen.
- Wir müssen immer tiefer den Kreislauf der Natur verstehen lernen, die chemischen, biologischen und toxikologischen Faktoren, die natürlichen Gleichgewichte bestimmen, untersuchen und daraus Konsequenzen ziehen.
- Das alles sollte von einer fortschrittlichen Gesetzgebung gefördert werden, die im Interesse des Bürgers exakt festlegt, wie weit chemische Mittel eingesetzt werden dürfen und welche Prüfungen ein neues Präparat vor seiner Einführung in den Markt zu durchlaufen hat. Es ist sehr zu bedauern, daß es bisher nicht gelungen ist, den Umweltschutz in mehr als allgemeiner Weise in das Grundgesetz unseres Landes aufzunehmen.

3. Die Chlorchemie

Auf diesem Gebiet liegt die chemische Industrie seit Jahren am stärksten unter Beschuß. Greenpeace bezeichnet die Chlorchemie als "organisierte Vergiftung" und fordert, "im Jahre 2000 keine chlorhaltigen Massenprodukte mehr auf den Markt zu bringen" [6], [20]. Die Verbraucher und die Umweltschutzverbände akzeptieren diese Forderung und beginnen, sich in ihrem Kaufverhalten immer stärker danach zu richten. Ein allgemeiner Konflikt zwischen Chemie und Gesellschaft, gleichzeitig mit dem weitergehenden Merkmal "Wissenschaft gegen Natur" versehen, droht auszubrechen. Wie soll sich die chemische Industrie da verhalten? Was macht für sie das Chlor so attraktiv?

Chlorverbindungen zeichnen sich aus durch:

- 1) das hohe Reaktionsvermögen mit anderen chemischen Verbindungen,
- 2) die leichte Verfügbarkeit in Salzlagerstätten und Gewinnbarkeit durch ausgereifte Elektrolyseverfahren,
- 3) die wertvollen Eigenschaften der Cl_2 -haltigen Endprodukte, wie hohe thermische und chemische Stabilität, hohes Lösevermögen, vielseitige Anwendbarkeit (vor allem beim PVC), vorteilhafte toxikologische Eigenschaften.

Weltweit wurden 1991 35 Mio. t Cl_2 , in Deutschland rund 3 Mio. t, erzeugt und verarbeitet. Die breite Palette nützlicher Chlorprodukte macht rund 60 % des Chemieumsatzes aus, im wahrsten Sinne des Wortes ein Schlüsselprodukt. Aber nur etwa 10 % des Cl_2 findet sich in Endprodukten wieder, 90 % gehen innerhalb der chemischen Betriebe in Produktkreisläufe über und

finden sich meist in Form von wasserlöslichen Chloriden im Abwasser [21]. Es stellte sich bald heraus, daß die Vorzüge des Chlors mit erheblichen Nachteilen für die Umwelt erkauft wurden:

- 1) Da die Natur keine Enzyme oder anderen Wirkstoffe für die Spaltung der C-Cl-Bindung kennt, nehmen Cl-Verbindungen am natürlichen Kreislauf nicht teil. Sie reichern sich vielmehr auch infolge ihrer hohen Löslichkeit im tierischen Gewebe an und beeinflussen so die Nahrungskette in den Weltmeeren. Mit den sehr empfindlichen Analysemethoden konnte man inzwischen in entlegensten Weltteilen organische Cl-Verbindungen nachweisen.
- 2) Chlorhaltige Kohlenwasserstoffe, insbesondere sog. FCKW (Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe) sind in erheblichem Maß für den Treibhauseffekt verantwortlich, ebenso für die Ausbildung des Ozonloches über den Polkappen [22].
- 3) Alle schweren Chemieunfälle standen bisher mit der Chlorchemie in Verbindung. Es muß befürchtet werden, daß die beim berühmten Seveso-Unfall aufgetretenen Dioxine auch bei normaler Verbrennung Cl-haltiger organischer Abfälle gebildet werden und so ein nicht tragbares Risiko für die Auslösung von Krebserkrankungen darstellen. Viele leicht lösliche oder flüchtige Cl-Verbindungen wurden bisher toxikologisch nicht untersucht. Im Elbwasser wurden 1988 54 verschiedene chlorierte Verbindungen nachgewiesen (nach internen Berichten des DDR-Instituts für Umweltforschung).
- 4) Besonderes Ziel der öffentlichen Kritik ist der Massenkunststoff PVC, von dem in Deutschland 1990 1,2 Mio. t unter Verwendung von einem Viertel der Cl_2 -Produktion erzeugt wurden [23]. Es ist bekannt, daß monomeres Vinylchlorid (ein Gas) krebserregend ist. Deswegen wird PVC auch zu 99,7 % auspolymerisiert. Monomeres Vinylchlorid entweicht allerdings in Deutschland während des Produktionsprozesses zu einigen 100 t/a in die Atmosphäre, eine zusätzliche Gefahrenquelle.

Diese Nachteile riefen, sobald sie bekannt wurden, Gegenmaßnahmen seitens des Gesetzgebers und der chemischen Industrie hervor. Die Produktion des Insektizids DDT wurde vor 20 Jahren verboten, polychlorierte Biphenyle PCB werden seit 1983 und das Holzschutzmittel Pentachlorphenol seit 1984 nicht mehr produziert. Chlorierte Lösemittel wie Trichlorethylen, Perchlorethylen, Methylenchlorid und Trichlorethan machen rund 90 % der Chlorkohlenwasserstoffe aus, d.h. 14 % aller Lösungsmittel. In den 80er Jahren wurden Spuren dieser Verbindungen im Trinkwasser entdeckt, ein Anlaß mehr, die Einstellung der Produktion zu fordern. Die Erzeugung ist stark rückläufig, sie fiel von 180 Tt im Jahre 1986 auf 100 Tt 1990 und wird 1995 nur noch 50 Tt betragen. Für Metallentfettung, Textilreinigung und

andere spezielle Anwendungsgebiete wurden jedoch noch keine Ersatzlösungen gefunden, das bleibt der Zukunft vorbehalten [24].

Weltweit wurden auf Konferenzen in Montreal 1987 und in London 1990 Beschlüsse gefaßt, die die Produktion der "Ozonkiller" FCKW in absehbarer Zeit verbieten [25]. War erst von einer Einstellung der Produktion bis 2000 die Rede, so wurde 1990 die Beschleunigung dieses Prozesses bis zum Jahre 1995 vorgesehen, da die Erscheinungen in der Stratosphäre dies erfordern. Man sieht also, daß sehr wohl Radikalmaßnahmen international verbindlich beschlossen werden können, wenn das die Umstände erfordern. Alarmierend ist allerdings der Umstand, daß die mittlere Lebensdauer von FCKW, die sich bereits in Stratosphäre und Atmosphäre befinden, 107 Jahre beträgt. Es werden also weiterhin große Belastungen auf die Ozonschicht zukommen. Für die bisher wichtigsten Anwendungsbereiche, den Spraybereich, die Kältetechnik und die Kunststoffschäume, hat die Chemie inzwischen brauchbare Cl-freie Lösungen gefunden.

Noch ein Wort zum PVC. Es gibt keinen Kunststoff, der so vielfältig variiert werden kann, wie dieser. Als Hart-PVC dient er zum Herstellen von Rohren und Fensterrahmen, als Weich-PVC wird er zur Produktion von Schläuchen, Folien bis hin zu medizinischen Geräten und Kabelisolierungen eingesetzt. Bodenbeläge, Teppiche, Tapeten stellen andere Formen des Einsatzes dar. Es ist schon schwer, diese Vielseitigkeit zu ersetzen [26]. Die Umweltschützer wollen nicht nur Kritik üben, sondern machen auch Vorschläge für Ersatzlösungen. Diese Vorschläge sollten auf der Grundlage wissenschaftlich begründeter Ökobilanzen erfolgen, um Fehlurteile zu vermeiden. Nicht alle dieser Vorschläge sind unter Konkurrenzbedingungen ökonomisch realisierbar. Es wird darauf verwiesen, daß auch in den verschiedenen Weichmachern, Stabilisatoren und Zusatzstoffen, die erst den fertigen Werkstoff PVC ausmachen, zusätzliche Gefahren für die Umwelt schlummern, alles in allem ein komplexes Feld, das uns weiterhin beschäftigen wird.

Wie groß ist die Gefahr, daß sich bei der Verbrennung dieser Materialien Dioxine bilden? Das ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe von 75 verschiedenen chemischen Verbindungen, von denen das 2,3,7,8-TCDD das eigentliche Sevesogift ist. Es ist hoch toxisch und bildet sich immer dann, wenn Trichlorphenoxyessigsäure auf etwa 200°C erhitzt wird. Mit den modernen Analysemethoden gelingt es, 10⁻¹¹ g dieser Verbindung nachzuweisen. Das 2,4,5 T war ein viel genutztes selektives Herbicid, das durch den Einsatz in Vietnam als Entlaubungsmittel (die Amerikaner nannten es *Agent Orange*) traurige Berühmtheit erlangte. Unter den Begleitstoffen von 2,4,5 T befinden sich auch in Spuren Dioxine, so daß der ehemalige Dschungel in Vietnam das am meisten mit Dioxinen verseuchte Gebiet der Erde darstellen dürfte.

Übrigens sind bei der um 1950 aufgenommenen Produktion von 2,4,5 T Betriebsunfälle mit Todesfolge vorgekommen, ohne daß man damals das 2,3,7,8-TCDD als Ursache erkannt hätte. Die Produktion von 2,4,5 T wurde 1983 eingestellt. Die Verbrennung Cl-haltiger organischer Materialien wurde sehr genau untersucht. Gefördert durch die gesetzliche Auflage, daß bei der Verbrennung weniger als 10^{-10} g/m³ Abgas nachgewiesen werden, wurden inzwischen Verbrennungsmethoden entwickelt, die eine unvollständige Verbrennung und damit eine Dioxingefahr ausschließen. Bei Wohnungsbränden, an denen PVC-Materialien beteiligt sind, fällt ins Gewicht, daß etwaige Dioxine sich durch ihre hohe Adsorptionsneigung an Staub oder Ruß auszeichnen. Die so gebundenen Molekeln sind durch Wasser nicht abzuwaschen, sie werden von Pflanzen nicht aufgenommen. Heute wird die Dioxinbelastung in Deutschland auf weniger als 100 g/a geschätzt.

Alle bisher eingeleiteten Maßnahmen führen von 1989 zu 1992 zu einem Rückgang in der Chlorproduktion um 550.000 t (3,43 zu 2,87 Mio. t). In den Folgejahren ist mit einer weiteren Senkung zu rechnen. Einen völligen Ausstieg aus der Produktion Cl-haltiger Massenprodukte wird es nach Auffassung der chemischen Industrie nicht geben, evtl. Ersatzlösungen sind einfach zu aufwendig [26]. Sie sind auch bei vielen absolut stabilen Cl-Produkten nicht nötig. Also bleibt die Kritik von Umweltschützern, die diese Maßnahmen als ungenügend einschätzen, erhalten. Aus diesem Konfliktpotential können zweifellos positive Ergebnisse erwartet werden, wenn Wissenschaft und Gesetzgebung nach Lösungen suchen.

Schließlich sind alle Teilnehmer an diesem Prozeß an einer intakten Umwelt interessiert.

4. Waschmittelchemie

Waschmittel, genauer gesagt, die in ihnen enthaltenen Tenside, oberflächenaktive Stoffe, waren die ersten, die in Deutschland das Thema "Chemie und Umwelt" zur Diskussion brachten. Ihre Abgabe an Vorfluter führte zu riesigen Schaumbildungen im Rhein, Elbe, Saale, Pleiße und Luppe. Das begann bereits in den 50er Jahren. Die bis dahin schwer abbaubaren Tenside wurden ab 1964 durch biologisch leichter abzubauende Tenside ersetzt, die erste umfassende Umweltmaßnahme der chemischen Industrie in West und Ost.

Bekanntlich ist der deutsche Verbraucher ein Sauberkeitsfanatiker. Die Produktion an Waschmitteln stieg von 1956 - 1983 auf das Vierfache an. Längst ist das Waschmittel der Gegenwart nicht einfach nur Seife, sondern ein *mixtum compositum*, das viele Funktionen erfüllen muß:

- 1) Das Washwasser ist zu enthärten, d.h. von störenden Ca²⁺- und Mg²⁺-Ionen zu befreien. Dazu diente lange Zeit bestimmte Phosphate. Seitdem man deren schädliche Auswirkungen auf Binnengewässer

- kennt, werden Zeolithe eingesetzt. Auch Nitrilotriacetat wurde probiert, beide Zusätze haben aber auch Nachteile,
- 2) die Tenside, die oft für bestimmte Einsatzgebiete "maßgeschneidert" sind und die Bedingung erfüllen, biologisch leicht abbaubar zu sein (Waschmittelgesetz von 1964),
 - 3) Eiweiß abzubauen (Blut, Milch). Hierzu werden entsprechende Enzyme zugesetzt,
 - 4) Keime abzutöten und Obstflecken zu entfernen. Das geschieht durch Perborat, das bei 90°C O₂ abspaltet. Um auch bei 40°C-Wäsche wirksam zu werden, wird Perborat durch weitere Zusätze aktiviert. Außerdem verhindern Stabilisatoren den vorzeitigen Zerfall des Perborats.
 - 5) Waschmittel ist besonders als Pulver begehrt, neuerdings auch in Perlform. Um die Rieselfähigkeit zu erhalten, werden Stellmittel zugesetzt.
 - 6) Optische Aufheller, Duftstoffe, Seife, Silikat und Soda runden die Zusammensetzung des Waschmittels ab [27].

Die Verbesserung der Zusammensetzung geht auch in Bezug auf Umweltverträglichkeit weiter. Die entsprechenden Handelsprodukte zeichnen sich durch Zusätze wie "Ultra" und "Rapid" aus. Gerade die Wäsche bei 40°C hat einen bedeutenden Energiespareffekt. In diesem Zusammenhang sollten die für viele verschiedene (20-25) Einsatzgebiete entwickelten Reinigungs- und Pflegemittel im Haushalt nicht unerwähnt bleiben, da sie etwa ähnliche Umweltprobleme bieten. Waschmittel und Reinigungsprodukte machen in Deutschland etwa einen Bedarf von 18 kg/Kopf der Bevölkerung aus und haben einen Markt von vielen Milliarden DM.

5. Kunststoffverpackung und Duales System

Hier sei nur ein Problem ausführlicher dargestellt, zumal Herr Frommelt einen Extravortrag über Kunststoff-Recycling halten wird. In der Bundesrepublik fallen jährlich etwa 2,5 Mio. t Kunststoffabfälle an. Im Hausmüll machen Kunststoffabfälle etwa 7 % aus. Das Duale System soll ab 1. Juli 1995 rund 600.000 t Kunststoffverpackungen erfassen, sortieren und wieder verwenden. Dieser Auftrag dürfte kaum erfüllt werden, erst 1996 steht eine 300.000 tato-Recyclinganlage zur Verfügung. 700.000 t Altkunststoffe werden gegenwärtig unter Energiegewinnung verbrannt, 1,3 Mio. t werden deponiert [28].

Kunststoffrecycling stellt sich als ein unerwartet schweres Problem dar. Das hängt mit der Vielfalt der Kunststoffe und mit der nicht sortenreinen Erfassung zusammen. Nur etwa 20 % können in unveränderter Qualität zurückgewonnen werden. Bei allen anderen Altstoffen treten Qualitätsverluste auf.

Neben der Energieerzeugung scheinen die technische Pyrolyse, die Synthesegas-Gewinnung und die Hydrierung als aussichtsreiche chemische Verwertung in Frage zu kommen. Alle Verfahren sind technisch noch nicht ausgereift. Das Duale System hat gegenwärtig Kosten in Höhe von DM 3.000.- pro Tonne [80 % davon bei Erfassung und Sortierung (darin war das "Sero"-System der DDR eindeutig überlegen)]. Kostendeckung sieht das Duale System vorerst nicht vor, ein Zuschuß von 350,-DM/t bei der Erfassung und 350,-DM/t bei der Verwertung ist das Ziel. Eine Lösung des Gesamtproblems wird bis 1998 in Aussicht gestellt [29].

Oft ist ein Verpackungsluxus zu beobachten. Wenn auch nicht verkannt werden darf, daß verpackte Lebensmittel im allgemeinen vor Verlust und Verderb hygienisch geschützt sind, auch die Folien um Bücher und Geräte haben sich als praktisch erwiesen, so gibt es doch viele Luxus-Mehrfach-Verpackungen.

Mehr Bescheidenheit auf diesem Gebiet wäre sehr vorteilhaft. Offensichtlich sind Einkaufstaschen außerhalb jeder Vorstellung. Wer wundert sich nicht, wenn im Film Verbraucher beim Verlassen des Supermarktes mit riesigen Tüten hantieren müssen?

6. Schwermetalle und Chemie

Obwohl die Pflanzen lebensnotwendig Spurenelemente wie Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Co und Se benötigen, besteht doch heute eine Gefährdung der Umwelt durch die Verseuchung mit Cd, Ni, Co, Cr, Pb, Hg und vielen anderen Schwermetallen. Zu den neuartigen Problemen auf diesem Gebiet gehört die Aufbereitung von Elektronikschrott.

- 1) Als die Natriumchlorid-Elektrolyse sich in den 30er (1935) Jahren auf Hg-Elektroden umstellte, glaubte man, einer wesentlichen Verbesserung des Verfahrens auf der Spur zu sein. Die 1953 aufgetretene "Minimata"-Krankheit belehrte uns eines Besseren. Überall, wo man die Hg-Alkalichloridelektrolyse anwendete, wies man steigende Mengen an Hg im Boden und in Flüssen nach. Es gelang zwar, die Hg-Verluste drastisch zu reduzieren (auf 100 mg Hg pro kg Cl_2), Hg - nur als Dampf gefährlich - greift Nerven an. Ataxie Unfähigkeit zum Schreiben. Das Verfahren der Zukunft wird die sogenannte Membrantechnologie sein, die ohne Hg auskommt und in technisch ausgereifter Form vorliegt. Es ist heute kaum noch vorstellbar, daß man 30 Jahre lang flüchtige Hg-Verbindungen als Saatbeizen verwendete ($\text{C}_2\text{H}_5\text{HgCl}$ gegen Flugbrand bei Weizen) [30].
- 2) Als man 1922 erkannte, daß Bleitetraethyl $[\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4]$ die Oktanzahl von Benzin wesentlich erhöht, womit man das Kompressionsverhältnis im Motor steigern konnte, war die Geburtsstunde des "verbleiten" Benzins gegeben (1963: 300.000 t Zusatz von 0,5-0,75 ml/l Benzin).

Um die Bildung von verstopfendem PbO zu vermeiden, setzte man Cl- oder Br-haltige Verbindungen zu, die schließlich zur Bildung von flüchtigem PbCl₂ führten (von Haut resorbiert - Weidetiere an Autobahn gefährdet). Ein idealer Nährboden für eine breite Streuung des Bleis in der Umwelt. Zwar senkte der Gesetzgeber mehrfach die Grenze des Bleizusatzes zum Benzin, aber noch immer kann man verbleites Benzin tanken. Da Pb die Kraftfahrzeugkatalysatoren zerstört, wird sein Absatz zwangsläufig zurückgehen. Das Beispiel zeigt deutlich, wie gedankenlos wir die Umwelt behandeln.

- 3) Für Zwecke des Korrosionsschutzes und als Stabilisatoren im PVC werden 1.100 t Cd in Deutschland verbraucht. In Ni/Cd-Batterien und in Solarzellen wird davon ebenfalls eingesetzt. Das im Abwasser enthaltene Cd reichert sich in Kläranlagen an und wird mit dem Klärschlamm auf die Felder gebracht. Cd findet sich schließlich in den meisten natürlichen Phosphaten. Boden darf 0,1-1,0 mg Cd/kg enthalten. Enthält der Boden >3,0 mg/kg, so verbietet die Klärschlamm-Verordnung das weitere Aufbringen. Cd reichert sich im Nierenringewebe an und kann dort Funktionsstörungen auslösen. Bei Arbeitern, die Cd-haltigen Stäuben ausgesetzt waren, wurde gehäuft Lungenkrebs beobachtet [31].
- 4) Schließlich ist die elektronische Industrie ein Verbraucher seltener Elemente. Ga, As, In, Sb. Seltene Erdmetalle werden u.a. zum Aufbau von Chips benötigt. Bei einem weltweiten Marktwert von 200 Mrd. DM machen sie einen bedeutenden Anteil an der Produktion aus [32]. Die immer schnellere Entwicklung führt zur Verschrottung von Bauteilen, Batterien und Anzeigegeräten. Es ist schon erstaunlich, daß die in Batterien enthaltene elektrische Leistung global ebenso groß ist, wie die gegenwärtig vorhandene Kraftwerkskapazität (1,5TW). Diese Verschrottung in einen Wiederverwendungszyklus der teilweise wertvollen und seltenen Elemente einzuführen, stellt eine neue Herausforderung an die Chemie dar, die hierfür noch keine allgemein gültigen Lösungen gefunden hat. Insgesamt kann man feststellen, daß die Probleme, die sich aus der Spurenverteilung vieler Elemente ergeben, von der Chemie erkannt, aber noch nicht voll gelöst sind.

7. Formalin (Formaldehyd)

Schließlich noch ein Wort zum Formaldehyd. Seit 1984 diskutiert man die Frage, ob Formaldehyd, der sich durch einen stechenden Geruch auszeichnet, krebserregend ist. Erhöht man die Empfindlichkeit des Nachweises, so ist CHOH ein allgegenwärtiges Produkt. In Städten wurden bis 0,06 ppm in der Luft gemessen, aber auch über dem offenen Meer noch 0,005. Formaldehyd wird zu 500.000 t in Deutschland produziert. 40 % davon werden für die Spanplattenproduktion benötigt. Als Rohstoff für die sogenannten

Kondensationsharze spielt CHOH eine große Rolle. Ab 0,3 ppm nimmt der Mensch ihn in der Atemluft wahr. Allerdings wird Formaldehyd als Naturprodukt sehr schnell abgebaut, so daß Langzeitwirkungen nicht vorliegen können. Er gehört zu den toxikologisch am besten untersuchten Substanzen. 1980 wurden für Spanplatten drei Emissionsklassen festgelegt, die sich durch Emissionswerte von 0,1 - 2,3 ppm unterscheiden. Der Verdacht, daß Formaldehyd krebserregend ist, konnte bei Untersuchung von 20.000 Fällen nicht erhärtet werden. Übrigens bildet Zigarettenrauch eine der bedeutendsten Formaldehydquellen [33].

*

Wir werden jetzt die Einteilung nach Produkten verlassen und die Verantwortung der Chemie für die Reinhaltung von Luft und Wasser behandeln.

Beginnen wollen wir mit der

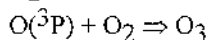
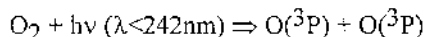
8. Reinhaltung der Luft

Ohne bereits Gesagtes zu wiederholen, sollen hier Probleme der Luftverunreinigung behandelt werden. SO_2 , NO , CO , CO_2 , KWw und Staub sind die wesentlichen von chemischen Prozessen ausgehende Verunreinigungen. Ich muß ehrlich gestehen, immer wenn am IJASA eine Landkarte mit der stärksten SO_2 -Belastung Europas gezeigt wurde, wobei das Gebiet der DDR, CSSR und Westpolens besonders dunkel gefärbt war, beschlich mich ein flaes Gefühl. War doch mit der von der DDR-Regierung verfüigten Verbrennung von 1986 betragenden 320 Mio. t Rohbraunkohle zwangsläufig eine Freisetzung von 5 Mio. t SO_2 in der DDR verbunden. Zusammen mit den 4 Mio. t SO_2 in der BRD und nochmals schätzungsweise weiteren 5 Mio. t in der CSSR und Polen war ein Gebiet in Mitteleuropa von weniger als 1 Mio. km^2 mit 14 Mio. t SO_2 belastet, d.h. je km^2 15 - 16 kg SO_2 /Jahr. Das hätte für das Guinness-Buch der Rekorde gereicht! Die Bezirke Cottbus und Halle in der DDR waren mit 30 - 35 kg SO_2 /Jahr/ km^2 belastet! Die chemische Industrie hat direkt an diesem Ausstoß nur einen Anteil von 4 %. Seit der Einführung der Doppelkatalyse bei der H_2SO_4 -Gewinnung gibt dieses Verfahren kaum noch SO_2 an die Umwelt ab. Als einer der bedeutendsten Energieverbraucher hat die chemische Industrie natürlich auch einen Anteil von etwa 25 % des bei der Energieerzeugung anfallenden SO_2 zu verantworten. SO_2 dringt in die Stratosphäre ein und bildet dort Schwefelsäure-Aerosole. Deren Konzentration wuchs in 20 Jahren jährlich um 9%. Sie bilden teilweise die Ursache für die beobachtete Erwärmung der Stratosphäre um $6-7^\circ\text{C}$ [34].

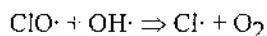
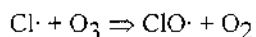
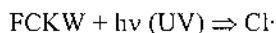
Die die Atmosphäre belastenden Stickoxide stammen zu 90 % aus dem Kraftverkehr. Die berühmigten braunen Abgasfahnen in Bitterfeld gehören der Vergangenheit an. Durch die Entwicklung von Abgaskatalysatoren hat

die Chemie einen positiven Beitrag zum Kraftverkehr geleistet*. Das NO ist sowohl an der gefährlichen Smogbildung in Städten als auch an dem Abbau der Ozonschicht beteiligt. Dort wo NH₃ und Amine an die Atmosphäre abgegeben werden können, ist mit NO die Bildung krebserregender Nitrosamine möglich. Das traf z. B. auf den Bezirk Halle zu.

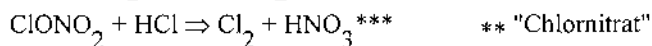
In der Stratosphäre, in etwa 10-50 km Höhe, wird durch ultraviolette Strahlung nach folgenden Mechanismus Ozon, O₃, gebildet:



In 20 - 50 km Höhe erreicht die Ozonkonzentration mit 7 ppm ihr Maximum. Das Absorptionsmaximum von Ozon für Lichtstrahlung liegt bei 254 nm. Durch diese Absorption verhindert das Ozon, daß gefährliche Dosen an ultravioletter Strahlung die Erdoberfläche erreichen und dort z.B. Zellen zerstören (das Absorptionsmaximum der DNA liegt sehr nahe, bei 260 nm). Unter dem Einfluß von ultravioletter Strahlung werden aus Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) Chlornradikale freigesetzt, die die schützende Ozonschicht abbauen. In 40 km Höhe beträgt der Ozonverlust etwa 8%:



An Eiskristallen laufen bei -80°C Oberflächenreaktionen ab, die zur Bildung von O·, ClO· und Cl· Radikalen führen (die Punkte bezeichnen reaktive Radikale).



Es ist ersichtlich, daß Fluornradikale an diesem Abbaumechanismus nicht in Erscheinung treten. Die Halbwertszeit der FCKW beträgt übrigens in der Stratosphäre etwa 107 Jahre.

CO ist zwar ein starkes Atemgift, das Methämoglobin bildet, infolge seiner Leichtflüchtigkeit ist die von ihm an freier Atmosphäre ausgehende Gefahr jedoch gering. Das CO₂ gehört zu den natürlichen Bestandteilen der Luft. Es ist Ausgangspunkt der alles Leben bedingenden Fotosynthese.

* vgl. den Vortrag von E. Hoyer am 19. Mai 1994 vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät, vorgesehen zum Abdruck in den Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät 7(1995)7.

Anders sieht die Verantwortung für die Verunreinigung mit Kohlenwasserstoffen aus. Die einfachen KWw leisten ihren Beitrag zum Treibhauseffekt, ringförmige KWw wie Benzen und Toluol können Krebs auslösen. Das Reinigen und Waschen größerer Abgasströme ist jedoch eine in der chemischen Industrie gut beherrschte Grundoperation. Luftverunreinigung tritt örtlich durch H₂S, Mercaptane (Leuna), HF, Dioxine, VC (Buna) auf, sie wurden bereits behandelt.

Bleibt noch die Staubbildung. Wer die Rauchfahnen der Carbidöfen in Schkopau, von Zementanlagen und Düngemittelanlagen in Erinnerung hat, glaubt gern, daß auf der nördlichen Halbkugel der Erde die Staubbildung längst meteorologischen Einfluß gewonnen hat. Wer die Idee hatte, gefährliche Abfälle auf See zu verbrennen, hat grob fahrlässig gehandelt (1989/1994). Seit 1989 ohne deutsche Beteiligung, ab 1994 verboten.

Kommen wir zur

9. Verunreinigung des Wassers

Auf diesem Gebiet steht die chemische Industrie viel stärker in der Kreide als auf dem Luftsektor, verwendet sie doch Wasser als Kühlmittel und belastet es mit zahlreichen Produkten. Um 1960 wurde die Saale zur Hälfte durch das Leuna-Werk geleitet, um den Kühlwasserbedarf zu decken. Heute bestehen in Betrieben Kühlwasserkreisläufe, die eine Mehrfachverwendung von Kühlwasser gestatten. Auf alle Fälle muß das im Chemiebetrieb eingesetzte Wasser von gelöstem NH₃, Aminen, Phenolen, Fe- und Cr-Salzen, Fettsäuren und Aldehyden - um nur einiges zu nennen - gereinigt werden, ehe es an Vorfluter abgegeben werden kann.

Das Verfahren der Wahl ist heute eine mehrstufige biologische [35] Abwasserreinigung, die mit Belebtschlamm arbeitet, indem organische Verbindungen durch Mikroorganismen zersetzt und die anorganischen Bestandteile (Metalle, Oxide) im Schlamm adsorbiert werden. Über die Verwendung dieses Schlammes wurde bereits gesprochen. Das so gereinigte Wasser kann, wenn es auf Umgebungstemperatur abgekühlt ist, unbedenklich an Flüsse abgegeben werden. Die deutsche chemische Industrie investiert gegenwärtig etwa ½ Mrd. DM/Jahr in den Abwasserschutz, wobei sich die Betriebskosten auf 1 Mrd. DM/Jahr belaufen. Auf jeden Fall muß eine Gefährdung des Trinkwassers ausgeschlossen werden!

Auch wenn die Belastungen des Rheins in den letzten Jahren erheblich gesenkt werden konnten, geurteilt wird nach spektakulären Vorkommnissen [36]! Das betrifft auch den Zustand der Elbe, die nach wie vor bereits in ihrem Oberlauf erheblich mit Chemieabfällen belastet ist. (Im November 1994 gab die Presse bekannt, daß der Hg- und Cd-Gehalt der Elbe erheblich gesenkt werden konnten.)

Fortschritte im Gewässerschutz wurden in der Papierherstellung, in der Textil- und Lederindustrie, allesamt sehr abwasserbelastend, gemacht, ohne daß die Einzelheiten hier dargelegt werden können. Bis jetzt wurden die Maßnahmen zum Schutz der Umwelt durch die chemische Industrie im allgemeinen durch zusätzliche Verfahrensschritte ausgeführt. Man baute also eine Gaswäsche ein, um Abgas zu reinigen, man fügte eine zusätzliche Entstaubungsanlage ein oder eine Adsorptionsstufe mit Aktivkohle. Man nennt dies additiven Umweltschutz. Zukünftig muß jedoch vom Prinzip des integrierten Umweltschutzes ausgegangen werden., d.h. das Produktionsverfahren muß so gestaltet werden, daß es die umweltschädigenden Stoffe gar nicht erst hervorbringt [37,38]. Dazu gehören vor allem geschlossene Stoffkreisläufe, aber nicht nur diese. Viele Beispiele dafür wurden in den letzten Jahren bekannt. Es kommt also darauf an, die bestehenden Produktionsverfahren unter dem Aspekt der Umweltverträglichkeit neu zu konzipieren. Das ist natürlich ein Prozeß, der Zeit braucht, um neue Erkenntnisse in die Praxis einzuführen und die entsprechenden Investitionen zu veranlassen. Diese Entwicklung ist unabdingbar, je eher sie vorankommt, um so besser.

Noch ein Wort zu den Transportunfällen. Am auffälligsten sind Tankerunfälle mit Erdöl. Tagelang berichtet die Presse - sehr zu Recht - über verseuchte Strände und verendete Seevögel. Der Schaden, den der Tanker "Exxon Valdez" vor Alaska angerichtet hat, wird, alles aufgelistet, auf 5 Mrd. Dollar geschätzt. Allein die Gerichte haben bisher den betroffenen Fischern mehrere 100 Mio. Dollar Entschädigung zugesprochen. Hinzu kommt, daß verantwortungslose Reeder Tanker mit technischen Mängeln einsetzen. Ein ganz anderes "Transportproblem" stellen die Versuche dar, Giftmüll in anderen Ländern zu deponieren.

Ziehen wir Bilanz.

10. Wie teuer ist uns der Schutz der Umwelt?

- 1) Umweltschutz ist teuer - um einen üblichen Gemeinplatz zu variieren: zum Nulltarif ist er nicht zu haben. Die Produktionskosten der meisten Erzeugnisse weisen ein bedenkliches Defizit auf (hierin waren sich Markt- und Planwirtschaft ausnahmsweise einmal einig): sie tun so, als biete uns die Natur ihre Schätze umsonst an. Um eine neue Erdölquelle ausbeuten zu können, berechnet man heute die Kosten für die Exploration, die Produktion und die Nutzung, die gemeinsam die Selbstkosten für das Produkt am Entstehungsort ausmachen. Eigentlich müßte noch eine Umweltabgabe dazukommen, die die Wiederherstellung des natürlichen Gleichgewichtes, das durch die Produktion und Nutzung gestört wurde, angibt. Im Falle des Erdöls würde das auch die Kosten für die Beseitigung von Umweltschäden bei der

Verbrennung der daraus hergestellten Produkte umfassen. Diese Kosten können wir heute noch nicht einmal annähernd nennen. Also: die Erde wird von uns immer noch ausgebeutet.

- 2) Besonders auf die chemische Industrie kommen in dieser Hinsicht riesige Aufwendungen zu. Es genügt eben nicht, Abwasser zu reinigen, Abluft zu filtern und keine Schadstoffe zu produzieren, sondern auch Kompensationen für alle sich erschöpfenden Rohstoffe rechtzeitig zu leisten und intensiv nach Ersatzlösungen zu suchen. Insgesamt gab die deutsche chemische Industrie für die Umwelt von 1982 bis 1991 11 Mrd. DM für Investitionen und 44 Mrd. DM an Betriebskosten aus.

Wie berechnet man die gesundheitliche Gefährdung von Menschen in Chemiezentren? Wer kommt für die Schäden an Kulturdenkmälern auf, die durch sauren Regen verursacht werden? In den letzten 20 Jahren hat die Akropolis durch Umweltschäden mehr gelitten als in 2.000 Jahren vorher. Am IIASA führten Mitarbeiter 1987/88 die Studie "Ökologische Schadensbilanz der Bundesrepublik Deutschland" durch und berechneten für Schäden durch Luft- und Gewässerverschmutzung, für Bodenbelastung und Lärm eine Schadenssumme von 104 Mrd. DM/Jahr [39]. Man kann über einige Posten dieser Bilanz anderer Meinung als die Autoren sein, aber realistisch erscheint uns diese Summe schon. Sie bezieht sich auf die gesamte Volkswirtschaft, die chemische Industrie hat sicherlich einen mindestens ihrem volkswirtschaftlichen Gewicht entsprechenden Anteil daran. Allein die Sanierung der Luft wird insgesamt 250 Mrd. DM kosten. Wenn also die deutsche chemische Industrie seit 1979 jährlich etwa 3-4 Mrd. DM für den Umweltschutz ausgibt, so braucht man kein Prophet zu sein, um zu erkennen, daß diese untere Grenze in Zukunft auf ein höheres Niveau angehoben werden muß. Übrigens weisen die genannten Autoren darauf hin, daß sich ein Nutzen/Kosten-Verhältnis von 2,3 : 1 einstellen würde, wenn man alle störenden Umweltbelastungen beseitigen würde. Dieser Nutzen würde sich auf den Gebieten Gesundheitsverbesserung, Materialschutz, Tierwelt und Freilandvegetation einstellen (Waldschäden). Nebenbei bemerkt, das Nutzen/Kosten-Verhältnis beträgt beim Neubau von Autobahnen nur 1,8 : 1, für den Main/Donau-Kanal sogar nur 0,5 : 1. Diese Zahlen wollen wir hier nicht weiter kommentieren. Wenn wir die Zukunft unserer Kinder und Enkel sichern wollen, bleibt uns gar nichts anderes übrig, als für den Schutz der Umwelt Ausgaben zu machen, auch wenn das Nutzen/Kosten-Verhältnis unter 1 : 1 liegen sollte.

11. Gesetzgebung und Eigeninitiative

Der Staat muß als Gesetzgeber zum Schutz seiner Bürger vor Chemiegefahren tätig werden. Staatliche Festlegungen zum Schutz von Arbeitern in der chemischen Industrie gibt es seit langem, am bekanntesten davon sind die MAK-Werte (maximale Arbeitsplatzkonzentration), die eine Kommission der

Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgearbeitet hat. Seit 1980 ist die Störfall-VO in Kraft, die systematische Sicherheitsanalysen in Chemieanlagen vorschreibt. Im gleichen Jahr trat das mit der EG abgestimmte Chemikaliengesetz in Kraft, das zum ersten Mal davon ausgeht, daß "Mensch und Umwelt besser als bisher vor den Wirkungen gefährlicher Stoffe" geschützt werden müssen [40]. Vor Einführung neuer Produkte sind intensive Untersuchungen über mögliche Schäden für die Umwelt vorzunehmen. Das seit 1977 geltende "Programm zur Verhütung von Gesundheitsschäden durch Arbeitsstoffe" wurde von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie erarbeitet. Es widmet sich der Sicherheit am Arbeitsplatz und hat dabei besonders die krebserregenden Substanzen im Auge. Es gründete ein "Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe" (BUA), das die 70.000 vorhandenen Altchemikalien in der BRD auf ihre Umweltverträglichkeit hin untersuchen sollte. Natürlich muß eine solche Aufgabe Prioritäten haben. Ob die "Feinauswahl" von 512 Altstoffen (darunter 60 Stoffberichte) alle Möglichkeiten der Analyse nutzt, können wir nicht beurteilen. Uns scheint das Ganze ein Jahrhundertprogramm zu sein. Erst im Jahre 1985/86 hat die chemische Industrie ihre "Umwelt-Leitlinien" zu Papier gebracht. In 21 Punkten werden thesenartig die Grundsätze dargestellt, die die chemische Industrie in ihrem Verhältnis zur Umwelt beachten will.

Uns erscheinen alle diese Maßnahmen als reichlich spät. Wenn wir deutschen Chemiker mit der gleichen Intensität, mit der wir an technischen Großsynthesen von 1925 bis 1955 gearbeitet haben, stärker Fragen der Umwelt in unsere Forschung einbezogen hätten, wozu sich zweifellos Gelegenheiten boten, hätten wir 20 Jahre an Erkenntnisvorsprung gewinnen können. Das meinte ich mit dem eingangs zitierten Wort vom "argen Weg der Erkenntnis". Es soll heute über 1.000 Gesetze und Verordnungen geben, die Chemikalien und Arzneimittel betreffen. Besonders bei pharmazeutischen Produkten werden vor der Einführung viele zeitraubende Prüfungen verlangt. Ob das lediglich die Bürokratie erhöht oder tatsächlich zu größerer Umweltverträglichkeit der Chemie führt, werden wir bald sehen. Noch hat die deutsche chemische Industrie die Chance, das Vertrauen der Öffentlichkeit zurückzugewinnen.

12. Schlußfolgerungen

1. Wie sich zeigt, sind wir von der Verwirklichung der Forderung, mit der Natur dauerhaft in einer energetisch, stofflich und biologisch verträglichen Wechselwirkung zu leben, noch sehr weit entfernt. Die Energie- und Verkehrspolitik, aber auch die Auswirkungen der chemischen Großproduktion sind hierbei, trotz mancher positiver Maßnahmen im letzten Jahrzehnt, Störfaktoren ersten Ranges.
2. Die chemische Industrie muß bald und konsequent für jedes ihrer Produktionsverfahren das Prinzip des integrierten Umweltschutzes, das in einer

hohen Energieeffizienz und in einer gegen Null gehenden Umweltbelastung besteht, verwirklichen. Die bestehenden Verfahren sind auf höchste Selektivität der Katalysatoren und Trennoperationen, auf Kreislaufprozesse und Wiederverwendung von Abprodukten hin zu entwickeln. Auf diesem Gebiet bestehen noch große Reserven.

3. Die Wissenschaft sollte die Forschung über Struktur-Wirkungs-Beziehungen und über bestmögliche Anwendungen von Fertigprodukten, über die Lebensdauer von Werkstoffen u.a. verstärken. Wir benötigen unbedingt vertieftes Wissen über die Toxikologie vieler chemischer Produkte.
4. Um die wachsende Weltbevölkerung ernähren zu können, können wir nicht auf die wissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenernährung und des Pflanzenschutzes verzichten. Landwirtschaft, Umwelt und Chemie bilden eine Einheit, deren wissenschaftliche Grundlage ständig vervollkommenet werden sollte.
5. Extreme Forderungen, z.B. nach völliger Beseitigung der Chlorchemie, taugen nicht zur Lösung der Probleme. Nur in Auswertung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse sollte nach Abstimmung zwischen Öffentlichkeit und Produzenten entschieden werden, welcher Teil der Erzeugung der Chlorprodukte eingestellt wird.
6. In allen Handlungen muß sich die chemische Industrie an die Forderung halten, daß der Schutz von Mensch und Umwelt das Maß aller Dinge ist. Das gilt sowohl für Entscheidungen in der Kunststoffproduktion als auch für die Reinhaltung von Luft und Wasser.
7. Wir erkennen, daß wir von dem Ziel einer ökologisch orientierten sozialen Marktwirtschaft noch weit entfernt sind. Es müssen noch viel traditionell ausschließlich auf Gruppenprofit orientierte Haltungen aufgegeben werden, ehe man den möglichen Gewinn für alle Bürger durch Erhaltung ihrer Umwelt erreicht. Insbesondere sind Gesellschafts- und Wirtschaftsmodelle zu verwerfen, die nur bei Produktionswachstum funktionieren. Wir wissen heute mit großer Sicherheit, daß Wachstum Grenzen hat.
8. Das Tragische dabei ist, daß die Zeiger der Weltuhr auf kurz vor Zwölf stehen. Wir haben keine Zeit zu verlieren. Die Tatsache, daß die Initiatoren des Clubs of Rome 1970 in Ost und West Rufer in der Wüste waren, obwohl sie absolut recht hatten, gibt zu denken. Der unbefriedigende Ausgang der UN-Umweltkonferenz 1992 verstärkt diesen Eindruck. Daß es auch anders geht, zeigen die FCKW-Abkommen von Montreal und London, auch das endlich unterzeichnete Abkommen über die Ächtung der Chemiewaffen. In diesem optimistischen Sinne unverzüglich zu handeln, sind wir unseren Nachkommen schuldig.

Literaturverzeichnis

- Mit der Abkürzung JIASA wird das International Institute for Applied Systems Analysis bezeichnet.
 - Unter "Fakten zur Chemie-Diskussion" sind vom VCI im Verlag Dr. C. Häfner, PF 106060, 69050 Heidelberg, herausgegebene Faltblätter (seit 1980) zu verstehen, im folgenden zitiert mit "Fakten, Blatt Nr. ..."
 - Unter "Folienserie" sind die vom Fonds der Chemischen Industrie herausgegebenen Texthefte zu verstehen, zitiert als "Folienserie".
- [1] Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Frankfurt/Main, *Chemie im Dialog*, Umweltbericht 1992.
 - [2] *Our Common Future*, The World Commission on Environment and Development, Report Oxford Univ. Press 1987, S. 43 ff.
 - [3] R. U. Ayres - P. K. Rohatgi, *Bhopal-Lessons for Technological Decision-Makers*, Research-Report 87-10, JIASA 1987
 - [4] K. Lohs, *Rüstungsalasten*, Z. Umweltchemie u. Ökotoxikologie 1991, 3, S. 74-75
R. Trapp, *Kontrolle der Nichtproduktion chemischer Waffen*, Sitzungsberichte der Akad.d.Wiss der DDR (AdW), 9 N, Akademie-Verlag Berlin 1989
 - [5] VCI, *Strukturwandel in der Chemischen Industrie*, Frankfurt/Main, 1994; Statistische Jahrbücher der BRD 1960-1992 und der DDR bis 1989
 - [6] M. Krautter, *Chlorchemie - die organisierte Vergiftung*, Gruppe Argument Hamburg-Berlin, 1991
 - [7] K. Fedra, E. Weigkricht und L. Winkelbauer, Research Rep. 87-12, JIASA 1987.
 - [8] Gesellschaft Deutscher Chemiker, Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA), *Altstoffbeurteilung*, Bericht 3. Aufl., Frankfurt/Main 1992, S. 7-11
 - [9] W. Schirmer, L. Ebner, *Wissenschaft und Fortschritt* 36, 1986, S. 24-27
 - [10] W. Schirmer, *Chemie in der Schule*, VEB Verlag Volk und Wissen Berlin 34, 1987, S. 316-323
 - [11] A. Finck, *Dünger und Düngung*, VCH Weinheim 1979, S. 29 ff.
 - [12] *Neue Werkstoffe*, Folienserie Nr. 25
 - [13] *Arzneimittelsicherheit*, Fakten, Blatt Nr. 19, 1990 *Arzneimittel*, Fakten, Blatt Nr. 6, 1994
 - [14] J. Buße, *Düngung und Umweltschutz*, Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, herausgegeben von der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, 24, Heft 1968
 - [15] *Nitrat im Trinkwasser*, Fakten, Blatt Nr. 17, 1987
 - [16] H. Harenz, *Probleme der Schließung des Phosphatkreislaufs*, *Nachrichten Mensch-Umwelt*, AdW, IfGG 3, 1987, S. 23
 - [17] *Pflanzenschutz*, Fakten, Blatt Nr. 8, 1981; K. Lohs, H. Haenel, R. Engst, E. Heinisch, *Umwelttoxikologische Bewertung chemischer Produkte*, Sitzungsbericht des AdW 15 N, Akademie-Verlag Berlin 1980
 - [18] *Pflanzenschutz*, Fakten, Blatt Nr. 8, 1981, S. 4
 - [19] *Alternativer Landbau*, Fakten, Blatt Nr. 22, 1994

- [20] M. Krautter, *Ausstieg aus der Chlorchemie*, Thesenpapier zur Achema 1994, Greenpeace e.V. Hamburg. Chemische Rundschau AZA, Solothurn **48**, 1995, Nr. 1/2
- [21] *Informationen zur Chemie mit Chlor*, VCI, Frankfurt/M. 1993 G. Fellenberg, *Chemie der Umweltbelastung*, B.G. Teubner Stuttgart 1992, S. 98-102, S. 119-120
- [22] *FCKW und Ozonschicht, Fakten*, Blatt Nr. 14, 1989; *Chemie im Dialog - Schnellerer Ausstieg aus FCKW*, VCI, Frankfurt 1990
- [23] H. Schreiber, M. Krautter, *Es geht auch ohne PVC*, Greenpeace Alternativen, Hamburg 1994
- [24] *Chlorierte Lösemittel. Fakten*, Blatt Nr. 44, 1991; *Informationen zur Chemie mit Chlor*, VCI, Frankfurt/Main 1993
- [25] T. Vaahtorantz, *The Politics of Ozone*. Vortrag gehalten am 20. Mai 1987 im Rahmen der JIASA-Konferenz "The Processes of International Negotiations"
- [26] *Dioxin, Fakten*, Blatt Nr. 24, 1984
- [27] *Waschmittel, Fakten*, Blatt Nr. 31, 1986
- [28] *Kunststoff-Recycling, Fakten*, Blatt Nr. 45, 1992
- [29] *Verwertung von Kunststoffen. Fakten*, Blatt Nr. 49, 1994
- [30] G. Fellenberg, *Standort Chemie*, Das Journ. f. Chemie, Wirtschaft u. Politik, VCH Weinheim 1995, Nr. 4/2, S. 6
- [31] *Schwermetalle in der Umwelt - das Beispiel des Cadmiums*, Fakten, Blatt Nr. 15, 1989
- [32] *Chemie und Elektronik, Fakten*, Blatt Nr. 33, 1986
- [33] *Formaldehyd, Fakten*, Blatt Nr. 26, 1984
- [34] J. Alcamo et alii, *Acidification in Europe - a Simulation Model for Evaluating Control Strategies (RAINS)*. Report, Ambio, Vol. 16, Nr. 5, 1987 S. 235-239; M. Amann, *Transboundary Air Pollution*. JIASA Options, Winter 1993
- [35] M. Zlokarnik, *Umweltschutz - eine ständige Herausforderung*, Chem.-Ing.-Techn. **61**, 1989, S. 378-385
- [36] W.M. Stigliani, G. Anderberg, *Industrial Metabolism and the Rhine Basin*, JIASA, Options, Sept. 1991, S. 4-8
- [37] *Chemie im Dialog - Umweltschutz von Anfang an*, VCI, Frankfurt/Main 1993
- [38] M. Schubert, *Zur Entwicklung abproduktarmer bzw. -freier Verfahren*, Sitzungsberichte AdW 21 N, Akademie-Verlag Berlin 1981
- [39] L. Wicke, N. Janz, *Rechnet sich Umweltschutz*, Umwelt-Magazin August 1988, S. 24-26, September 1988, S. 44-48
- [40] *Chemikaliengesetz, Fakten*, Blatt Nr. 4, 1981; *Schutz vor Chemieschäden, Fakten*, Blatt Nr. 37, 1987

Karl F. Alexander

Stand und Perspektiven einer ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Weltenergiewirtschaft*

I. Einleitung

Die bahnbrechenden Erfindungen von Energie erzeugenden und umwandelnden Maschinen und Technologien - Dampfmaschine, Elektrogenerator, Verbrennungsmotor, Gasturbine etc. - legten die Grundlage für die Industrielle Revolution in ihren verschiedenen Stadien bis zum heutigen Tag, vergleichbar vielleicht nur mit dem Feuer des Prometheus, das an der Schwelle der Menschheitswerdung stand.

Die zukünftige Gestaltung des Weltenergiesystems ist daher zweifellos eines der wichtigsten Probleme des globalen Wandels. Ohne eine ausreichende Energieversorgung werden die sozialökonomischen Prozesse zur allmählichen Heranführung der wachsenden Bevölkerung der Entwicklungsländer an die Lebensqualität der Minderheit von Menschen in den entwickelten Gebieten der Welt nicht zu bewältigen sein, und in einem hochentwickelten Land wie Deutschland würde der Zusammenbruch des Energiesystems zu einer kaum vorstellbaren sozialen Katastrophe führen. Mit Recht haben auch im Bewußtsein der breiten Öffentlichkeit das Energieproblem und seine dauerhafte Lösung einen sehr hohen Stellenwert.

Mit dem Bericht an den Club of Rome "Die Grenzen des Wachstums" und der praktischen Erfahrung des "Ölpreisschocks" wurde in der ersten Hälfte der 70er Jahre gerade auch das globale Energieproblem thematisiert und ins öffentliche Bewußtsein gehoben. Auf nationaler und internationaler Ebene wurden umfangreiche Programme für die Entwicklung von Strategien zur langfristigen Sicherung des Energiebedarfs gestartet. Eines dieser Projekte war z.B. das "Energy Systems Program" des International Institute for Applied System Analysis in Laxenburg bei Wien [1], an dem eine größere Zahl von Experten aus Ost und West, darunter auch aus der DDR, beteiligt war. Grundlagen dieser Strategieprojekte oder "Szenarien" waren möglichst detaillierte Schätzungen des zukünftigen Energiebedarfs nach Quantität und Qualität sowie der Verfügbarkeit von Energierohstoffen und Fortschritten relevanter Technologien. Mit umfangreichen Computermodellen wurden daraus konsistente Szenarien entwickelt, in denen Angebot und Nachfrage mit Hilfe empirisch bestimmter Elastizitätsfaktoren marktwirtschaftlich in Über-

* Überarbeiteter Vortrag, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 22. September 1994

einstimmung gebracht wurden. Die Szenarien des IASA Energieprogramms überspannten die Zeit von 1975 bis 2030, also mehr als fünfzig Jahre.

Auch die AdW der DDR hat sich seit Mitte der 70er Jahre mehrfach in Plenar- und Klassensitzungen und speziellen Kolloquien mit dieser Thematik auseinandergesetzt, z.B. auf einem gemeinsamen Seminar mit dem IASA und dem Internationalen Institut für Probleme der Leitung, Moskau, zum Thema "Globale und nationale Probleme der wissenschaftlich-technischen Strategienbildung für das Energiesystem" (Berlin, 25. bis 28. April 1983 [2].) Ich selbst habe am 15.12.1977 einen Plenarvortrag mit dem Titel "Energiequellen der Zukunft" gehalten [3].

Inzwischen sind seit dem Beginn dieser umfangreichen prognostisch-strategischen Arbeiten etwa zwanzig Jahre vergangen, und es dürfte interessant sein, eine Zwischenbilanz zu ziehen. Allerdings sind zwanzig Jahre kein langer Zeitraum für grundlegende Innovationen in Energiesystemen, die - wie in vielen anderen großen technischen Systemen auch - eine lange Zeit zu ihrer festen Etablierung (~ 50 Jahre) und vollen Durchsetzung (~ 100 Jahre) benötigen. Als Beispiel sei die Entwicklung der Starkstrom-Elektrotechnik genannt. Wenn man ihren Beginn mit der Erfindung des Dynamoelektrischen Prinzips durch W. Siemens gleichsetzt, so kann man die Phase der Etablierung dieser neuen Energietechnologie z. B. an folgenden Daten verdeutlichen:

- 1866 Dynamoelektrisches Prinzip der Stromerzeugung
- 1879 Demonstration Beleuchtung, Elektrolokomotive
- 1884 Zwei kleine Kraftwerke in Berlin
- 1926 Kraftwerk Klingenberg in Berlin

Die sich anschließende Phase der vollen Durchsetzung ist bis heute nicht abgeschlossen, denn obwohl weltweit bereits mehr als 1/3 der Primärenergie für die Stromerzeugung eingesetzt wird, wächst weiterhin der Anteil der Elektroenergie am Gesamtenergieverbrauch. Es ist daher verständlich, daß langfristige Studien, wie z.B. das IASA-Projekt, einen Zeitmaßstab von mindestens 50 Jahren anlegen müssen.

II. Prognosen und Realität

Vergleichen wir nun die tatsächlichen Daten der neunziger mit den Mitte der siebziger Jahre prognostizierten, so stellen wir erhebliche Abweichungen fest. Abb. 1 zeigt diesen Vergleich für die beiden IASA-Szenarien für den Weltenergiebedarf [4]. Im IASA-Projekt wurde versucht, diesen Bedarf mit einer detaillierten Analyse von Nachfrage, Angebot, Technologien und Kosten bis zum Jahre 2030 zu modellieren, wobei zwischen einem "hohen" und einem "niedrigen" Szenarium ein relativ breiter und mit der Zeit wachsender Korridor möglicher Entwicklungen zugelassen wurde. Seit Mitte der

achtziger Jahre fallen die tatsächlichen Verbrauchswerte nach unten aus diesem Korridor heraus, und bezieht man die absoluten Zahlen des Weltenergieverbrauchs auf die wachsende Erdbevölkerung, so stagniert seit 1975 der Verbrauch pro Kopf bei ca. 2 t Steinkohleeinheiten (SKE).

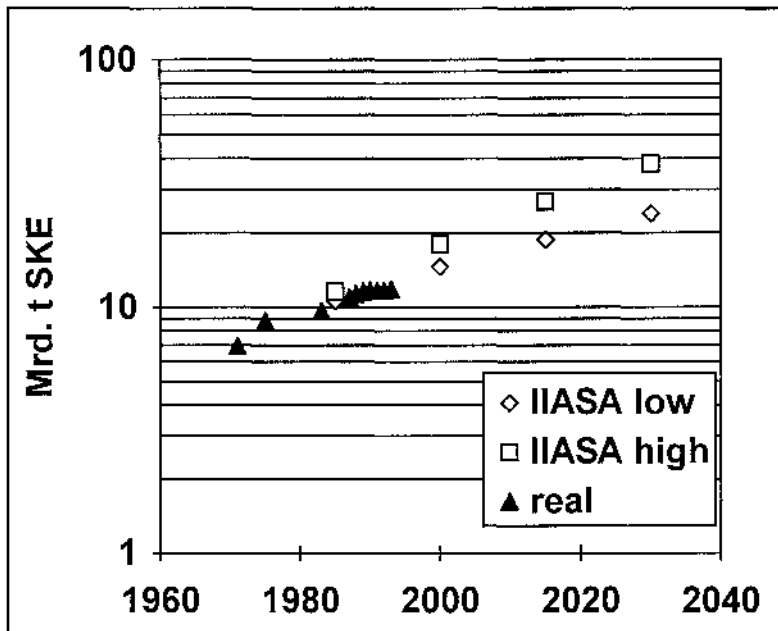


Abb. 1 Szenarien des IIASA-Energieprojekts für den Weltenergieverbrauch bis 2030 und Vergleich mit den tatsächlichen Verbrauchswerten 1973–1993. Wie die logarithmische Darstellung zeigt, liefern die Szenarien ein praktisch exponentielles Wachstum mit Wachstumsraten von 1,1 %/a (high) bzw. 0,8 %/a (low)

Noch wesentlich krassere Differenzen zeigen sich beim Vergleich einer energiepolitischen Zielstellung des EG-Rats für 1975 - 1985 [5], die dem bis in die siebziger Jahre andauernden Wachstumstrend folgte, mit dem tatsächlichen Energieverbrauch, der praktisch stagnierte (Abb. 2). Auch eine Mitte der siebziger Jahre für das BMFT angefertigte Programmstudie [6] für die BRD verschätzte sich genauso eklatant, indem sie ein exponentielles Wachstum des Primärenergiebedarfs von 2,8 % pro Jahr bis in die neunziger Jahre prognostizierte. Demgegenüber stagniert seit zwanzig Jahren der Primärenergieverbrauch in den alten Bundesländern bei ca. 400 Millionen Tonnen SKE pro Jahr bei gleichzeitiger Steigerung des Bruttosozialprodukts auf das Eineinhalbfache.

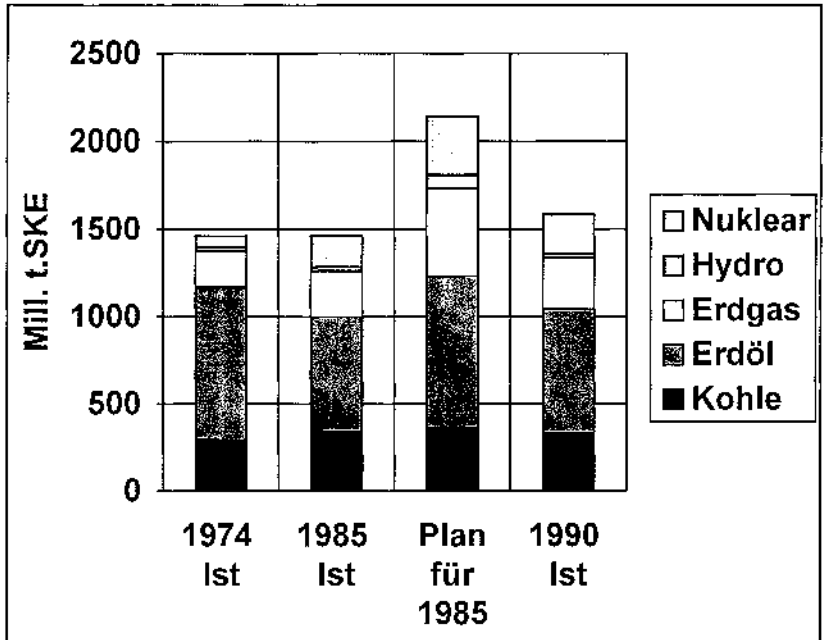


Abb. 2 Energieverbrauch der Europäischen Gemeinschaft 1974–1990 nach Energieträgern. Plan und Wirklichkeit: Nach den 1974 beschlossenen energiepolitischen Zielen der EG wurde für den Zeitraum bis 1985 ein Wachstum des Primärenergieverbrauchs um 45 % erwartet!

Offensichtlich haben die Prognosen der siebziger Jahre trotz großen Aufwandes und ausgefeilter Analysetechniken entscheidend wichtige Prozesse nicht oder methodisch falsch erfaßt, Prozesse, die vermutlich vor allem im Bereich technologischer Innovationen zu suchen sind. Dies ergibt sich z.B. aus der Aufteilung des Energieverbrauchs auf die vier großen Anwenderkategorien (Abb. 3), [7]. Das erstaunlichste Resultat ist, daß beim größten Posten, dem Energieverbrauch der Industrie, eine kontinuierliche *Senkung* des absoluten Verbrauchs erfolgte, und zwar bei einem *Wachstum* der preisbereinigten Bruttowertschöpfung um den Faktor 1,3 seit 1973. Dadurch wurde der etwas über der Prognose liegende starke Anstieg des Energieverbrauchs für den Verkehr kompensiert.

Man kann also hoffen, daß durch weiteren technischen Fortschritt auch in den vor uns liegenden Jahrzehnten neue, in bisherigen Prognosen nicht erfaßte Möglichkeiten der rationellen Energieanwendung erschlossen werden, die exponentielle Wachstumsszenarien für den Energieverbrauch obsolet ma-

chen. Man kann auch erwarten, daß in den hochentwickelten Industriestaaten die gegenwärtige Phase der Stagnation abgelöst werden wird von einer Periode des absoluten Sinkens des Primärenergieverbrauchs. Das würde die notwendige Erhöhung des Energieverbrauchs in der übrigen Welt teilweise kompensieren.

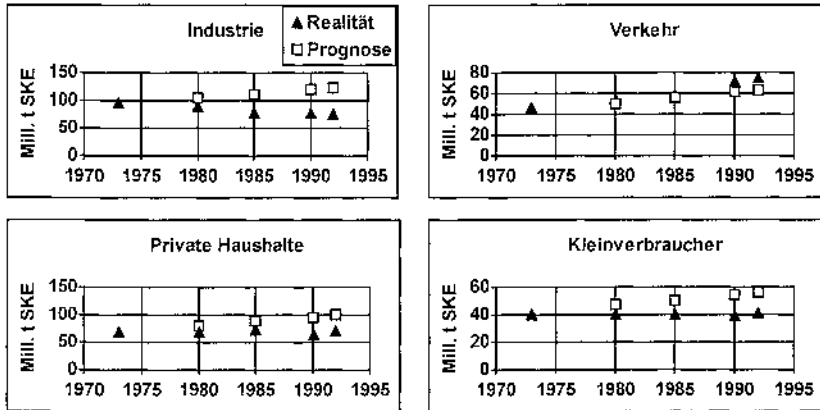


Abb. 3 Energiebedarf der BRD nach Verbraucherkategorien 1975–1992. Tatsächlicher Verbrauch und Prognose von 1975.

III. Problemfelder zukünftiger Energieperspektiven

Bei der Beurteilung der möglichen perspektivischen Entwicklung von Energiesystemen in bezug sowohl auf die Bereitstellung von Gebrauchsenergie als auch auf deren rationelle Nutzung wollen wir folgende Beurteilungskriterien anwenden:

- Langfristige Versorgungssicherheit,
- Wirtschaftlichkeit,
- Umweltverträglichkeit,
- Anlagen- und Systemsicherheit.

a) Nichterneuerbare Energierohstoffe

Bekanntlich ist einer der entscheidenden Faktoren die zeitlich begrenzte Verfügbarkeit der unser gegenwärtiges Energiesystem tragenden fossilen Brennstoffe. Die Weltvorräte an nicht regenerierbaren Energierohstoffen und deren Reichdauer bei gegenwärtigem Verbrauch [7] zeigt die Tabelle 1:

Vorräte und Reichdauer nichtregenerierbarer Brennstoffe					
	Verbrauch für 1 MWh	Maßeinheit	Reserven	Ressourcen	Vorhaltezeit (Jahre)
Kohle (SKE)	123 kg	Mrd. t	677	7000	233
Erdöl	86 kg	Mrd. t	135	100	43
Erdgas	113 m ³	Bill. m ³	138	150	64
Uran 1 %	5 g	Mill. t	2,0	1,1	35
Uran 60 %	85 mg				2100

Tabelle 1

Der Weltenergieverbrauch liegt z.Zt. bei 12 Mrd. t SKE pro Jahr, aber an der Nutzung dieser Energie sind die Völker der Welt extrem ungleichmäßig beteiligt. Wegen der weiter wachsenden Erdbevölkerung und wegen des notwendigen Abbaus der gewaltigen sozialökonomischen Unterschiede zwischen den reichen und den armen Völkern wird der Energiebedarf weiter steigen, wodurch der Verzehr der nicht erneuerbaren Ressourcen verstärkt wird. Regenerierbare Energieträger machen bisher nur einen kleinen Bruchteil im Gesamtspektrum aus (der einzige bedeutende Anteil ist die Wasserkraft, die 18 % der Elektroenergie bereitstellt).

Nur Kohle und evtl. Erdgas werden in den nächsten 50 Jahren noch nicht knapp. Ein großes Potential ließe sich jedoch noch beim Kernbrennstoff erschließen, wenn die Ausnutzung des Urans durch Einsatz von Brutreaktoren auf max. 60 % erhöht wird, zumal in diesem Falle auch Uranressourcen nutzbar würden, deren Erschließung heute nicht wirtschaftlich wäre.

Aus diesen Prämissen ergeben sich nach meiner Ansicht zwingende Schlußfolgerungen: Auch wenn es angesichts der früheren Fehlprognosen ratsam scheint, wesentlich vorsichtigere Wachstumsschätzungen zu wagen, muß doch im Interesse einer langfristig stabilen, möglichst friedlich verlaufenden Entwicklung der Welt in den kommenden 50 Jahren mit einem weiteren Anstieg des Energiebedarfs, vielleicht sogar mit einer Verdopplung, gerechnet werden. Die rechtzeitige und konsequente Erschließung neuer Energiequellen mit langfristig ausreichendem Ressourcenpotential ist daher unabdingbar. Auf das große Potential der bereits etablierten Kernenergetik und ihrer Weiterentwicklungen in Richtung Brutreaktoren und später auch Kernfusionsreaktoren (wenn diese einmal technisch und ökonomisch realisierbar sein werden) kann nicht verzichtet werden. Und schließlich müssen natürlich

neben dem Ausbau noch vorhandener Wasserkraftressourcen die neuen regenerativen Energiequellen forciert entwickelt und unter Beachtung ökonomischer Kriterien breit nutzbar gemacht werden.

Eine zusätzliche Dringlichkeit erhalten diese Schlußfolgerungen durch die globale Umweltgefährdung infolge des durch die Verbrennung des fossilen Kohlenstoffs verursachten Treibhauseffekts.

b) Energienutzung

Bisher haben wir nur über den globalen Bedarf an *Primärenergie* gesprochen. Möglichkeiten und Grenzen einer rationellen Energienutzung hängen jedoch entscheidend von der konkreten Verfügbarkeit der erforderlichen *Nutzenergie*, wie Raumwärme, mechanische Arbeit, Licht oder Prozeßenergie nach Qualität, Zeit und Ort ab. Aus dem Primärenergieträger, wie Kohle, Erdöl oder Uran, wird zunächst die vom Nutzer benötigte *Endenergie*, wie Strom, Kraftstoff, Heizöl oder Fernwärme mit Hilfe von Anlagen zur Energieumwandlung, möglicherweise über Zwischenstufen (*Sekundärenergie*), hergestellt. In dieser Prozeßkette treten mit Notwendigkeit energetische Verluste durch Umwandlung und Transport der Energieträger auf. So stand z. B. in den alten Bundesländern 1992 einem Primärenergieverbrauch von 408 Mill. t SKE ein Endenergieangebot von 264,5 Mill. t SKE gegenüber. Der größte Teil der Differenz waren Umwandlungsverluste und Eigenverbrauch im Energiesektor. Außerdem wurden 27 Mill. t für nichtenergetische Zwecke abgezweigt.

Unter *Rationeller Energieanwendung* müssen wir also einerseits eine Minimierung von Umwandlungs- und Transportverlusten, vor allem aber eine Maximierung des Wirkungsgrades bei der Anwendung der Endenergie zur Erzielung des konkret festgelegten Zwecks verstehen. Zur Erreichung solcher Ziele ist die Weiterentwicklung bereits bewährter und die Schaffung neuer Technologien erforderlich.

Die Erhöhung des energetischen Wirkungsgrades kann *quantitativ* im Sinne eines "Energiesparens" erfolgen. Beispiele dafür sind Beseitigung von Verschwendung, bessere Wärmeisolation, bessere Regelung von Prozessen. So konnte in der BRD im Laufe von vier Jahrzehnten durch verbesserte Wärmedämmung und Erhöhung des Kesselwirkungsgrades der spezifische Brennstoffverbrauch für die Heizung von Einfamilienhäusern halbiert werden [8].

Für *qualitative* Sprünge im Wirkungsgrad sind jedoch in der Regel grundlegende technische Innovationen erforderlich. So wurde z.B. der Umwandlungswirkungsgrad bei der Stromerzeugung auf dem Weg von der Kolbendampfmaschine über die Dampfturbine bis zum Kombikraftwerk (Gasturbine + Dampfturbine) um den Faktor 10 gesteigert. Auch für die modernsten Kraftwerke betragen allerdings die Umwandlungsverluste noch über 40 %,

aber mit Hilfe der Wärme-Kraft-Kopplung zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Fernwärme können auch diese Verluste noch erheblich reduziert werden. Noch spektakulärer sind manche Beispiele der Erhöhung des Nutzwirkungsgrades bei Energieanwendungen.

So wurde der energetische Wirkungsgrad bei der Lichterzeugung im Laufe der technischen Entwicklung von der Gaslaterne über die Glühlampe bis zur modernen Gasentladungs-Lichtquelle auf etwa das Fünfzigfache erhöht, wobei bekanntlich der Übergang von der modernen Glühlampe zur "Energiesparlampe" nach dem Prinzip der Gasentladung allein den Faktor fünf beisteuert. Bei der Datenverarbeitung schließlich versagen alle quantitativen Maßstäbe, wenn man etwa den Energieverbrauch der Geräte pro verarbeitetes Bit miteinander vergleicht. Die seit den dreißiger Jahren aufeinander folgenden Generationen können durch ihre wesentlichen Elemente Relais, Elektronenröhre, Transistor und Schaltkreis charakterisiert werden. Die Verringerung des Energie- und Materialbedarfs dieser Elemente um viele Größenordnungen machte den Taschenrechner, den PC und die vielen Anwendungen der Mikroelektronik überhaupt erst technisch möglich, die ihrerseits auf allen Gebieten der Technik weitere Rationalisierung, nicht zuletzt auch beim Energieverbrauch, bewirken.

Es ergibt sich die Schlußfolgerung: *Auch in Zukunft werden neue Technologien die entscheidenden Voraussetzungen zur Lösung des Energieproblems schaffen.*

c) Rolle der Elektroenergie

Nicht zufällig wurden als Beispiele für qualitative Sprünge im Wirkungsgrad Anwendungen elektrischer Energie genannt. Die Elektroenergie ist bereits seit Jahrzehnten das dynamischste Element des Weltenergiesystems und wird diese Rolle wohl auch in der überschaubaren Zukunft behalten. Sie ist die am höchsten veredelte Endenergie und erlaubt Anwendungen mit höchstem Wirkungsgrad. In der Industrie werden daher zunehmend auch klassische Anwendungen von Prozeßwärme auf Elektroenergie umgestellt. Beispiele dafür sind die Verdrängung des Siemens-Martin-Stahls durch Elektro Stahl, die Induktionserhitzung anstelle der Gaserhitzung von Brammen, das Schmelzen von Glas usw. Das erhöht nicht nur die Qualität der Produkte, sondern führt auch zu erheblichen Einsparungen auf der Ebene der Primärenergie, trotz der unvermeidbaren Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung. Diese werden überkompensiert durch die bessere Regelbarkeit und Anpassungsfähigkeit der Wärmezuführung bei Elektrotechnologien.

Mit dem Steigen des Stromanteils im Endenergieverbrauch sinkt der absolute Verbrauch der übrigen Energieträger überproportional (Abb. 4). Damit haben wir eine plausible Erklärung für das in den letzten 20 Jahren beobachtete Sinken des absoluten Energieverbrauchs der BRD-Industrie.

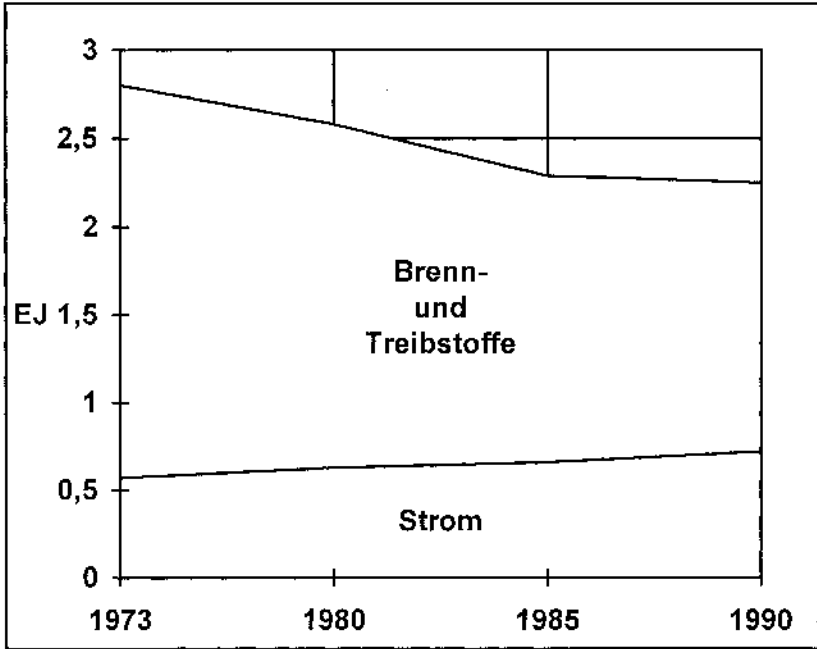


Abb. 4 Endenergieverbrauch der Industrie in Deutschland. Mit dem Wachsen des Stromverbrauchs nimmt der Verbrauch der übrigen Energieträger überproportional ab.

Der steile Anstieg des Stromanteils in der Energieträgerstruktur zeigt sich im Weltmaßstab besonders deutlich (Abb. 5). Diese Entwicklung hat neben den unmittelbaren Effekten einer rationelleren, Ressourcen sparenden Energienutzung noch den langfristig wirkenden Vorteil, daß Strom auch ohne Verwendung fossiler Brennstoffe, also ohne die für diese geltenden Beschränkungen in der Ressourcenverfügbarkeit und ohne die Emission von Treibhausgasen produziert werden kann. Etablierte Technologien dafür sind Wasserkraftwerke und Kernkraftwerke. In Zukunft werden auch die neuen regenerativen Energiequellen einen wachsenden Anteil leisten. In Westeuropa wird bereits mehr als die Hälfte der Stromerzeugung ohne CO₂-Emission realisiert (Abb. 6).

d) Strom aus Kernkraft

Kernenergie als Grundlast und Wasserkraft als gut regelbare Last ergänzen sich optimal bei der Sicherung einer kontinuierlichen bedarfsgerechten Stromversorgung. In Europa sind allerdings die hydroenergetischen Ressourcen

cen bereits weitgehend ausgeschöpft. Auch weltweit sind die noch erschließbaren Wasserkraftressourcen nicht mehr groß. Daher wird sich der Anteil der Kernenergie als wirtschaftliche und umweltschonende Energiequelle weiterhin erhöhen, auch wenn einzelne Länder, wie Deutschland, infolge innergesellschaftlicher Akzeptanzprobleme diesem Trend zunächst nicht folgen können. Im Gegensatz zu Deutschland mit derzeit 30 %, nimmt Frankreich mit 73 % Kernenergieanteil an der Stromerzeugung international den Spitzenplatz ein. In den nächsten Jahrzehnten wird der größte Anstieg der Kernenergienutzung voraussichtlich im pazifischen Raum mit Japan als Vorreiter erfolgen

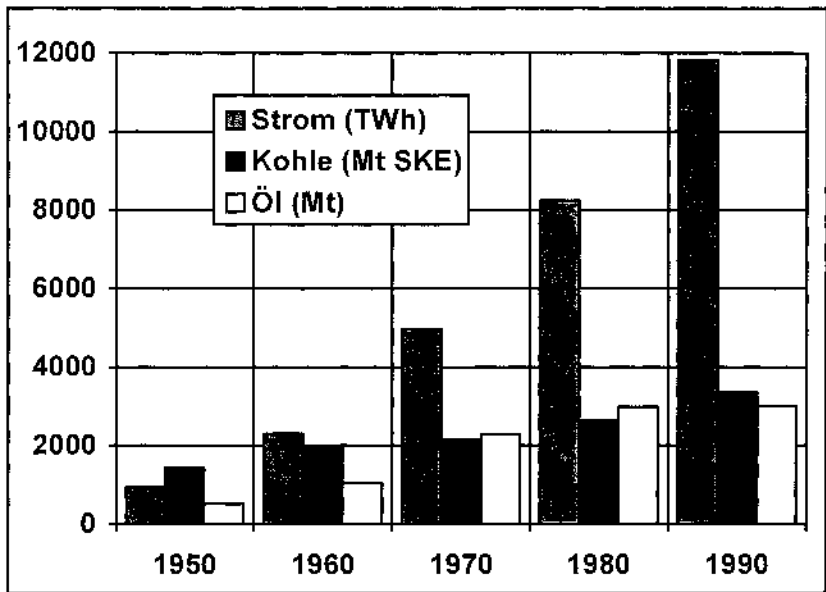


Abb. 5 Entwicklung der Weltproduktion von Strom, Kohle und Erdöl 1950–1990.

Global waren im September 1993 insgesamt 423 Kernkraftwerksblöcke mit 358 Gigawatt elektrischer Bruttoleistung in Betrieb und 62 KKW mit 57 GWe im Bau [9]. Sie deckten 17 % des Weltverbrauchs an Elektrizität ab. Die Verteilung der KKW-Blöcke auf die verschiedenen Reaktortypen zeigt Abb. 7. Auffallend ist die Dominanz der Leichtwasserreaktoren (LWR) im Vergleich zu den Schwerwasserreaktoren (Candu), den gasgekühlten Graphitreaktoren (GGR), den wassergekühlten Graphitreaktoren vom Tschernobyl-Typ (LWGR) und den Brutreaktoren, die es erst in Form einzelner Prototypen gibt.

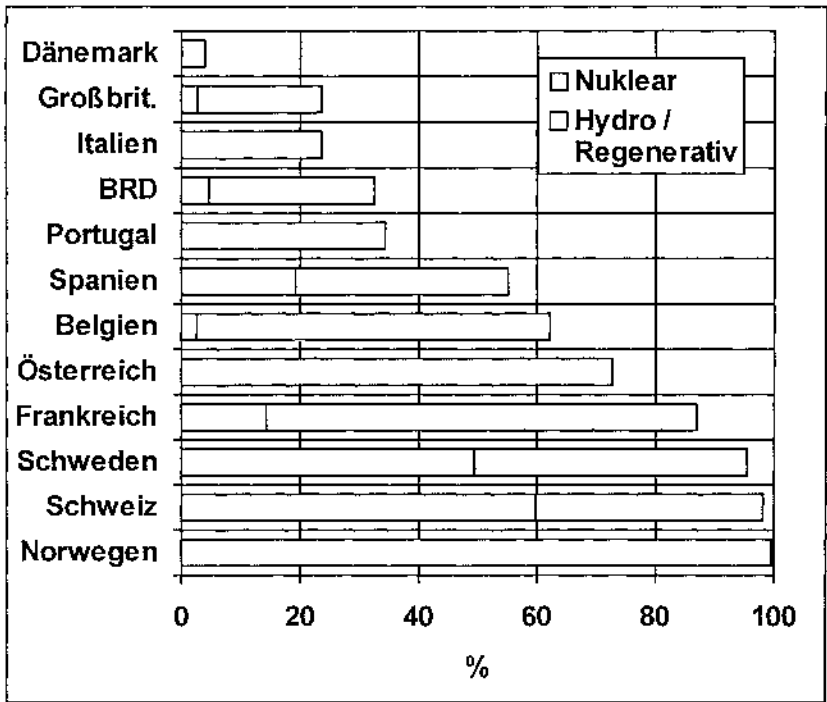


Abb. 6 Beitrag CO₂-freier Energieträger zur Stromerzeugung in Westeuropa.

Wie dargestellt wurde, ist in dem Zeitraum, währenddessen die heutigen Kernenergiekapazitäten ans Netz gingen, der tatsächliche Energiebedarf stark hinter den ursprünglichen Prognosen zurückgeblieben. Das betrifft, trotz ihres wachsenden Anteils unter den Energieträgern, auch die Elektroenergie. Dadurch sind, zumindest in Westeuropa, Überkapazitäten entstanden, und ein forcierter Zubau ist wirtschaftlich gegenwärtig nicht sinnvoll, es sei denn, die Kernenergie würde aus vorwiegend ökologischen Gründen bei Ersatzinvestitionen zur Zurückdrängung der Kohleverstromung eingesetzt. Wirtschaftlich betrachtet sind aber z. Z. Kohle- und Atomstrom etwa gleichwertig. Dies sind die Randbedingungen, unter denen sich die großenteils irrationale Debatte um die Akzeptanz der Kernenergie abspielt. Diese Situation wird sich ändern, wenn das Ressourcen- und Umweltproblem der fossilen Brennstoffe nicht mehr verdrängt werden kann.

Die dadurch objektiv gegebene Denkpause wird von der kerntechnischen Industrie genutzt, die Sicherheitsstandards der existierenden Kraftwerke zu erhöhen. Eine wichtige Aufgabe ist dabei auch die Hilfeleistung für die ost-

europäische Kernenergetik, um auch dort den heute möglichen Sicherheitsstandard bald zu erreichen. Außerdem wird an der Projektierung einer neuen Generation von Kernkraftwerken des Druckwassertyps gearbeitet, für die der bisher als "hypothetisch" angesehenen gefährlichsten Unfall - die Kernschmelze mit Zerstörung des Druckgefäßes und massiver Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt - zum sicher beherrschten "Auslegungsstörfall" wird.

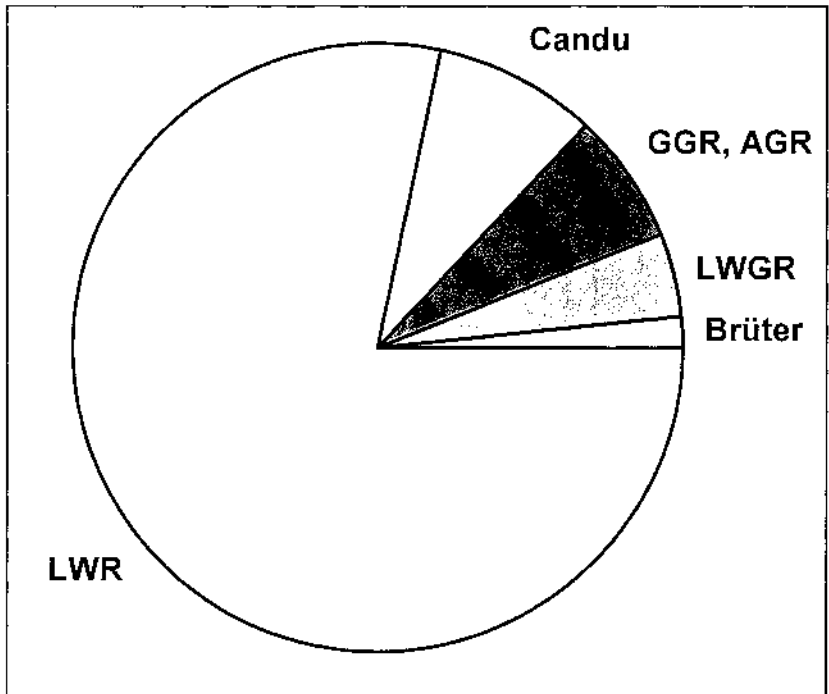


Abb. 7 Verteilung der Kernkraftwerksblöcke auf die Reaktortypen.

Für die *Zukunft der Kernenergie* in den nächsten Jahrzehnten sehe ich folgende Perspektiven:

Der *Leichtwasserreaktor* baut zunächst seine Dominanz als Stromerzeuger aus. Der erreichbare und nachweisbare Sicherheitsstandard und der offensichtliche ökologische Vorteil eines abgasfreien Betriebes wird die in Teilen der Öffentlichkeit verlorengegangene Akzeptanz wiederherstellen. Die ökonomischen Parameter werden sich durch eine mögliche Verdoppelung des Brennstoffabbrands verbessern. Die knappen Uranreserven können durch die Plutonium-Rückführung aus der Wiederaufbereitung gestreckt werden. Auch

der Einsatz der durch Abrüstungsmaßnahmen freigesetzten Kernsprengstoffe als Reaktorbrennstoff wirkt in dieser Weise.

Bei weiterem Ausbau der Kernenergie wird jedoch die vollständigere Ausnutzung des vorhandenen Urans durch Einsatz *schneller Brutreaktoren* notwendig. Die technologischen Grundlagen dafür sind erarbeitet und Prototypen werden in Frankreich, Rußland und Japan erprobt. Neue, kommerzielle Versuchskraftwerke könnten in Europa und in Japan ab 2005 bereitstehen. Angesichts vieler falscher Prognosen der Vergangenheit sollte man sich allerdings zurückhalten, jetzt schon einen Termin für die breite Einführung der Brütertechnologie vorherzusagen. Das gilt in noch stärkerem Maße für eine mögliche übernächste Stufe der Kernenergie, die Anwendung der *thermonuklearen Fusion*. Auf diesem Gebiet läuft bekanntlich seit Jahrzehnten ein großes, internationales Forschungs- und Entwicklungsprogramm, das sich dem Ziel mit beeindruckender Konsequenz nähert. Aber der experimentelle Beweis einer wirtschaftlich nutzbaren Netto-Energieproduktion wird erst mit der großen Demonstrationsanlage ITER gelingen, die sich noch in der Konstruktionsphase befindet und für die bisher weder Standort noch Baubeginn beschlossen ist.

Wichtig und beruhigend ist aber, daß im 21. Jahrhundert neue Technologien zur Verfügung stehen werden, die wesentlich dazu beitragen können, den aus Gründen der Ressourcenverfügbarkeit und des Umweltschutzes notwendigen Ausstieg aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe zu bewerkstelligen. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die Gesellschaft auch weiterhin bereit ist, für solche langfristigen und kostspieligen Forschungsvorhaben die notwendigen Mittel vorzuschießen.

Ich möchte an dieser Stelle nicht die mit Vorurteilen und Emotionen geladene Diskussion um die realen oder vermeintlichen Risiken der Kernenergienutzung für friedliche Zwecke führen. Ich will nur auf ein häufig genanntes Argument eingehen: das angeblich nicht gelöste Entsorgungsproblem, das *Problem "Atommüll"*.

Das spezifische Strahlungsrisiko konzentriert sich ganz überwiegend auf die hochradioaktiven und z.T. sehr langlebigen Spaltprodukte, die während des Betriebes im Innern der Brennelemente entstehen. Ein typisches Reaktor-brennelement besteht aus hitze- und druckfesten, hermetisch verschlossenen Metallröhren, die den Kernbrennstoff in Form einer Oxidkeramik enthalten. In dieser Matrix sind nach der Entladung der verbrauchten Brennelemente die gefährlichen radioaktiven Stoffe sehr sicher aufgehoben, denn die Bedingungen einer kalten Lagerung sind ja für die Standfestigkeit der Einschließung viel milder, als die während der jahrelangen Betriebszeit im Reaktor bei sehr hohen Temperaturen herrschenden. Eine Lagerung unter kontrollierten Bedingungen, zunächst zur Nachwärmeabfuhr unter Wasser, und dann in trockenen Abschirmbehältern ("Castor") muß natürlich die aus dem Brenn-

element nach außen dringende Gammastrahlung auf ungefährliche Werte abschirmen, bereitet aber sonst keine besonderen technischen Probleme. Gegen eine unerlaubte Entwendung sichert sich das Material selbst durch seine intensive Strahlung, es sei denn, der Dieb nähme die viele Tonnen schwere Abschirmung gleich mit. Der größte Teil der in Kernkraftwerken bisher verbrauchten Brennelemente werden in solcher Weise, meist noch auf dem Kraftwerksgelände, gelagert. Das kann zu Platzproblemen führen, daher das Bestreben, zentrale (oberirdische) Lagermöglichkeiten zu schaffen (Gorleben!).

Sicherheitstechnisch schwieriger ist demgegenüber die *Wiederaufbereitung* des bestrahlten Kernbrennstoffs, denn dazu müssen die Brennstäbe geöffnet und einem chemischen Prozeß in flüssiger Phase zugeführt werden. Ziel ist die Abtrennung von Plutonium und nicht verbrauchtem Uran, die zu neuem Kernbrennstoff verarbeitet werden können, von den stark radioaktiven Spaltprodukten, die den eigentlichen Atommüll darstellen. Die Aufbereitung wird seit langem technologisch beherrscht, sie wird jedoch z.Zt. noch nicht umfassend angewandt, weil sich das Recycling des Kernbrennstoffs bei den gegenwärtigen niedrigen Uranpreisen noch nicht ökonomisch lohnt. Das wird sich mit weiterem Ausbau der Kernenergetik grundlegend ändern, und dann kann man auf abgelagerte und damit weniger radioaktive Brennelemente zurückgreifen.

Erst dann wird auch das Problem der *Endlagerung* des hochradioaktiven Atommülls wirklich kritisch. An der Entwicklung der dafür notwendigen Technologien - Erschließung und Eignungsuntersuchung unterirdischer Lagerstätten und Konditionierung und sicheren Einschluß der Abfallgebände - wird gearbeitet. Der erforderliche Aufwand hält sich in Grenzen, weil die zu entsorgenden Materialmengen und Volumina klein sind. So verbraucht z.B. ein 1000 MWe Druckwasserreaktor pro Jahr etwa 23 Tonnen angereicherten Uranbrennstoff. Davon bleiben nach der Wiederaufbereitung nur etwa 3 Kubikmeter in Glas eingeschmolzener konditionierter hochaktiver Müll übrig, der bereits 98,8 % der Gesamtaktivität enthält. Dazu kommen noch 140 Kubikmeter mittelaktive Abfälle mit 1,1 % und 490 m³ niedrigaktive mit weniger als 1 % der Gesamtaktivität. Für solche geringen Mengen kann man, dem jeweiligen Risikopotential angepaßt, auch sehr aufwendige Verfahren anwenden, die einen sicheren Einschluß über Jahrtausende gewährleisten. Ein vergleichbares Braunkohlekraftwerk hinterläßt demgegenüber pro Jahr 800 000 t Asche, 130 000 t SO₂ und 400 t Schwermetalle, die zu entsorgen sind.

e) Neue und alte regenerative Energiequellen

Die seit langem etablierte Stromerzeugung mit *Wasserkraft* wird vermutlich noch für lange Zeit die bedeutendste erneuerbare Energiequelle bleiben, aber wie bereits erwähnt ist ihr noch erschließbares Potential beschränkt. Daher

hat die forcierte Entwicklung neuer Methoden der Nutzung sich ständig erneuernder Energiequellen eine hohe Priorität.

Die *Nutzung von Wind und Sonnenlicht* hat den Vorteil, daß sie an geeigneten Standorten schon heute für lokale Anwendungen wirtschaftlich sein kann. Das beeinflusst zwar noch nicht in merklichem Umfang die globalen Energiebilanzen, unterstützt aber eine rasche Markteinführung. So ist die Brauchwassererwärmung mit Solarkollektoren in vielen Gegenden z.B. Südeuropas bereits allgemein üblich, und die Stromversorgung von Autobahntelefonen oder Parkautomaten mit Solarzellen ist ein Beispiel aus unserer eigenen Umgebung. Aber es gibt auch schon solarthermische und photovoltaische Versuchskraftwerke zur Stromerzeugung. Windkraftanlagen haben an begünstigten Standorten bereits die Schwelle der Wirtschaftlichkeit erreicht.

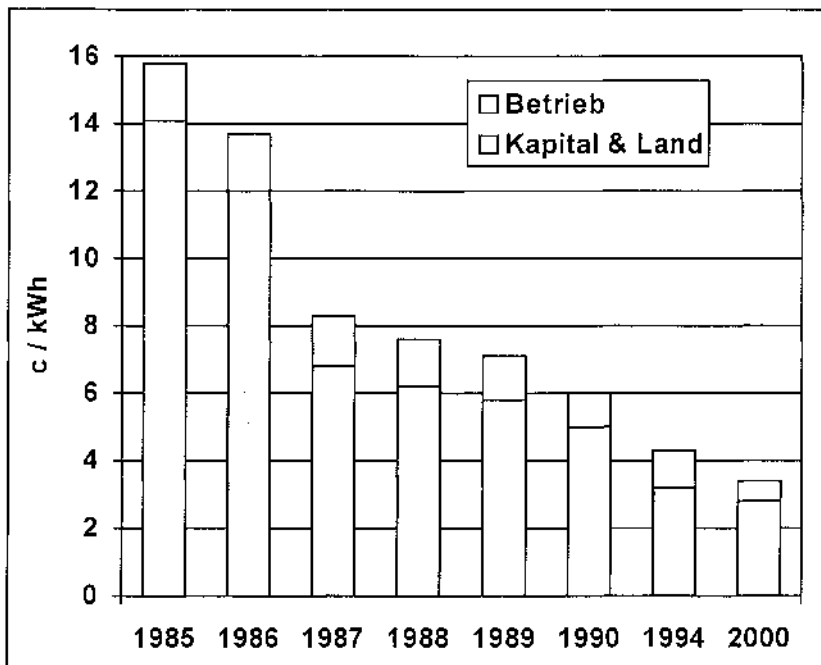


Abb. 8 Kostendegression für neue Windparks in Kalifornien.

Die für die Nutzung verfügbaren Leistungsdichten von Wind und Sonnenstrahlung sind stark standortabhängig und schwanken zeitlich stark. Der intermittierende Betrieb erfordert eine Netzeinbindung bzw. im Inselbetrieb gesonderte Speicher- oder Backupsysteme. Die maximale Leistungsdichte der Sonnenstrahlung beträgt in der BRD ca. 1000 W/m^2 , im Jahresmittel aber

nur 133 W/m^2 , beim Wind sind die entsprechenden Leistungsdichten (bezogen auf die vom Rotor überstrichene Fläche) etwa fünfmal größer. Dieses Verhältnis spiegelt sich auch in den Investitions- und Stromgestehungskosten wider. Für die Sonnenenergienutzung sind natürlich Standorte näher zum Äquator wie in Südeuropa, Nordafrika oder Kalifornien wesentlich günstiger. Dort werden doppelt so hohe Leistungsdichten der Sonnenstrahlung wie in unseren Breitengraden erreicht. In Kalifornien gibt es bereits solarthermische Kraftwerke im Leistungsbereich von 100 MW, die mit einem Wirkungsgrad von 10 % und Stromkosten von 0,50 DM / kWh arbeiten. Photovoltaische Anlagen mit Solarzellen gibt es im Bereich von 100 kW, hier liegen die Stromgestehungskosten noch bei 2 DM / kWh.

Die beeindruckende Kostendegression für neue Windparks in Kalifornien während des letzten Jahrzehnts zeigt Abb. 8 [10]. Ein Rechenbeispiel für einen 65 kW-Windkonverter mit 16 m Rotordurchmesser an verschiedenen deutschen Standorten gibt Tabelle 2 [11].

Standortabhängige Wirtschaftlichkeit für 65 kW-Windkonverter			
Standort	Windgeschwindigkeit (m / s)	Ausbeute (kWh / a)	Stromkosten (DM / kWh)
Nordseeinsel	7,0	190 000	0,12
Kahler Asten	5,5	119 000	0,20
Binnenland	4,0	33 000	0,67

Tabelle 2

Die starke Standortabhängigkeit ergibt sich aus der Leistungsdichte des Windes, die mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit zunimmt.

Der erreichte technische Stand und die staatliche Förderung führten zu einer starken Ausweitung der Windenergienutzung in Deutschland. Ende Juni 1994 gab es bereits 2079 Windkraftanlagen mit einer installierten Leistung von zusammen 429 Megawatt [12], etwa zwei Drittel der Leistung eines modernen Kohlekraftwerks. Da aber die Windgeneratoren, selbst an günstigen Standorten, im Mittel nur auf etwa 2000 - 3000 Vollast-Benutzungsstunden im Jahr kommen, werden mit dieser Kapazität pro Jahr nur rund 1 Mrd. kWh elektrische Arbeit erzeugt, das sind weniger als 0,2 % der deutschen Stromerzeugung. Dementsprechend bescheiden ist auch die für die Ökologie entscheidende Substitution von ca. 400 000 t Kohle pro Jahr.

Zur allgemeinen Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Methoden der Stromerzeugung unter Beachtung der unter ökologischen Gesichtspunkten wichtigen Faktoren Energie- und Ressourcenverbrauch eignen sich die Begriffe "Erntefaktor" und "Energetische Amortisationszeit" (Tabelle 3, [13]).

Unter Erntefaktor wird das Verhältnis der während 20 Jahren erzeugten Nutzenergie zu der für die Errichtung der Anlage verbrauchten Energie verstanden. Die energetische Amortisationszeit ist dann die Zeit, die diese Anlage arbeiten muß, um die vorgeschossene Energie zurückzuerstatten. Aus der Gegenüberstellung geht hervor, daß auch unter diesem Gesichtspunkt die photovoltaische Stromerzeugung noch einen großen Innovationsschub braucht, ehe sie ökonomisch und ökologisch als Energiequelle in größerem Umfang einsetzbar sein wird. Das gilt nicht in diesem Maße für solarthermische Kraftwerke nach dem Solarfarm- oder Solarturmkonzept mit Konzentration des Sonnenlichts durch Spiegel, das allerdings nur verwendbar ist in ariden, sonnenreichen Gebieten. Einen Vergleich der Stromgestehungskosten der verschiedenen Verfahren zeigt Abb. 9, [13].

Erntefaktor und energetische Amortisationszeit			
Anlage	Jahresnutzungsdauer (h / a)	Erntefaktor	Amortisationszeit (Monate)
Kernkraftwerk (1300 MW)	7000	108	2,2
Kohlekraftwerk (700 MW)	5000	71	3,4
Windkonverter (500 kW)	3000	30	8
Solarzellen	2000	2 - 3	80 - 120

Tabelle 3

Ein Grundproblem der auf Wind oder Sonnenstrahlung beruhenden Stromerzeugung liegt im zeitlich intermittierenden mit Jahreszeit und Wetter schwankenden Betrieb der Anlagen. Soweit sie nur einen kleinen Beitrag liefern und eine Einbindung ins Verteilungsnetz möglich ist, spielt das keine große Rolle. Im Inselbetrieb oder in der ferneren Zukunft, wenn ein großer Teil des Energieaufkommens aus solchen Quellen geliefert werden muß, wird eine effektive Speicherung der gewonnenen Energie notwendig. Eine interessante Variante hierfür ist die chemische Speicherung in Form von *Wasserstoff*, der mit einem energetischen Wirkungsgrad von bis zu 90% elektrolytisch erzeugt werden kann. Dieser Wasserstoff könnte in der nachfossilen Ära, wenn Erdöl und Erdgas knapp geworden sind, deren Rolle übernehmen. Der Aufbau von Großanlagen zur solaren Wasserstoffproduktion in Wüstengebieten könnte eine Perspektive für viele erdölexportierende Länder sein. Gegenwärtig ist eine Wirtschaftlichkeit solcher Verfahren noch nicht in Sicht.

aber Versuchsanlagen mit Solarzellen im 100 kW-Bereich sind im Bau oder in der Erprobung ([11], S.188).

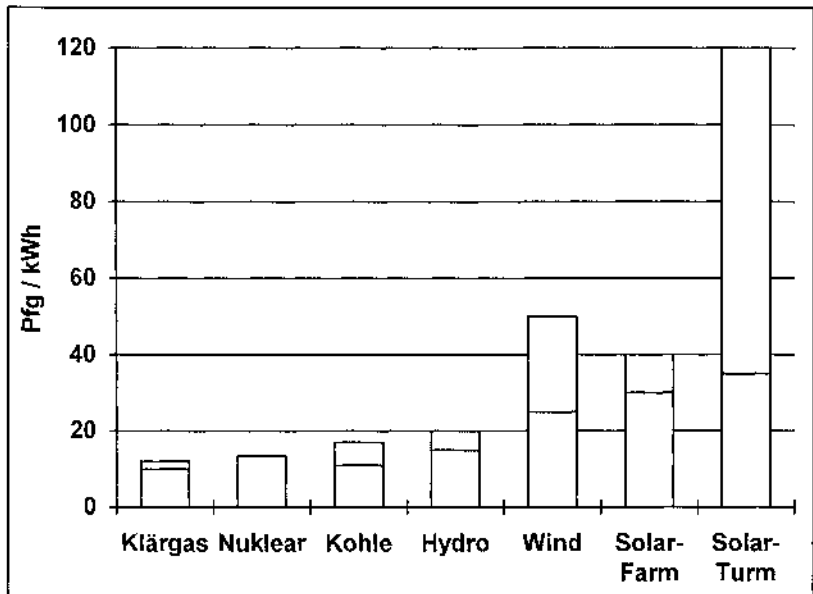


Abb. 9 Ungefähre Stromgestehungskosten für unterschiedliche Energie-träger.

Bis zur industriellen Revolution war Holz die wichtigste Energiequelle. Heute spielt in den Industrieländern die Verbrennung von Holz oder allgemein die *Nutzung von Biomasse* nur noch eine untergeordnete Rolle. Dies ist in den Entwicklungsländern, mit 77 % der Weltbevölkerung, aber nur 35 % des Weltenergieverbrauchs, grundsätzlich anders (Abb. 10, [14]). Dort führt die exzessive und ineffektive Nutzung von Brennholz, pflanzlichen Rückständen und Viehdung zum Kochen und Heizen zu verheerenden Umweltschäden. Diese traditionelle energetische Nutzung von Biomasse muß im Interesse der Umwelt durch Einsatz moderner Technologien abgelöst werden. Damit kann sie zu einer regenerativen Energiequelle werden, die nicht nur für die Dritte Welt von Bedeutung ist.

Zur CO₂-Bilanz der Erdatmosphäre trägt die Verbrennung von Biomasse nur dann nichts bei, wenn in gleichem Maße neue Pflanzen nachwachsen. Außer der Nutzung von sowieso anfallenden Abfällen ist auch daran gedacht, Pflanzen für die vorwiegend energetische Nutzung in speziellen "Energie-plantagen" anzubauen. Aktuelle Beispiele dafür sind der Dieselmotorkraftstoff aus Rapsöl oder die Verwendung von Gärungsalkohol als Kraftstoff.

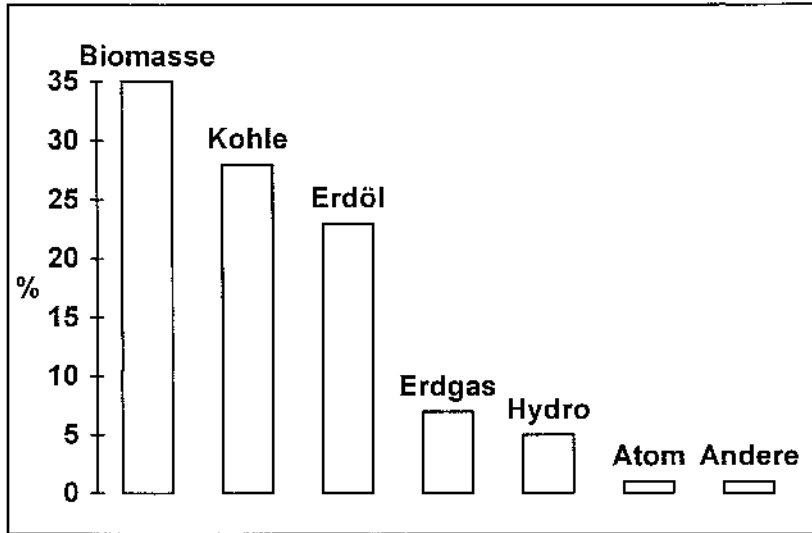


Abb. 10 Struktur des Primärenergieverbrauchs in der Dritten Welt.

Das Problem dieser Art Ernte von Sonnenenergie ist der geringe Wirkungsgrad der Umwandlung von Sonnenenergie in pflanzlichen Brennstoff, der für Wälder bei 0,5 % liegt und nur bei Intensivkulturen wie Zuckerrohr 5 % erreichen kann. Daher ist der Flächenbedarf im Vergleich zur direkten Nutzung der Sonnenstrahlung sehr groß. Einen Leistungsvergleich zwischen Windkonvertern, Solarzellen und Biomasse zur Stromerzeugung in bezug auf die erforderliche aktive Fläche gibt die Tabelle 4. Um die gleiche Energiemenge wie ein 1300 MW Kernkraftwerk mit 7000 Betriebsstunden pro Jahr durch Verbrennung von Biomasse bei einer Energieausbeute von 5,3 kWh / m² zu erzeugen, brauchte man eine Erntefläche von 1700 Quadratkilometern!

Flächenbedarf für Strom aus regenerativen Quellen			
	Angebot (kWh / m ² a)	Wirkungsgrad (%)	Stromausbeute (kWh / m ² a)
Wind (7 m / s)	3300	30	1000
Sonne (Sahara)	2200	15	330
Biomasse	17,5	30	5,3

Tabelle 4

Wenden wir im Fall von Energieplantagen den Begriff des Erntefaktors (hier definiert als Energiegewinn / Energieaufwand) wieder an, so wird die Bilanz noch ungünstiger. Als Beispiel zeigt Tabelle 5 (nach [11], S.238) den Endenergieaufwand für Anbau und Verarbeitung zur Herstellung von Bioalkohol, bezogen auf dessen Energieinhalt, und den sich daraus ergebenden Erntefaktor. Nur bei vollständiger energetischer Verwertung der Reststoffe kann in diesem Falle ein Nettoenergiegewinn erzielt werden, und für die Variante Zuckerrüben auch dann nicht.

Energieaufwand für Alkoholherstellung			
	Zuckerrüben	Zuckerrohr	Weizen
Energieaufwand	1,68	1,13	2,14
Energieinhalt der Reststoffe	0,42	1,69	3,40
Erntefaktor einschl. Reststoffe	0,85	2,38	2,10

Tabelle 5

Ob und unter welchen Bedingungen "Energieplantagen" als Brennstofflieferant für die großtechnische Stromerzeugung anstelle fossiler Brennstoffe eine Chance haben werden, erscheint zumindest fraglich. Aber die Nutzung organischer Reststoffe aus Land- und Forstwirtschaft einschließlich Müll, Biogas aus Gülle, Kläranlagen und Deponien kann durchaus einen merklichen Beitrag leisten. Eine Prognose für die Stromerzeugung aus solchen regenerativen Energiequellen in Deutschland für das Jahr 2005 zeigt Abb. 11, [15]. Im Jahre 1992 erbrachten diese 0,77 % des gesamten Stromaufkommens.

IV. Szenarien des Übergangs zur nachhaltigen Entwicklung

Jede Projektion in die Zukunft muß sich zunächst auf heute bekannte Tatsachen und auf historische Trends stützen. Für Energieprognosen muß selbstverständlich auch gefordert werden, daß naturgesetzlich gegebene Randbedingungen beachtet werden (was bei manchen "alternativen" Projekten nicht geschieht!).

Wichtiger aber scheinen für die konkrete Ausgestaltung von Entwicklungsszenarien subjektive Einschätzungen von Chancen und Risiken zu sein, die sich - insbesondere im Bewußtsein einer breiten Öffentlichkeit - schlecht objektivieren lassen. Die zähe Kontroverse um die wirklichen oder vermeint-

lichen Gefahren der Kernenergie ist ein herausragendes Beispiel dafür. Dahinter dürfen aber die wahrscheinlich noch gewichtigeren und ebenfalls kontrovers diskutierten Problemfelder Ressourcenverbrauch, Treibhauseffekt und andere Umweltschädigungen, sozio-ökonomische Gefahren des Energiemangels nicht zurücktreten.

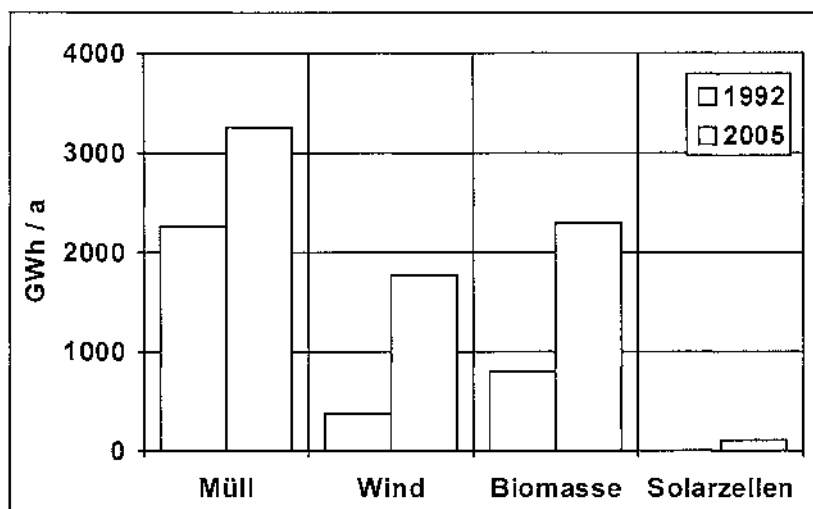


Abb. 11 Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen in Deutschland 1992 und Schätzung für 2005.

Angesichts dieser Sachlage ist es nicht erstaunlich, daß es unterschiedliche Prognosen gibt, die sich in ihren Aussagen gegenseitig widersprechen. Dies soll hier an einer mittelfristigen Prognose der Internationalen Energieagentur [16] bis zum Jahr 2010 und einer im Auftrag der United Nations Solar Energy Group for Environment and Development ausgearbeiteten langfristigen Studie [10] dargestellt werden (Abb. 12 und Abb. 13).

Beim Vergleich beider Szenarien springt sofort ins Auge, daß ihnen ganz unterschiedliche Prämissen zugrunde liegen. Die IEA-Prognose ist offensichtlich eine Trendfortschreibung nach dem Prinzip "Business as usual", während die UN-Studie versucht, im Sinne einer "grünen" Politik das Potential der erneuerbaren Energiequellen maximal auszuweiten und, verbunden mit einer rigorosen Einsparungsstrategie, die Belastung der Umwelt, insbesondere im Hinblick auf den Treibhauseffekt, deutlich zu reduzieren. Unvereinbar zwischen beiden Projektionen ist z.B. die radikale Reduzierung des Kohleanteils oder die gewaltige Ausweitung der Nutzung von Biomasse und Sonnenenergie zwischen 2010 (IEA) und 2025 (UN). Die UN-Studie scheint

demgegenüber die Ressourcenbegrenzung beim (gegenüber der Kohle umweltfreundlicheren) Erdgas nicht besonders ernst zu nehmen, begrenzt aber ohne Diskussion die Kernenergie auf das gegenwärtige Niveau. Man hat das Gefühl, daß derartigen Prognosen ein ähnliches Schicksal bevorsteht wie denen der siebziger Jahre.

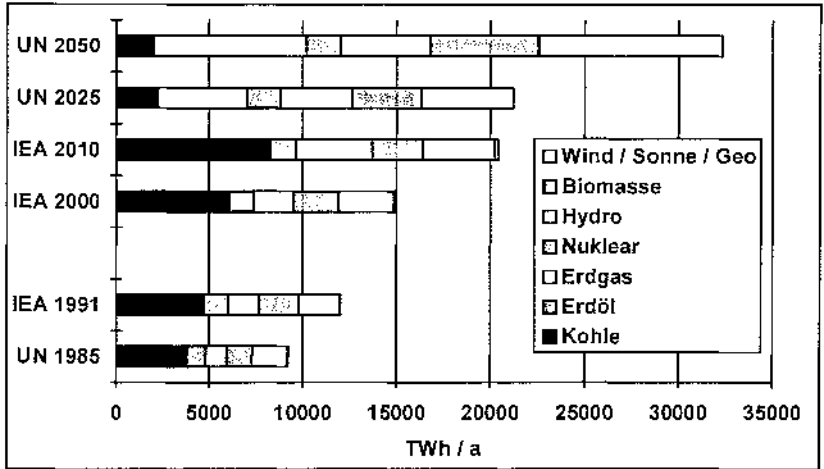


Abb. 12 Zwei Szenarien für die Weltstromerzeugung

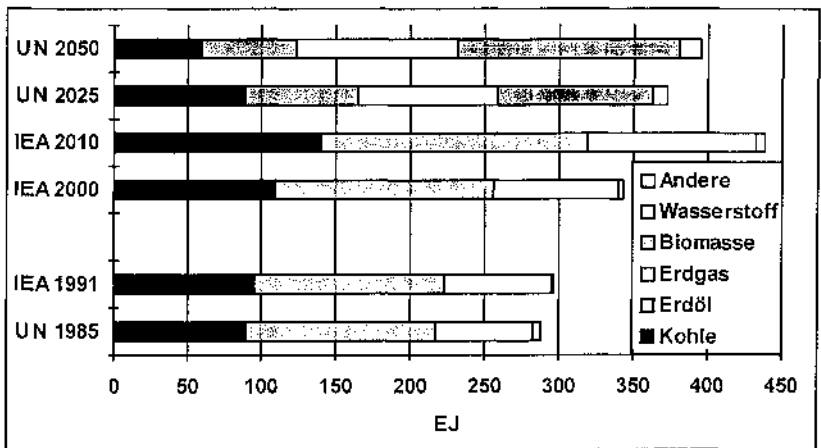


Abb. 13 Zwei Szenarien für die Weltproduktion von Brennstoffen.

Abb. 14 zeigt, welche Rolle die Kernenergie spielen könnte in Bezug auf die Abwendung einer möglichen Klimakatastrophe, wenn man ihren Anteil soweit erhöhen würde, daß im "grünen" Szenario ab 2025 die Hälfte der für die Stromerzeugung vorgesehenen fossilen Energieträger ersetzt wird. Die grün-alternative Bewegung hat zweifellos große Verdienste bei der Entwicklung des Umweltbewußtseins und der Hinwendung zu den erneuerbaren Energiequellen. Die damit in der Regel verbundene Antiatomkraft-Ideologie ist nach meiner Überzeugung demgegenüber ausgesprochen kontraproduktiv.

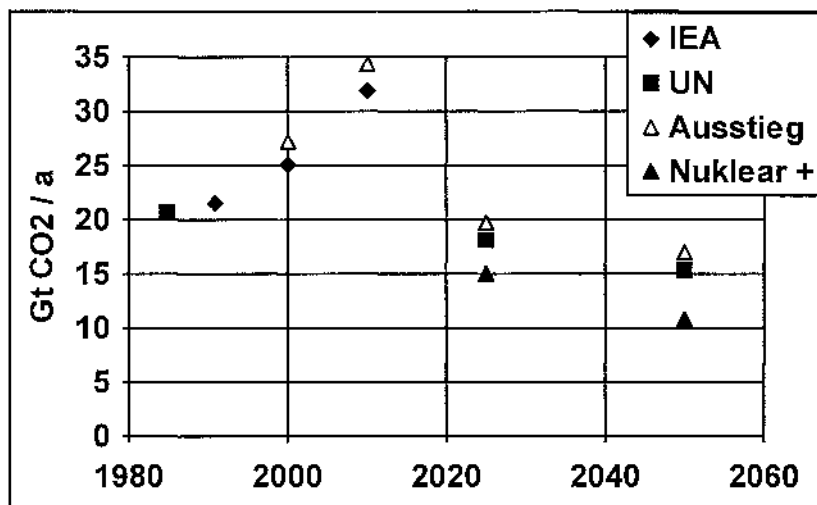


Abb. 14 Kohlendioxidemission der beiden Szenarien und Alternativen in Bezug auf Ausstieg aus der Kernenergie oder deren forciertem Ausbau im Rahmen des UN-Szenariums.

V. Vision einer Energiewirtschaft in der nachfossilen Ära

Der Übergang zur nachhaltigen Entwicklung der Energiewirtschaft müßte schon wegen der Ressourcenschöpfung, aber auch zur Entlastung der Umwelt im Laufe des kommenden Jahrhunderts im wesentlichen abgeschlossen werden. Die Struktur einer solchen Energiewirtschaft, die sich vor allem aus erneuerbaren oder noch für Hunderte von Jahren verfügbaren Primärenergiequellen versorgt, ist heute in Umrissen sichtbar, aber wohl kaum quantitativ prognostizierbar. Ihre Hauptkomponenten werden in Tabelle 6 aufgezählt.

Energieträger der nachfossilen Ära		
Primärenergieträger	Umwandlung	Endenergieträger
Wasserkraft	Turbine + Generator	Strom
Windkraft	Rotor + Generator + Elektrolyse	Strom Wasserstoff
Sonnenlicht	Flachkollektor Spiegel + Dampfkraftwerk photoelektrisch + Elektrolyse	Warmwasser Strom Wasserstoff
Erdwärme	Wärmetauscher Dampfkraftwerk	Fernwärme Strom
Uran Thorium Lithium + Deuterium	Thermischer Reaktor Brutreaktor Fusionsreaktor + Elektrolyse	Strom Fernwärme Wasserstoff
Biomasse	Biochemie Chemie Dampfkraftwerk	Methan Kraftstoffe Strom Fernwärme
Kohle	Chemie	Kraftstoffe

Tabelle 6

Grundvorstellungen dafür sind:

- Stromerzeugung ohne fossile Brennstoffe,
- großer Anteil der Elektroenergie am Endenergieverbrauch,
- Substitution von Erdgas durch Wasserstoff,
- neue Anwendungen für Wasserstoff (z.B. Flugzeugantrieb),
- Kombination lokaler und zentralisierter Erzeugungsanlagen durch leistungsfähige Transport- und Verteilungsnetze für Strom und Wasserstoff,
- Produktion flüssiger Heiz- und Kraftstoffe aus Kohle und Wasserstoff,
- Ausbau von Fernwärmenetzen unter Einbindung nuklearer Energieerzeuger.

Für alle genannten Aufgabenstellungen gibt es bereits Technologien, die sich wenigstens schon im Erprobungsstadium befinden. Was die Zukunft noch an

grundsätzlich neuen Technologien bereithält, können wir nicht wissen. Wer hat schon vor hundert Jahren an die Kernenergie gedacht!

Aus heutiger Sicht kann man leicht wünschenswerte, heute aber noch utopisch scheinende wissenschaftlich-technische Durchbrüche nennen. Zum Beispiel würde die Erfindung aufladbarer Elektroenergiespeicher mit einer Energiedichte in kWh / kg, die der von Kraftstoff nahekommt (dies würde gegenüber einer gewöhnlichen Autobatterie einen Faktor 100 bedeuten), das Problem des umweltfreundlichen Elektroautos lösen. Auch könnte man sich vorstellen, daß es einmal gelingt, eine direkte Photosynthese organischer Brennstoffe aus CO₂ und Wasser nach dem Vorbild der Natur, aber mit einem wenigstens zehnfach höheren Wirkungsgrad in großtechnischen Anlagen zu realisieren. Dies könnte eine flächensparende Alternative zu Energieplantagen sein. Doch - wie wir schon zu Anfang sahen - erstens kommt es anders und zweitens als man denkt.

Richtig aber bleibt: *Forschungs- und Technologiepolitik sind gefordert, die Grundlagen für eine ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltige Entwicklung der Weltenergiewirtschaft zu schaffen.*

Ich möchte schließen mit einem Zitat aus dem Buch "Die neuen Grenzen des Wachstums" [17]:

"Alle Visionen und Kommunikation sind nutzlos, wenn sie nicht zu Handlungen führen. Und die Schaffung eines nachhaltigen Zustands fordert nun einmal Handlungsbereitschaft. (...) Jeder Mensch muß in diesem Wandlungsprozeß seine eigene Handlungsposition finden. Wir können sie für ihn nicht bestimmen. Aber wir möchten doch einen Vorschlag machen, wie man seine Aufgaben erledigen sollte: bescheiden. Nicht mit unumstößlichem Plan, sondern als Experiment: das eigene Handeln zum Lernen benutzen. Die Abgründe menschlicher Unwissenheit sind tief. Gerade in einer Epoche, in der die Menschheit stärker als jemals zuvor gegen die dynamischen Begrenzungen dieses Planeten vorstößt, kann niemand, auch kein Entscheidungsträger, die Situation einigermaßen durchschauen. Und es gibt noch keine verbindlich anerkannte Politik, um die Lage zu meistern."

Literatur

1. Energy in a Finite World: A Global Systems Analysis Report by the Energy Systems Program Group of the International Institute of Applied Systems Analysis, W. Häfele, Program Leader. Ballinger, Cambridge, Mass. 1981
2. Globale und nationale Probleme der wissenschaftlich-technischen Strategienbildung für das Energiesystem, Herausg. K. F. Alexander, G. Flach, H. Maier. Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft, Kolloquien Heft 44, Berlin 1984.
3. K. F. Alexander, Energiequellen der Zukunft. Akademie der Wissenschaften der DDR, Sitzungsberichte 21 N (1978). Siehe auch: spectrum 9 (1978) Nr. 2, 5
4. V. G. Chant, Two Global Scenarios: The Evolution of Energy Use and the Economy to 2030. IIASA-Report RR-81-35, Laxenburg 1981
5. Energiequellen für morgen? Teil I: Zukünftige Energiebedarfsdeckung und die Bedeutung der nichtfossilen und nichtnuklearen Primärenergieträger. Programmstudie durchgeführt im Auftrag des BMFT. Umschau-Verlag Frankfurt am Main 1976, S. 13
6. Energiequellen für morgen? L. c. S. 18, 81
7. Die in dieser Arbeit verwendeten allgemeinen statistischen Daten für den Energieverbrauch wurden folgenden Zusammenstellungen entnommen: Bundesministerium für Wirtschaft: Energiedaten 92/93, Energieversorgung der Europäischen Gemeinschaft. Bonn 1993. BP Statistical Review of World Energy. London 1994. Statistische Jahrbücher der DDR und der BRD
8. Bundesbauministerium, Energiesparbuch für das Eigenheim. Bonn 1991
9. Jahrbuch der Atomwirtschaft 25 (1994) 127
10. Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity. Ed. by T. B. Johansson, H. Kelly, A. K. N. Reddy, R. H. Williams. Island Press, Washington 1993, S. 65
11. M. Kleemann, M. Meliß, Regenerative Energiequellen. Springer-Verlag, 2. Aufl. 1993, S. 300
12. Deutsches Windinstitut, DEWI-Magazin 5/94
13. G. Dumsky, Die Rolle der Kernenergie beim Umweltschutz. Atomwirtschaft 30 (1993) 596
14. UN, Weltbank (nach Energietrends 9 / 1994)
15. J. Grawe, E. Wagner, Nutzung erneuerbarer Energien durch die Elektrizitätswirtschaft, Stand 1992. Elektrizitätswirtschaft 92 (1993) 1511
16. Internationale Energie-Agentur, Welt Energie Ausblick 1994. Pressemitteilung 12. 4. 94
17. D.H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, Die neuen Grenzen des Wachstums. Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 6. Aufl. 1992, S. 274

Helmut Abel

Biophysikalische und molekularbiologische Aspekte des Strahlenrisikos

Vortrag, gehalten in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 22. September 1994

Vorwort:

Es gibt eine Vielzahl von Themen, die in den Medien sehr kontrovers und verwirrend diskutiert werden. Hierunter ordnet sich auch die Thematik "Strahlenrisiko" ein.

Leider läßt sich nicht sagen, daß dies nur der Sensationslust von Journalisten zuzuschreiben ist. Es gibt Wissenslücken, und der Umgang mit ihnen in der Wissenschaft selbst hat einen fruchtbaren Boden für öffentlich ausgetragene Kontroversen und Sensationsmeldungen geschaffen.

Um es vorweg zu sagen, mein Beitrag soll und kann nicht den Anspruch einer Klärung erfüllen. Bestenfalls kann er Inkonsequenzen im Umgang mit Wissenslücken beleuchten und somit Sachlichkeit verbessern helfen, vielleicht.

I. Ein kurzer Rückblick

An den Anfang stellen möchte ich in gebotener Kürze und mithin nur fragmentarisch eine Betrachtung der historischen Entwicklung sogenannter Dosis-Grenzwerte.

Ihre Geschichte beginnt mit dem 2. Internationalen Röntgenkongreß 1928 in Stockholm. Auf diesem Kongreß mußte bereits ein großer Teil des Programms dem Strahlenrisiko und dem Strahlenschutz gewidmet werden; überdies wurde eine Internationale Kommission für Strahlenschutz ins Leben gerufen. Der Grund dafür lag darin, daß in den ersten zwei Jahrzehnten nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung erschreckend viele Berichte über strahleninduzierte Erkrankungen bei Ärzten und Röntgentechnikern an Krebs und Leukämie erschienen waren. Die Faszination, mittels Röntgenstrahlen in den Menschen hineinschauen zu können, hatte Bedenken zunächst verdrängt.

Auf dem Stockholmer Kongreß wurden Schutzmaßnahmen empfohlen und aus Umfragen abgeleitete sogenannte **Toleranzdosen** diskutiert. Der Wahl dieses Begriffes lag die Vorstellung einer Verträglichkeit von Röntgenstrahlung unterhalb eines **Schwellenwertes** zugrunde. Diese Vorstellung schien deshalb nicht abwegig, weil durch die Entdeckung der natürlichen Radioaktivität und der kosmischen Strahlung belegt war, daß jeder Mensch natürlicherweise und unvermeidlich einer dauernden Exposition ionisierender Strahlung ausgesetzt ist, und dies ohne erkennbar Schaden zu nehmen.

Eine Erschütterung erfuhr diese Annahme einer schadensfreien Strahlenexposition durch die Ende der zwanziger Jahre gemachte Entdeckung, daß ionisierende Strahlung Genmutationen verursachen kann. Es entstand damit auch sogleich die Frage, ob die bekannten sogenannten spontanen Genmutationen durch die natürliche Strahlung verursacht sein könnten. In strahlengenetischen Studien konnte jedoch geklärt werden, daß für die Häufigkeit der spontanen Genmutationen die natürliche Strahlung tausendmal zu schwach ist, also zumindest nur von sehr geringer Bedeutung sein kann.

Die dringenden Empfehlungen von Schutzmaßnahmen und die Beachtung von Toleranzdosen hatten einen durchschlagenden Erfolg. In den dreißiger und vierziger Jahren wurde nur noch sehr vereinzelt über berufsbedingte Strahlenerkrankungen berichtet. Wissenschaftlich eindeutig belegbare Beziehungen zwischen Bestrahlungsdosen und gesundheitlichen Folgeschäden bei beruflich mit Strahlung Umgehenden konnten aber nicht gefunden werden. Dieser Mangel an Erkenntnissen veranlaßte die Internationale Kommission für Strahlenschutz 1934 dazu, den Begriff 'Toleranzdosis' durch **maximal zulässig** zu ersetzen mit einem Wert (in heute geltender Maßeinheit) von 2 mSv/Tag.

Als Vergleich sei angegeben, daß die natürliche kosmische und terrestrische Strahlung je nach geologischen Gegebenheiten und Höhenlagen Expositionswerte etwa zwischen 0,02 mSv/Woche und 0,5 mSv/Woche mit einem globalen Mittelwert bei 0,03 mSv/Woche bewirkt.

Die Unsicherheiten hinsichtlich der strahleninduzierbaren Genmutationen und ihrer möglichen populationsgenetischen Konsequenzen in Verbindung mit der raschen Zunahme der Anzahl mit Strahlung umgehender Personen führten 1950 dazu, auch 'maximal zulässig' aufzugeben und durch **so niedrig wie möglich** zu ersetzen bei gleichzeitiger Neufestlegung eines kleineren Grenzwertes für berufsbedingt strahlenexponierte Personen auf 6 mSv/Woche. Die Formulierung 'so niedrig wie möglich' mußte Gefahrenvorstellungen suggerieren, die, einmal entstanden, schwerlich wieder abzubauen sind.

In den folgenden Jahrzehnten wurde der Grenzwert noch mehrmals herabgesetzt, letztmalig 1990 auf 100 mSv/5 Jahren (entsprechend etwa 0,4 mSv/Woche), so daß er gegenwärtig vergleichbar mit dem Maximalwert der natürlich bedingten Strahlenexposition ist. Diese Nähe zu den Werten der natürlichen Expositionen führte auch dazu, die Formulierung 'so niedrig wie möglich' durch **so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar** zu ersetzen.

Aus der zunehmend breiteren Anwendung von Strahlungsquellen, in der Medizin, der Forschung und der Industrie, einschließlich der Kernenergieindustrie, folgte die Notwendigkeit einer Festlegung von Grenzwerten für die Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung. Sie wurden stets etwa um einen Faktor 10 niedriger als für berufsbedingt mit Strahlung umgehende Personen

festgelegt. Gegenwärtig liegt der Bevölkerungs-Grenzwert deutlich unter dem Maximalwert der natürlich gegebenen Strahlenexpositionen. D.h., es gibt auch Bevölkerungsgruppen, die natürlicherweise infolge geologischer Gegebenheiten (natürliche Radioaktivität des Bodens) eine höhere als dem gegenwärtigen Bevölkerungs-Grenzwert entsprechende Strahlenexposition erfahren.

So wissenschaftlich einsichtig der oben genannte Formulierungswandel sein mag, Verwirrungen der Öffentlichkeit konnten nicht ausbleiben. Daß in der Wissenschaft selbst extrem kontrovers diskutiert wird, voreilig und auf schwachen Grundlagen, sei durch zwei Beispiele einer näheren Betrachtung der Schwächen dieser Grundlagen vorangestellt.

II. Kontroversen und die Schwächen ihrer Grundlagen

J. W. Kaufmann, emeritierter Professor für medizinische Physik der Universität von Kalifornien, äußert 1987 in der Zeitschrift 'Health Physics' : "Nach eigener Schätzung werden als Folge von Tschernobyl in Europa und der Sowjetunion eine Million Menschen an Krebs erkranken".

F. Wachsmann, Professor und Leiter a.D. des Instituts für Strahlenschutz in Neuherberg bei München schreibt 1989 in 'Naturwissenschaften' :

"Man ist versucht, denjenigen, die aufgrund bloßer Annahmen...berechnen wollen, daß der Reaktorunfall von Tschernobyl in der BRD 100 oder 1000 zusätzliche Krebstote jährlich zur Folge haben wird, entgegenzuhalten, daß die an verschiedenen Orten gemachten realen Beobachtungen erkennen lassen, daß durch eine Anhebung des normalen Strahlenuntergrunds auf das Doppelte oder Dreifache jährlich etwa 30000 Krebstodesfälle in der BRD vermieden werden könnten".

Beiden Aussagen liegen zu unscharfe Trennungen von sicheren Erkenntnissen und unsicheren Vermutungen zugrunde. Betrachten wir einige etwas näher.

Die Nichtunterscheidbarkeit spontaner und strahleninduzierter Krebs-erkrankungen hatte schon frühzeitig dazu angeregt, über epidemiologische Untersuchungen an außergewöhnlich strahlenexponierte Personengruppen Beziehungen zwischen Bestrahlungsdosen und Krebshäufigkeit zu ermitteln. Es gab jedoch nur – glücklicherweise – wenige Gruppen, bei denen Korrelationen zwischen Dosis und Krebsrisiko statistisch gesichert werden konnten. Dazu gehörten Leuchtzifferblattmalerinnen, Uranbergarbeiter, bestimmte Strahlentherapie-Patientengruppen und als bedeutungsvollste, weil mit relativ breit differierenden Dosen exponiert sowie größte Gruppe, die Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki. Allen diesen Gruppen war gemeinsam, daß sie hohen Bestrahlungsdosen bei gleichzeitig ebenfalls auch hohen Dosisleistungen ausgesetzt waren.

Die Hiroshima/Nagasaki-Studien wurden kurz nach dem Ende des 2. Weltkrieges begonnen und werden noch heute mit vielen Erweiterungen fortgeführt. Die in diesen Untersuchungen enthaltenen enormen wissenschaftlichen Schwierigkeiten lassen sich daran erkennen, daß in den vergangenen 50 Jahren nach Abwurf der Bomben der statistisch gesicherte Anteil zusätzlicher und infolge der Bombenabwürfe strahleninduzierter Krebssterbefälle etwa 400 beträgt.

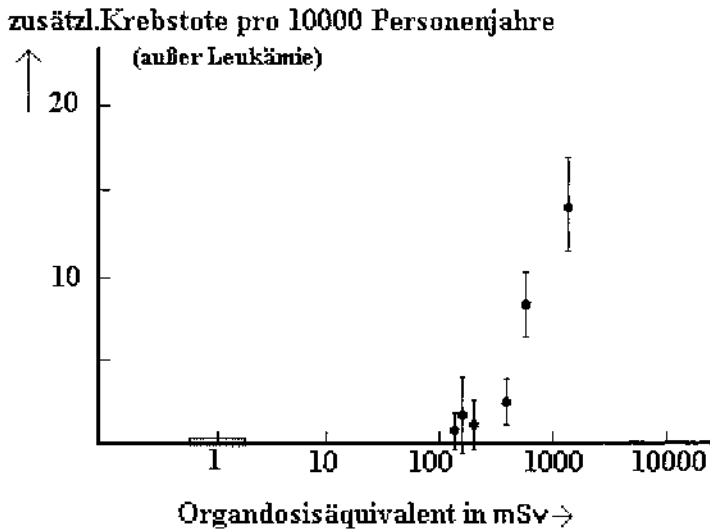


Abb. 1: Zusätzliche Krebsrate bei Überlebenden in Hiroshima/Nagasaki

Abb. 1 zeigt den festgestellten Zusammenhang /1/ zwischen zusätzlichen Krebssterbefällen und Bestrahlungsdosis, hier in halblogarithmischer Darstellung wiedergegeben. Der markierte Bereich um 1 mSv deutet die mittleren Jahresexpositionswerte infolge natürlich gegebener Umweltstrahlung an. Die gewählte Darstellungsweise veranschaulicht die Problematik einer Extrapolation über Zehnerpotenzen hinweg, zumal statistisch gesicherte zusätzliche Krebssterbefälle erst oberhalb einiger 100 mSv gegeben sind. Frühere Auswertungen der Hiroshima/Nagasaki-Studien zeigten ähnliche funktionelle Zusammenhänge, die das US National Council on Radiation Protection in einem Bericht 1975 /2/ zu dem Kommentar veranlaßte: "Das NCRP möchte Regierungsstellen und politische Entscheidungsgremien darauf hinweisen, daß es unvernünftig wäre, die kanzerogenen Risiken bei kleinen Dosen und Dosisleistungen, welche mittels linearer Extrapolationen aus Daten für hohe Dosen und Dosisleistungen abgeleitet worden sind, als tatsächliche Risiken zu interpretieren oder anzunehmen". Auch W. Jakobi, Direktor des Instituts für Strahlenhygiene in München-Neuherberg und

langjähriges gewähltes Mitglied der Internationalen Kommission für Strahlenschutz äußert sich in einem Aufsatz 1991 /3/ in ähnlicher Weise : "Die epidemiologischen Daten von den Atombomben-Überlebenden ermöglichen grundsätzlich keine quantitative Aussage über das tatsächliche Krebsrisiko bei niedrigen Dosen oder bei chronischer Bestrahlung mit niedriger Dosisleistung".

Die Internationale Kommission für Strahlenschutz hat eine lineare Extrapolation vorgenommen und Modellrechnungen über altersabhängige Krebssterblichkeitsraten bei Jahresexpositionen im Dosis-Bereich der natürlich gegebenen Umweltstrahlung in ihre Berichterstattung aufgenommen.

Eine der wesentlichen Modellannahmen ist, daß die strahleninduzierte Kanzerogenese durch ein singuläres Energieabsorptionsereignis in einer Einzelzelle initiiert werden kann. Anders ausgedrückt heißt dies, daß der Energieverlust beim Durchgang eines ionisierenden Teilchens durch eine einzelne Zelle die Initiation einer malignen Zelltransformation bewirken kann. Wörtlich wird im Bericht der Internationalen Strahlenschutzkommission ausgesagt /4/ : "If, as seems likely, some types of cancer can result from the clone of modified cells originating in a single cell, there can be not real threshold in the dose-response curve for those types of cancer".

Die Komplexität allein der Initiationsphase einer malignen Zelltransformation betrachtend, die funktionelle Verknüpfung verschiedener Gene (Protoonkogene, Supressorgene, Onkogene, Reparaturgene) beachtend, läßt sich einwenden, daß verschiedene und voneinander z.T. auch abhängige Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um eine maligne Zelltransformation zu initiieren und manifest werden zu lassen. Hinzukommt, daß auch Defekte im Immunsystem gegeben sein müssen, damit klonale Entwicklungen maligner Zellen nicht wieder gestoppt werden.

Sicher sind die Mechanismen maligner Zelltransformationen und der sich anschließenden immunologischen Reaktionsmechanismen noch unvollkommen aufgeklärt; wissenschaftliche Meinungsverschiedenheiten daher normal. Die Internationale Strahlenschutzkommission sieht sich jedoch in eine Verantwortung gestellt, die Entscheidungen trotz Unklarheiten verlangt. Ihre Empfehlungen und Interpretationen sind mithin auf Vorsicht orientiert und nicht als widerspruchsfreie Erkenntnisse zu werten.

Unvermeidlich führt aber die quantifizierte Annahme eines Krebsrisikos bei beliebig kleiner Strahlendosis dazu, die Lebensräume von Menschen in konkrete Gesundheitsklassen nach Intensität der natürlich gegebenen Umweltstrahlung aufzuteilen.

IV. Krebsmortalität und Umweltstrahlung

Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität sind seit vielen Jahrzehnten der Wissenschaft bekannt. Das Erzgebirge wurde bereits in den dreißiger

Jahren als ein klassisches Gebiet der Radioaktivität bezeichnet. Heute liegen quantitative Bestimmungen von Expositionswerten weltweit vor und lassen erkennen, daß es noch weit größere Gebiete relativ hoher Radioaktivität gibt.

Einer epidemiologischen Überprüfung der von der Internationalen Strahlenschutzkommission empfohlenen Annahme des Zusammenhangs zwischen Krebssterblichkeitsrate und Jahresdosis stehen trotz dieser Variationen der natürlichen Umweltstrahlung erhebliche Schwierigkeiten gegenüber. So fehlt eine zuverlässige Registrierung der Krebssterbefälle in den meisten und besonders interessierenden Gebieten. Außerdem sind Lebensgewohnheiten und soziale Grundlagen unterschiedlich. Hinzu kommt, daß die aus Gründen statistischer Sicherheit der Aussagen erforderliche Größe der zu vergleichenden Personengruppen Anforderungen stellt, die kaum erfüllbar erscheinen.

Anzahl der Personen (in Millionen)

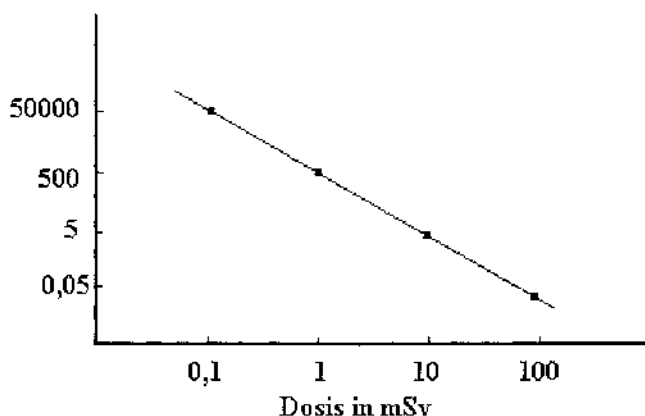


Abb. 2: Anzahl der für statistisch sichere epidemiologische Untersuchungen erforderlichen Kollektivgrößen in Abhängigkeit von der Dosis

Abb. 2 zeigt an /5/, daß bei Expositionsdifferenzen im mSv-Bereich einige hundert Millionen Personen in epidemiologischen Untersuchungen erfaßt werden müßten. Trotz dieser Schwierigkeiten wurden viele Versuche unternommen, zu statistischen Aussagen zu kommen, mit immer weiterentwickelten statistischen Modellen.

In Deutschland-Ost, ehemals DDR, besteht landesweit das wohl einzige hinreichend lange (seit 1953) geführte Krebsregister. Die Expositionswerte aus der natürlich gegebenen Umweltstrahlung steigen hier von Norden nach Süden leicht an und erreichen in Kreisen der Bergbauggebiete Thüringens und

Sachsens Werte, die mehr als doppelt so hoch sind wie im Norden. Aus den bisher vorliegenden epidemiologischen Untersuchungen konnten hinsichtlich der Inzidenz bösartiger Erkrankungen, einschließlich Leukämien, bis auf eine Ausnahme, keine Unterschiede nachgewiesen werden. Die Ausnahme bildet der Kreis Aue, das Territorium des früheren Uranbergbaues, in dem bei Männern - und nur bei diesen - eine signifikant erhöhte Lungenkrebsrate nachweisbar ist, die aus dem überproportional hohen Anteil an ehemaligen Wismut-Bergleuten ihre Erklärung findet /6/.

Es seien noch zwei weitere epidemiologische Untersuchungsbefunde /7/ genannt, die mit zu den bisher zahlenmäßig umfassendsten gehören und deren Vergleich insofern besonders interessant erscheint, weil bei zwar relativ kleinen vergleichbaren Dosen die Dosisleistungen sehr unterschiedlich sind. In dem einen Falle handelt es sich um diejenige Gruppe von Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima/Nagasaki (23321 exponierte Personen; 34272 Personen der Kontrollgruppe), die mit Dosen zwischen 10 mGy und 90 mGy exponiert wurden (die entsprechenden mSv-Werte liegen infolge eines geringen Anteils an Neutronenstrahlung aus den Bombenexplosionen etwas über den mGy-Werten,). Im anderen Falle wurden Bewohner eines Gebietes in China (74000 Einwohner) untersucht, wo die natürliche Strahlenexposition 200% bis 300% über dem Landesdurchschnitt liegt und die mittlere Lebensdosis 70jähriger Einwohner 350 mSv beträgt

**letales Krebsrisiko in Hiroshima/Nagasaki
relativ zur Kontrolle (1,0 kein Effekt)**

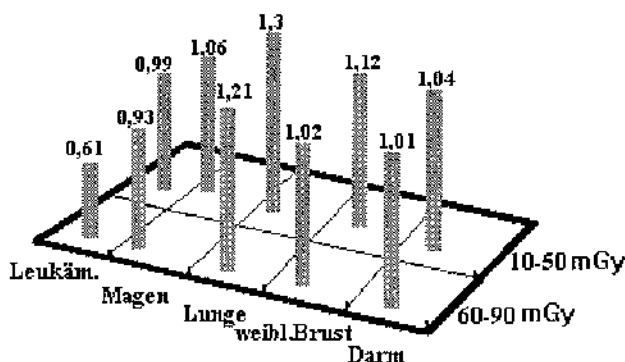


Abb.3: Letales relatives Krebsrisiko Überlebender von Hiroshima/Nagasaki

Abb. 3 widerspiegelt die Resultate der Hiroshima/Nagasaki-Untersuchungen. Bei allen untersuchten Krebsarten und bei Leukämien zeigen die Gruppen der mit 10 mGy bis 50 mGy exponierten Personen eine höhere Krebsrate ge-

genüber den mit 60 mGy bis 90 mGy exponierten Personen. Dieses mit der Annahme einer linear-dosisproportionalen Zunahme des Krebsrisikos unvereinbare Resultat weist auf die Unzulänglichkeit der Gruppengröße zum Erhalt eines statistisch sicheren Resultats hin. Damit verbietet sich jedoch auch die Interpretation, daß das Krebsrisiko in diesem Dosisbereich mit zunehmender Dosis abnimmt.

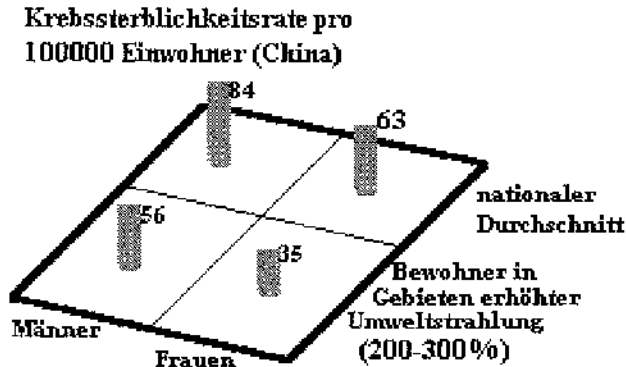


Abb.4: Standardisierte Krebssterblichkeitsrate einer chinesischen Bevölkerungsgruppe unter erhöhter natürlicher Strahlenexposition lebend im Vergleich zum nationalen Durchschnitt

Abb. 4 zeigt das Resultat der China-Studie. Auch hier wird in der höher exponierten Gruppe eine geringere Krebssterblichkeitsrate festgestellt. Doch wie im vorigen Falle kann dies nicht als sichere Bestätigung dafür dienen, daß erhöhte Strahlenexposition das Krebsrisiko verringert.

Es läßt sich nur sagen, daß die betrachteten Untersuchungsergebnisse (Krebsregister DDR, Hiroshima/Nagasaki, China) die Annahme eines mit der Dosis zunehmenden Krebsrisikos im Variationsbereich der Umweltstrahlung nicht stützen. Diese Feststellung trifft auf viele andere epidemiologische Untersuchungen ebenfalls zu. Es gibt bisher auch kein einziges epidemiologisches Untersuchungsergebnis im Umwelt-Expositionsbereich, das widerspruchsfrei eine dosisproportionale Zunahme des Krebsrisikos bestätigen könnte. Wohl aber liefern die Widersprüche epidemiologischer Studienresultate immer wieder einen Anreiz zur Vermarktung. Ein besonders krasses Beispiel dafür bilden die Diskussionen um Leukämie-Cluster in der Umgebung von Kernenergieanlagen.

Es sei erlaubt, dem Vortrag die diesbezügliche Bemerkung eines Teilnehmers einer Diskussion im Deutschland Radio /8/ nachzureichen :

"Ein (Leukämie-)Cluster und ein Kernkraftwerk, wenn sie in räumlicher Nähe auftreten, sind der Stoff, aus dem politische Konflikte entstehen, die immer weitere Kreise ziehen und wo die Politik zwangsläufig scheitert, weil sie auf eine Wissenschaft setzt, die das nicht leisten kann, was von ihr erwartet wird., nämlich den klaren Nachweis für die kraftwerksverursachte Leukämie zu erbringen. Das ist aber nicht nur Stoff für neue Unsicherheit, das ist nicht nur eine Chance für Politiker, sich verantwortungsvoll mit Abschaltungen und Ausstiegsschwüren vor der Bevölkerung zu profilieren, das ist auch ein geradezu idealer Boden für eine wissenschaftliche Betätigung, die sich durch Nichtlösung dieses Problems ständig neue Forschungsaufträge holt".

Es sei an dieser Stelle betont, daß der Epidemiologie nicht die Beweisführung eines kausalen Zusammenhangs obliegt, wohl aber die strenge Begründung eines Hinweises darauf, woraus sich Aufgaben und Orientierungen für die Grundlagenforschung ableiten.

V. Strahleninduzierte Störungen an der DNS und ihre Reparatur

Untersuchungen an tierischen Spermien hatten bereits im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts zu Hinweisen darauf geführt, daß der Zellkern strahlenempfindlicher ist als das Zellplasma. Heute wissen wir, daß die chromosomale DNS alle strukturellen und funktionellen Informationen über Aufgaben und Teilung einer Zelle enthält und sich daraus die Empfindlichkeit des Zellkerns erklärt. Für alle Noxen, die in den Zellkern eindringen können, stellt mithin die DNS den primär kritischen Angriffsort dar. Ihre doppelsträngige Struktur mit gleichem Informationsgehalt in jedem Strang bildet bereits eine erste Sicherheit. Störungen in einem der beiden Stränge führen dadurch nicht zum Informationsverlust. Die Zelle läßt dennoch eine solche einsträngige Störung nicht bestehen. In Experimenten läßt sich gut beobachten, daß solche Störungen in Minuten und Stunden wieder aufgehoben werden. Jede DNS, ob aus Bakterien, Pflanzen- oder Säugerzellen, verfügt über Abschnitte, die sogenannte Reparaturgene codieren. Die Produkte dieser Gene bilden ein komplexes Arsenal an Enzymen mit Erkennungs-, Ausschneide- und Synthesefunktionen, so daß die Störstelle wieder ausgebessert bzw. repariert werden kann. Aus sterischen Gründen ist die ausgebesserte Stelle stets größer als die ursprüngliche Störstelle, wodurch auch spontane quantenchemische Irrtümer und andere Störungen, die der Erkennung entgangen sind, mit aufgehoben werden.

Daß die DNS infolge ihrer Länge, 100000 mal den Zellkerndurchmesser überschreitend, in superhelikaler Weise organisiert sein muß, konnte schon vor vielen Jahren nachgewiesen werden. Aus vergleichenden Bestrahlungsexperimenten an Säugerzellen mit leichten und schweren beschleunigten Ionen ergaben sich darüber hinaus gut gestützte Hinweise darauf, daß die

chromosomale DNS in nahezu äquidistanten Abständen kernmembran-assoziiert ist und weit über 1000 Subeinheiten mit funktioneller Reparaturautonomie bildet [9,10,11]. Jede Zelle verfügt also über mehr als 1000 autonom arbeitende Reparatureinheiten.

Sehr grob lassen sich die Reparaturprozesse nach ihrem zeitlichen Ablauf, der Form des Energiebedarfs und nach ihrem biologischen Ergebnis ordnen. Einen Eindruck vom unterschiedlichen zeitlichen Verlauf der Reparatur nach induzierten einsträngigen Brüchen in der DNS und z.B. nach hervorgerufenen sogenannten Basenvernetzungen vermittelt **Abb. 5**.

relative Superhelikalität

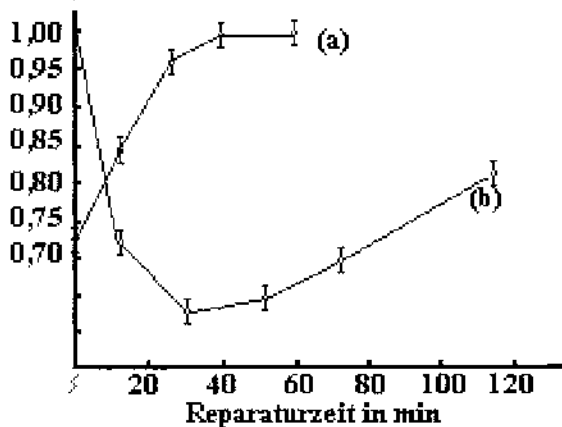


Abb. 5: Darstellung unterschiedlicher DNS-Reparaturkinetiken bei verschiedenen Schadensarten, (a): DNS-Einstrangbrüche, (b): DNS-Basenvernetzungen

Die Schädigungen erfolgten zum Zeitpunkt Null und bei beiden Schadensarten beginnt die Reparatur sofort. Im Falle der Basenvernetzungen (Kurve b), die durch UV-Strahlung oder durch bestimmte chemische Verbindungen hervorgerufen werden können, muß das Reparatursystem nach Erkennung der Schäden erst enzymatisch die betroffenen Strangstellen aufschneiden, erkennbar an dem zunächst stattfindenden Rückgang des Grads an Superhelikalität. Die weitere enzymatische Bearbeitung der Basenvernetzungen vollzieht sich sehr viel langsamer als die Wiederverknüpfungsprozesse bei einsträngigen Brüchen (Kurve a) in der DNS.

Experimentell gesichert ist heute, daß ionisierende Strahlung überwiegend einsträngige und sehr viel seltener auch doppelsträngige Brüche in der DNS bestrahlter Zellen hervorruft. Bei einsträngigen Brüchen wird die Bruchstelle

enzymatisch erweitert und der gegenüberliegende intakte Strangabschnitt liefert die Information für die Neusynthese des Strangstückes. Die Doppelstrangbrüche, in den Strängen gegenüberliegend, wurden lange Zeit als irreparabel vermutet, weil sie den Verlust gleicher Informationen in beiden Strängen bewirken. Doch inzwischen konnte auch ihre Reparatur nachgewiesen werden. Die DNS-Superhelikalität in den Subeinheiten realisiert eine räumliche Nachbarschaft homologer DNS-Subeinheiten, wodurch die Reparatur von strahleninduzierten Doppelstrangbrüchen durch sogenannte Austauschprozesse möglich wird. Diese erfordern jedoch das Fortschreiten der Zelle im Zellzyklus und beanspruchen somit Stunden.

Nun verursacht die natürlich gegebene Umweltstrahlung in einer betrachteten Zelle unseres menschlichen Körpers strahleninduzierte DNS-Störungen nur in zeitlichen Abständen von Monaten, also in Zeiten, die sehr groß verglichen mit den intrazellulären Reparaturzeiten sind. Die Zelle hat diese Störung also längst repariert, ehe eine zweite Störung erfolgt, falls sie dann nicht schon natürlicherweise ausgeschieden ist. Anders verhält es sich mit den spontanen Mutations- und malignen Zelltransformationsraten. Sie liegen um viele Zehnerpotenzen über der aus der Umweltstrahlung resultierenden DNS-Störrate. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß die Existenz eines so effizienten DNS-Reparatursystems zumindest nicht ausschließlich durch die Umweltstrahlung begründet ist.

So hoch die Effizienz der DNS-Reparaturmechanismen auch eingeschätzt werden muß, so ist sie doch nicht fehlerfrei. Daß auch strahleninduzierte DNS-Störungen nicht quantitativ fehlerfrei repariert werden, zeigt sich im Bereich hoher Dosen und Dosisleistungen am statistisch gesichert wachsenden Krebsrisiko. Zu fragen ist, welche Art strahleninduzierter DNS-Schäden an Initiationen maligner Zelltransformationen beteiligt sein könnten. Die in Krebszellen nachgewiesenen chromosomalen Umbauten lenkt die Aufmerksamkeit auf nicht oder fehlerhaft reparierte Doppelstrangbrüche. Sie werden dann nicht oder nur fehlerhaft reparabel sein, wenn sie Cluster in den superhelikalen DNS-Subeinheiten bilden und sich dadurch die Reparatorenzyme gegenseitig behindern.

Die Verteilung von Doppelstrangbrüchen in den DNS-Subeinheiten einer Zelle, also auch die Clusterung von Doppelstrangbrüchen, läßt sich infolge der Kenntnisse über die DNS-Organisation der DNS im Zellkern in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdosis und für jede beliebige Strahlenart quantenphysikalisch gut berechnen, folglich auch die Rate der als irreparabel angenommenen Doppelstrangbrüche $/11/$. Dabei ergaben sich zwei interessante Resultate. Für energiereiche Quantenstrahlung, wie sie in der natürlichen Umweltstrahlung vorkommt, sinkt die Rate irreparabler Doppelstrangbruchcluster im Dosis-Bereich der Umweltstrahlung kontinuierlich auf so niedrige Werte ab, daß ihr Beitrag zur Initiation einer malignen Zell-

transformation weit unter jeder Nachweisschwelle heutiger Methoden liegt. Für Alphastrahlung hingegen, die als merklicher Anteil der Umweltstrahlung aus dem Radon resultiert, nimmt die Rate irreparabler Doppelstrangbrüche unterhalb etwa 1000 mGy, entsprechend einigen 1000 mSv, nicht mehr ab, sondern bleibt bei 0,1 bis 0,2 konstant. D.h., sobald eine Zelle von einem Alphateilchen durchquert wird und im Zellkern Energie überträgt, entsteht mit konstanter Wahrscheinlichkeit auch ein irreparabler Doppelstrangbruch in ihrer chromosomalen DNS.

Anteil irreparabler Doppelstrangbrüche

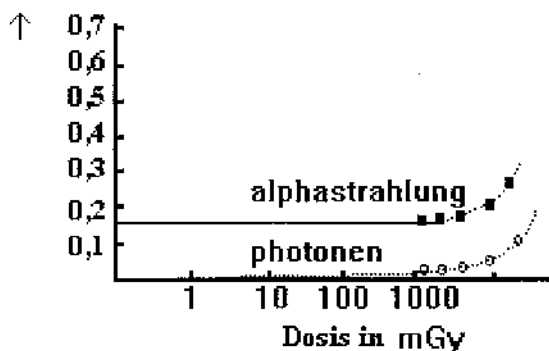


Abb.6: Anteil irreparabler DNS-Doppelstrangbrüche nach Alpha- bzw. Photonenbestrahlung von Säugerzellen in Abhängigkeit von der Dosis

Abb. 6 veranschaulicht diesen Sachverhalt. Die durchgezogenen Kurven sind das Resultat der Berechnungen (also keine Extrapolationen!), die bei hohen Bestrahlungsdosen zu einem Verlauf führen, der gut vereinbar ist mit den dort experimentell bestimmten irreparabler Doppelstrangbrüchen. Da Radon als Alphastrahlung emittierende natürliche Expositionsquelle nicht zu vernachlässigen ist, scheint jedoch dieses Resultat die Annahme eines Krebsrisikos auch im Expositionsbereich der Umweltstrahlung zu stützen.

Doch dieser Schluß ist zu voreilig. Er ignoriert zumindest zwei Fakten. Erstens ist unabhängig von der Dosis stets der Anteil an DNS-Einstrangbrüchen extrem viel größer als der Anteil an irreparablen DNS-Doppelstrangbrüchen. Zweitens ist jede Reparatur eines Einstrangbruches als Signal zur DNS-Kontrolle zu werten, woraus bei der Reparatur des Bruchs die gleichzeitige Aufhebung eines Anteils der hunderttausendfach häufigeren spontanen endogenen und nicht strahleninduzierten DNS-Störungen resultiert.

Aus molekularbiologischer Sicht kann also nicht ausgeschlossen werden, daß die natürliche Umweltstrahlung eine begrenzende Funktion bezüglich der spontanen und aller nicht strahleninduzierten Mutationen und Zelltransformationen haben könnte.

Natürlich ist dies zunächst nicht mehr als ein Denkansatz, der aber die Forschung auf gezielte Untersuchungen orientiert. So wurden z.B. nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl Mutationsuntersuchungen an peripheren Lymphozyten von Personen einer Baustelle durchgeführt /12/, die sich dort, 150 km entfernt vom Unglücksort, während und noch 4 Wochen nach dem Reaktorunfall aufhielten. Eine gut bekannte und spontan vorkommende Mutationsart, bezeichnet als Schwesterchromatidaustausch, wurde in entnommenen Lymphozyten von diesem Personenkreis und von einem Kontroll-Personenkreis chemisch induziert. Trifft der oben genannte Denkansatz zu, müßte bei dem Personenkreis der Baustelle eine geringere Anzahl an Mutationen entstanden sein., weil in ihren Lymphozyten infolge der erhöhten Strahlenexposition auch eine intensivere DNS-Kontrolle induziert worden ist. Die Untersuchungen zeigten auch dieses Ergebnis. Die Autoren dieser Arbeit halten dies jedoch noch nicht für eine Bestätigung, weil auch Verschiebungen in den Lymphozyten-Subpopulationen zugunsten strahlenresistenter Zellen bei dem exponierten Personenkreis das Resultat erklären könnten

Es ließen sich noch eine Reihe weiterer Untersuchungen anführen, die dem Denkansatz einer mutations- und transformationsbegrenzenden Funktion der natürlichen Umweltstrahlung gefolgt sind. Sie ermutigen auch zur Fortsetzung, haben aber der Internationalen Strahlenschutzkommission noch keine hinreichende Sicherheit vermitteln können, von ihrer auf Vorsicht gegründeten Position abzuweichen. Sie hat diese Denkansätze nicht ignoriert, kommt aber in ihrem Bericht 1990 zu der Schlußfolgerung : "Radiation may be able to stimulate the repair of prior radiation damage, thus decreasing its consequences, or may be able to improve immunological surveillance, thus strengthening the body's natural defence mechanisms. Such effects, currently termed 'hormesis', are poorly understood and are controversial. Most of the experimental data are inconclusive, mainly because of statistical difficulties at low doses. It is therefore inappropriate at present to take account of the possible influence of hormesis on the probability of the induction of stochastic effects by radiation".

Man muß diesen Standpunkt akzeptieren, wenn er auch hinsichtlich der keinesfalls geringeren statistischen Schwierigkeiten epidemiologischer Untersuchungen etwas inkonsequent erscheint.

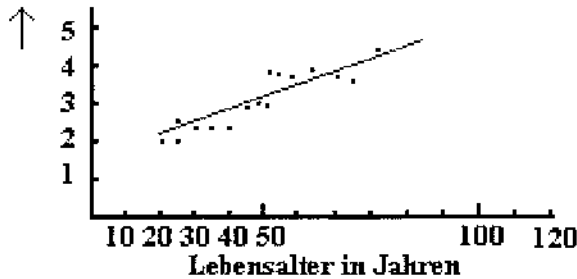
Daß objektiv Erkenntnislücken vorhanden sind, muß eingestanden werden, sie rechtfertigen es aber nicht, Ängste daraus abzuleiten und Medien zu bemühen, diese in der Öffentlichkeit zu vermarkten.

Abschließen möchte ich den Vortrag mit einigen Bemerkungen zur Frage der individuellen Strahlenempfindlichkeit.

Wie bereits ausgeführt, ist die chromosomale DNS einer Säugerzelle superhelikal in Subeinheiten organisiert. Sie steht also unter hoher Torsionsspannung. An Krebszellen konnte vor längerer Zeit schon nachgewiesen werden, daß die Torsionsspannung im Vergleich zu Normalzellen zugenommen hat. Diese Zunahme muß nicht alle DNS-Subeinheiten betreffen. Doch die davon betroffenen Gene könnten in ihrer Aktivität beeinträchtigt sein. In menschlichen peripheren Lymphozyten ist an Gene zu denken, deren Produkte monoklonale Antikörper sind oder Reparaturenzyme, die mitbestimmend sind für Antworten des Organismus auf endogene wie exogene Reize. Bekannt sind eine Reihe von Krankheitsbildern, u.a. eben auch Krebs, deren Häufigkeit mit zunehmendem Lebensalter ansteigt.

Naheliegender schien es daher zu untersuchen /13/, ob sich der Grad der Superhelikalität der DNS in peripheren menschlichen Lymphozyten und das intrazelluläre DNS-Reparaturvermögen mit dem Lebensalter verändern.

Zunahme der DNS-Superhelikalität



Abnahme der DNS-Reparaturfähigkeit

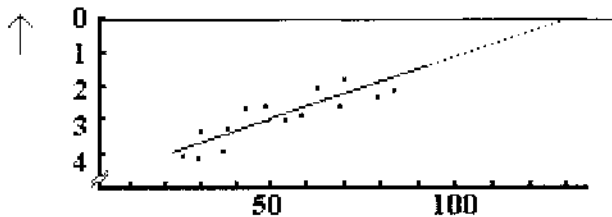


Abb.7: DNS-Superhelikalitätsgrad und DNS-Reparaturvermögen in menschlichen peripheren Lymphozyten in Abhängigkeit vom Lebensalter der Spender

Abb. 7 zeigt in vereinfachter Darstellung Resultate dieser Untersuchungen. Der Grad an Superhelikalität nimmt mit dem Lebensalter zu und das Reparaturvermögen ab. Beide Veränderungen deuten auf Funktionsverluste der Lymphozyten hin. Aus der relativ großen Streuung der experimentellen Einzelwerte folgt als weiterer Hinweis, daß die Empfindlichkeit gegenüber endogenen wie exogenen DNS-Störungen, u.a. gegenüber ionisierender Strahlung oder bestimmten chemischen Verbindungen, individuell sehr differiert.

In einer weiteren Studie /14/ wurden beide Merkmale der DNS peripherer Lymphozyten individuell vergleichend an gesunden älteren Personen durchgeführt. Die große Streuung in den Werten beider Merkmale konnte hier nun quantifiziert werden. Es zeigte sich, daß bei etwa 80 % der Personen der DNS-Superhelikalitätsgrad in den Lymphozyten annähernd gleich ist, aber unter den anderen 20% z.T. merklich erhöhte Werte auftreten. Bezüglich des DNS-Reparaturvermögens wurden 65 % als unauffällig bzw. gut vergleichbar registriert und unter den restlichen 35 % wiederum teilweise sehr ausgeprägte Reparaturdefizite.

Daß beide DNS-Merkmale, wenn sie Anomalien zeigen, auch erhöhte Strahlenempfindlichkeit signalisieren, darf als sehr wahrscheinlich angesehen werden. Die Methoden sind noch zu grob, die Merkmale noch zu integral bestimmt. Aber erkennen läßt sich, daß es Wege gibt, um zu differenzierten individuellen Empfindlichkeitscharakteristika zu kommen.

VI. Zusammenfassung

Den heutigen Dosis-Grenzwerten für Strahlenexpositionen liegen wissenschaftliche Erkenntnisse über die damit verbundenen Krebsrisiken nicht zugrunde. Ihre Festsetzung wurde einerseits maßgeblich durch die Vervollkommnung der Strahlenmeßtechnik und andererseits aus Vorsicht gerade durch die Erkenntnislücken bestimmt.

Epidemiologische Untersuchungen konnten bisher weder über eine Zu- noch Abnahme des Krebsrisikos mit der Dosis im Expositionsereich der natürlichen Umweltstrahlung widerspruchsfreie Hinweise erbringen.

Auch der Erkenntnisstand der biophysikalischen und molekularbiologischen Grundlagenforschung reicht noch nicht aus, um die zur Vorsicht verpflichtete Internationale Strahlenschutzkommission zu veranlassen, ihre auf Vorsicht bedachte Risiko-Bewertung zu verändern.

Wissenslücken sind objektiv gegeben, nicht jedoch von der Art, daß sie Ängste begründen und ihre Verbreitung in der Öffentlichkeit rechtfertigen könnten.

Literatur

- /1/ Shimizu Y., Kato H. and Schull W. J.: Life Span Study Report 11, Part 2. Radiation Research 121 (1990) 120-141
- /2/ NCRP-Report No. 43, Review of the Current State of Radiation Protection Philosophy, Washington D:C: 1975
- /3/ Jakobi W., : Die neuen Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (ICRP), in : Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 33 (139-155), Gustav Fischer Verlag-Stuttgart-Jena-New York 1992
- /4/ ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP 21 (No. 1-3), Pergamon Press, Oxford 1991
- /5/ Alexander P. E: Concern for very low doses. The Health Physics Society's Newsletter 1988, No. 11
- /6/ Arndt D., Die Strahlenexposition in den Bergbaugebieten Thüringens und Sachsens, in : Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band 33 (47-60), Gustav Fischer Verlag-Stuttgart-Jena-New York 1992
- /7/ Steinhäusler F., Der Mensch im Strahlenumfeld, in : Strahlenschutz: Physik und Messtechnik, Band 1 (1-18), Publikationsreihe des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1994
- /8/ Deutschland Radio, Landwirtschaft und Umwelt, Sendung v. 25.9.95
- /9/ Regel K., DNA-Superstrukturen, Radiobiol. Radiother. 29 : 520-560 (1988)
- /10/ Erzgräber G., Rosemann M., Abel H. and Regel K., DNA-structures and radiation injury, in : Proceedings of the COSPAR-Meeting Den Haag, Pergamon Press 1990
- /11/ Rosemann M., Ein mikrodosimetrisches Modell zu Reparatur strahleninduzierter DNA-Doppelstrangbrüche in Säugerzellen, Dissertation A, Humboldt-Universität Berlin, 1992
- /12/ Tuschl H., Kovac R. und Topaloglou A., DNA Reparatur, Schwesterchromatidaustausche und immunologische Parameter nach Rn- oder beruflicher Strahlenexposition. Vortrag 1988, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf
- /13/ Hartwig M. and Körner i. J., Age-related changes of DNA-winding and repair in human peripheral lymphocytes, Mechanisms of Aging and Development, 38 (1987) 73-78
- /14/ Rosemann M., Schulze B. and Abel H., DNA Supercoiling and Repair in Peripheral Lymphocytes as a Measure of Acute Radiation Response After Radiotherapy, Radiation Oncology Investigations 2: 126-133 (1994)

Gerd Friedrich
Klaus Steinitz

Wie gefährdet ist der Wirtschaftsstandort Deutschland?*

In den Monaten der schwersten Wirtschaftskrise Deutschlands in der Nachkriegszeit wurde kein Thema auf ökonomischen Gebiet so strapaziert wie die Sicherung des Wirtschaftsstandortes. Parteien und Unternehmerverbände veröffentlichten hierzu Positionspapiere, die Regierung beschloß ein Programm zur Standortsicherung, die wirtschaftspolitischen Kommentatoren diskutierten in den Medien das Für und Wider verschiedener Vorstellungen und Vorschläge.

Nun sind Diskussionen um die Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Wirtschaft weder neu noch auf Deutschland beschränkt. In vielen Industrieländern wird in Zeiten der Krise die Gefährdung des Wirtschaftsstandortes ins Zentrum wirtschaftspolitischer Diskussionen gerückt, um die Mehrzahl der Bürger von der Notwendigkeit solcher Maßnahmen zu überzeugen, die darauf abzielen, die Verwertungsbedingungen des Kapitals zu verbessern - Senkung der Unternehmenssteuern, Lohn- und Sozialabbau, Bereitstellung von Fördermitteln, staatliche Sparprogramme u.ä.m.

Mitte 1994 verschwand das Thema nahezu schlagartig aus den Medien. Ausschlaggebend dafür dürften zwei Gründe gewesen sein: Entscheidend war, daß die Problematisierung des Wirtschaftsstandortes Deutschland schlecht in das Bild der ungetrübten Erfolgsbilanz der Regierungskoalition in der Zeit des Wahlkampfes paßte. Hinzu kam, daß der einsetzende Aufschwung zunächst ausschließlich vom wachsenden Export getragen wurde - ein sicheres Indiz dafür, daß es so schlecht um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft nicht bestellt sein kann.

Lohnt es sich unter diesen Bedingungen noch, das Thema Standortgefährdung aufzugreifen? Dafür spricht, daß in dieser Diskussion im Grunde alle Wirtschaftsprobleme, die die ökonomische Entwicklung Deutschlands in den neunziger Jahren tangieren werden, zur Sprache kommen. Drei Fragen rücken dabei ins Zentrum:

- * Wodurch werden die aktuellen Befürchtungen um den Wirtschaftsstandort dieser ökonomisch mächtigen Bundesrepublik Deutschland genährt?
- * Wohin führt die sogenannte Standortsicherungspolitik der konservativ - liberalen Regierungskoalition?
- * Wo müßte eine alternative wirtschaftspolitische Konzeption ansetzen?

* Vortrag, gehalten im Plenum der Leibniz-Sozietät am 21. April 1994. Überarbeitete Fassung

Die Aktualität des Themas ergibt sich auch aus der Tatsache, daß das Argument der Standortgefährdung mit Sicherheit bei allen weiteren Verteilungskämpfen wieder hervorgeholt werden wird.

1. Ökonomische Hintergründe der Standortdiskussion.

Was die Beantwortung der ersten der vorgenannten Fragen betrifft, so ist es nützlich, einen Blick auf die spezifischen Merkmale der Wirtschaftskrise zu werfen, die 1993 ihren Tiefpunkt erreichte. Sie ist vierfacher Natur:

1. Es ist eine normale zyklische Überproduktionskrise, von der alle Industriestaaten, zum Teil zeitlich versetzt, erfaßt wurden.

In Westdeutschland entwickelte sich bereits 1991 der Export rückläufig, was aber durch die Sonderkonjunktur, die der ökonomische Anschluß der DDR der westdeutschen Wirtschaft brachte, mehr als kompensiert wurde. Als aber im zweiten Quartal 1992 auch die Inlandsnachfrage abbröckelte, war der Absturz unvermeidlich: Vom ersten Quartal 1992 zum ersten Quartal 1993 sank die Produktion des verarbeitenden Gewerbes in den alten Bundesländern um etwa 10%; in den Folgemonaten stagnierte die Produktion; am Ende des vierten Quartals 1993 zeigten sich, ausgelöst durch zunehmende Exportaufträge, Ansätze einer allerdings noch schwachen Belebung.

Also ein normaler Konjunkturverlauf? Dem steht entgegen, daß bereits seit den siebziger Jahren der Konjunkturzyklus eine Besonderheit aufweist: Der in der Krise bzw. in ihrem Gefolge erreichte Höhepunkt in der Zahl der Arbeitslosen wird im folgenden Aufschwung nicht mehr nennenswert abgebaut. So lag die Zahl der offiziell Arbeitslosen in der Bundesrepublik Deutschland zum Zeitpunkt der Krise 1975 bei einer Million, 1980 auf dem Höhepunkt der nachfolgenden Konjunktur waren es immer noch 900 000; 1985 waren es 2,3 Millionen - 1989 immer noch 2 Millionen Arbeitslose. Der nur geringfügige Abbau der Arbeitslosigkeit ist ein Ausdruck dafür, daß das Wirtschaftswachstum die Steigerung der Arbeitsproduktivität nicht mehr in dem Maße übertraf, daß eine annähernde Vollbeschäftigung möglich wäre.

Angesichts dieser Wirtschaftsdaten kommt auch die Bundesregierung nicht umhin, in ihrem Jahresbericht 1994 festzustellen:

"Ein von Konjunkturzyklus zu Konjunkturzyklus wachsender Sockel an Arbeitslosigkeit erscheint vielen inzwischen fast wie ein Naturgesetz."¹

Ohne einschneidende Reformen im gesamten System der Erwerbsarbeit wird dieses "Naturgesetz" auch in den neunziger Jahren nicht durchbrochen werden - bei 3,5 bis 4 Millionen offiziell Arbeitsloser fehlen heute bereits in Gesamtdeutschland ca. 6 Millionen Arbeitsplätze, ein Defizit, dessen Abbau ein dauerhaftes Wirtschaftswachstum von deutlich mehr als 3% jährlich voraussetzen würde. (Wie weit ein solches Wirtschaftswachstum unter öko-

logischen Gesichtspunkten überhaupt wünschenswert und vertretbar wäre, soll hier nicht erörtert werden).

2. Es ist eine Strukturkrise, die die zyklischen Krisen überlagert und die die Wirtschaftsentwicklung vor allem der "alten" Industrieländer nachhaltig beeinflusst.

Bereits seit den siebziger Jahren geht das Gewicht des produzierenden Gewerbes in der Wirtschaft der alten Industrieländer zurück:

*Anteil des verarbeitenden Gewerbes an den
(Zivil-)Beschäftigten² 1970 1991*

Deutschland	49,3%	31,2%
Großbritannien	43,7%	20,1%
Italien	39,5%	22,1%
Frankreich	27,5%	24,4%
Japan	27,0%	24,3%
USA	26,4%	17,5%

Man kann von der Herausbildung einer "Postindustriellen Wirtschaftsstruktur" sprechen, die um so mehr Arbeitslose hervorbringt, je weniger es gelingt, zusätzliche Arbeitsplätze in anderen Bereichen, insbesondere in den Dienstleistungen, zu schaffen. Immerhin wurden in der Bundesrepublik Deutschland in den siebziger Jahren 1,5 Millionen und in den achtziger Jahren nochmals fast 1 Million Arbeitsplätze im produzierenden Gewerbe abgebaut.

Wie die angeführten Zahlen beweisen, ist der Strukturwandel kein spezifisch deutsches Problem, aber er kann zu einem besonderen Problem des Wirtschaftsstandortes Deutschland werden: Deutschland hat im Vergleich zu den anderen Industrieländern den höchsten Anteil des verarbeitenden Gewerbes an den Gesamtbeschäftigten - dank der Tatsache, daß es "Exportweltmeister" ist, mit einem Export pro Kopf, der etwa beim zweifachen Japans bzw. dreifachen der USA liegt. Wenn die Chancen im Bereich von Wachstumsbranchen und Wachstumsmärkten nicht konsequent wahrgenommen werden, könnte der Rückgang im verarbeitenden Gewerbe ein Tempo annehmen, das zu außerordentlichen volkswirtschaftlichen und sozialen Konsequenzen führt.

Es ist in diesem Zusammenhang alarmierend, wenn das Deutsche Patentamt bei seinen Analysen wiederholt darauf hinweisen mußte, daß bei wichtigen Zukunftstechnologien die einheimischen Hersteller gegenüber der Branchenkonkurrenz aus Japan und den USA weit zurückliegen. So nennt auch die Bundesregierung im Jahreswirtschaftsbericht 1994 als Problemfeld der Politik "den drohenden Verlust der technologischen Spitzenposition, den deutsche Unternehmen im weltweiten Technologiewettbewerb auf vielen Feldern einnehmen; vor allem bei der raschen Umsetzung neuer wissen-

schaftlicher Erkenntnisse in innovative Verfahren und Produkte sind die Unternehmen ...ihrer ureigenen Verantwortung nur noch unzureichend nachgekommen."³

Zweifellos hat diese "Unternehmensschelte" ihre Berechtigung. Aber es ist auch kein Ruhmesblatt für die Wissenschaftsförderung des Staates und für die Unternehmen, wenn sich, wie in den letzten Jahren geschehen, die Forschungs- und Entwicklungsausgaben, gemessen am Bruttoinlandsprodukt, rückläufig bewegen. Schließlich sei noch vermerkt, daß sich diese reiche Bundesrepublik in ihren Bildungsausgaben je Einheit des Bruttosozialproduktes unter allen OECD-Ländern an letzter Stelle befindet.

3. Droht den Branchen im Bereich der Hochtechnologien vor allem das Zurückbleiben bei Produkt- und Technologieinnovationen, so ist es in traditionellen Branchen vor allem die Kostenkrise, die zahlreiche Unternehmen ins Aus treibt.

Daß Unternehmen, deren Produkte wesentlich billiger in "Niedriglohnländern" hergestellt werden können, der Konkurrenz weichen müssen, ist nicht neu - so sank im Industriebereich Textil/Bekleidung/Leder die Zahl der Beschäftigten in der Bundesrepublik von 1,5 Millionen im Jahre 1960 auf 0,5 Million im Jahre 1989.

In der Konkurrenz der Wirtschaftsstandorte ist insofern eine neue Lage entstanden, als nach dem Zusammenbruch des Sozialismus in Osteuropa die "Niedriglohnländer" direkt vor der Haustür liegen und der Bundesvorstand des deutschen Groß- und Außenhandels hat es ja bereits ausgerechnet: Für einen Deutschen kann man 10 Ungarn oder 17 Tschechen oder 18 Polen oder 38 Bulgaren oder 70 Russen beschäftigen. Das wird zweifellos dazu führen, daß Fertigungen und damit Arbeitsplätze ins Ausland verlagert werden.

Aber man sollte die Dimensionen dieser Prozesse auch nicht überschätzen: Die Hauptauseinandersetzungen toben zwischen den Industriemetropolen. Das sind alles "Hochlohnländer", und hier wirken die Währungsrelationen (und Währungsturbulenzen!) häufig stärker auf Gewinn oder Verlust am Weltmarkt als die konkreten Lohnstückkosten. Die Wettbewerbsfähigkeit wird in erster Linie durch die Beschaffenheit des Produktes und die Höhe der Arbeitsproduktivität bestimmt. Auch hier nennt der Jahreswirtschaftsbericht der Regierung das eigentliche Problem: Es liegt in "den Versäumnissen vieler Unternehmen, in der vergangenen zehnjährigen Wachstumsphase neue Märkte zu erschließen, ihre Produktivität durch organisatorische Maßnahmen zu erhöhen sowie Möglichkeiten zur Rationalisierung und Umschulung der Arbeitskräfte zu nutzen."⁴

Westdeutschland ist traditionell ein "Hochlohnland", dieser Nachteil im internationalen Konkurrenzkampf wird mehr als ausgeglichen durch die hohe Qualifikation der Beschäftigten, das technische Niveau der Fertigung und die

Höhe der Arbeitsproduktivität und nicht zuletzt durch die Qualität des Produktes. Für den Wirtschaftsstandort Deutschland sprechen ferner die hochentwickelte Infrastruktur, die Stabilität der Währung, der durch hohe Pro-Kopf-Umsätze gekennzeichnete Binnenmarkt und der längere Zeit vorhandene, heute jedoch punktuell gefährdete soziale Frieden in der Gesellschaft.

Die positiven Standortfaktoren schließen keineswegs aus, daß die Globalisierung der Märkte für Waren, Dienstleistungen und Kapital zahlreiche Industriezweige unter starken Druck setzt. Doch dieser Druck kann nur dann zu einer echten Gefährdung des Wirtschaftsstandortes Deutschland führen, wenn die Regierung die zielstrebige Förderung des notwendigen Strukturwandels versäumt, die sozialen Probleme aus der Massen- und Langzeitarbeitslosigkeit weiterhin negiert und durch ihre Wirtschafts- und Finanzpolitik die Stabilität der Währung, die Binnennachfrage und den sozialen Frieden in Gefahr bringt.

4. Die ökonomische Entwicklung Deutschlands wird nachhaltig durch die Krise beeinflusst, in die die Anschlußpolitik gegenüber Ostdeutschland geraten ist.

Der Anschluß der DDR brachte der westdeutschen Industrie, vor allem aber dem Handel, den Banken und Versicherungen 1990/91 eine Sonderkonjunktur mit beträchtlichen Umsätzen, Gewinnen und einer steigenden Zahl von Beschäftigten. Die Prozesse der ökonomischen Vereinigung verliefen vorrangig im Interesse des westdeutschen Großkapitals durch

- die Eroberung des ostdeutschen Marktes und die Ausschaltung potentieller Konkurrenten;
- die preisgünstige Aneignung von Immobilien und von ausbaufähigen Kapazitäten in den Branchen, in denen die Nachfrage durch westdeutsche Potentiale allein nicht befriedigt werden konnte;
- die Privatisierung von Profiten und die Verstaatlichung von Verlusten und von Umweltlasten in erster Linie über entsprechende Zahlungen der Treuhandanstalt;
- die Inanspruchnahme staatlicher Subventionen und Fördermittel für Aktivitäten im Osten Deutschlands als zusätzlicher Quelle der Kapitalersparnis.

Die Marktradikalität des wirtschaftspolitischen Kurses der Bundesregierung bei der Vereinnahmung der Wirtschaft der DDR war kaum mehr zu überbieten. Statt nach Wegen der Sanierung überlebensfähiger Betriebe zu suchen setzte die Regierung alles auf Privatisierung. So wurden drei Viertel des Industrie potentials vernichtet. Aber der Preis für die Marktradikalität fiel sehr hoch aus - allein die Finanzierung der so verursachten Massenarbeitslosigkeit erfordert gewaltige Mittel.

Die Regierung ging davon aus, die Einheit Deutschlands vor allem über eine kurzzeitige zusätzliche Verschuldung des Staates zu finanzieren. Das wurde weder den Dimensionen noch dem Zeitverlauf der für die Zerstörung der ostdeutschen Wirtschaft zu leistenden Transferzahlungen gerecht. Das Desaster dieser Finanzpolitik ist verheerend. Stieg die Staatsverschuldung von 1982 bis 1990, also in acht Jahren, um 500 Milliarden DM, so erhöhte sich die Gesamtverschuldung jetzt in vier Jahren, von 1990 bis 1994, um etwa eine Billion DM. Eine derart gigantische Neuverschuldung des Staates mußte eine Reihe von volkswirtschaftlichen Konsequenzen nach sich ziehen.

So wurde Deutschland aus einem (Netto-) Kapitalexporteur zu einem (Netto-) Kapitalimporteur. Noch 1989 übertraf der Kapitalexport den Kapitalimport um 135 Milliarden DM; in den folgenden Jahren überstieg dank der rasch zunehmenden Staatsverschuldung die Nachfrage nach Krediten die inländischen Ersparnisse, so daß die Bilanz der Kapitalbewegungen 1991 einen Importüberschuß von 20 Milliarden DM aufwies, der sich 1992 auf 100 Milliarden DM erhöhte. (1994 sank der Importüberschuß wieder auf 21 Milliarden DM - aber nur dank der Tatsache, daß im Gefolge der Zinsabschlagssteuer eine Kapitalflucht ins Ausland einsetzte, die sich in einer Größenordnung von mindestens 100 Milliarden DM bewegte.)

Die nicht zuletzt mit der Staatsverschuldung verbundene Geldmengenausweitung löste eine stärkere Preisaufriebstendenz aus. Lag die durchschnittliche Preissteigerung in den Jahren von 1988 bis 1990 bei 2,3%, so betrug die Preissteigerung von 1991 bis 1993 jahresdurchschnittlich 4,2%. 1992 und 1993 lag damit die Inflationsrate in der Bundesrepublik Deutschland erstmalig über der durchschnittlichen Inflationsrate aller OECD Länder, wie folgende Tabelle zeigt⁵:

Preisentwicklung gegenüber dem Vorjahr in Prozent

	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Bundesrepublik Deutschland	+1,4	+2,9	+2,7	+3,7	+4,7	+4,1
OECD-Länder insgesamt	+3,5	+5,2	+5,1	+5,2	+4,4	+3,7

Sowohl die Notwendigkeit, verstärkt ausländisches Kapital für die Finanzierung der Staatsschulden heranzuziehen, als auch die Bekämpfung der Inflation zwangen dazu, den Zins noch zu einer Zeit hochzuhalten, zu der er zur Bekämpfung der Konjunkturflaute hätte bereits sinken müssen. Es war vor allem die so erzwungene Zinspolitik der Deutschen Bundesbank, durch die das Europäische Währungssystem (EWS) in die Krise geriet: Die Währungen anderer Großmächte, die im Interesse der Ankurbelung der Wirtschaft ihre Zinsen senkten, gerieten unter Abwertungsdruck. (Von hier resultierte der

Vorwurf, Deutschland finanziere seine Einheit zu Lasten anderer EG-Länder).

Der hohe Kurs der D-Mark wiederum setzte die eigene Wirtschaft unter Druck, weil er den Export erschwerte und den Import begünstigte. So schmolz der Handelsbilanzüberschuß zusammen, und aus dem Plussaldo der Leistungsbilanz (als Resultante der grenzüberschreitenden Waren-, Dienstleistungs-, Geld- und Kapitalströme) von 108 Milliarden DM im Jahre 1989 wurde ein Minussaldo von 33 Milliarden DM 1991 bzw. von 40 Milliarden DM im Jahre 1992.

Die Verquickung konjunktureller und struktureller ökonomischer Probleme, die zusätzlich verschärft werden durch neue Bedingungen des Wirtschaftsstandortes nach dem Wegfall der Mauer sowie durch die Folgen der Anschließpolitik gegenüber Ostdeutschland, erschweren den Ausweg aus der Krise 1992/93 und bewirken vor allem eine neue Dimension der schlimmsten Geißel auf sozialem Gebiet, der Massen- und Langzeitarbeitslosigkeit. Selbst unter Zugrundelegung einer optimistischen Wachstumsprognose von 2,5 bis 3% jährlich ist, wie bereits gezeigt wurde, ein Abbau des erreichten Niveaus der Arbeitslosigkeit nicht zu erwarten.

2. Grundzüge des Standortkonzepts der Bundesregierung.

In dieser Situation wirbt die Regierung mit dem Motto "Sicherung des Wirtschaftsstandortes Deutschland" für eine Wirtschaftspolitik, die einseitig auf die Verbesserung der Verwertungsbedingungen des Kapitals bei gleichzeitiger Verschärfung der sozialen Probleme in diesem Land gerichtet ist. Die Eckpfeiler dieser Wirtschaftspolitik lassen sich kurz wie folgt umreißen:

1. Entlastung der Unternehmen durch Senkung der Unternehmenssteuern, Senkung, mindestens aber Stabilisierung der Sozialabgaben, Unterstützung moderater Tarifabschlüsse;
2. Konsolidierung des Haushaltes und Senkung der Staatsquote durch Sparprogramme und strikte Begrenzung bzw. Senkung von Sozialleistungen;
3. Umbau der sozialen Sicherungssysteme, um Staat und Unternehmen zu entlasten, die individuelle Verantwortung für die Vorsorge gegenüber den Risiken des Lebens zu verstärken (was faktisch einem Sozialabbau gleichkommt);
4. Deregulierung und Verstärkung des freien Wettbewerbes, was neben einer zweifellos zu begrüßenden Entbürokratisierung auch bessere Möglichkeiten schafft, für die Unternehmen lästige Rahmenbedingungen des Tarifsystems zu beseitigen und Standards des Umweltschutzes zu lockern bzw. zu unterlaufen;

5. Privatisierung staatlicher Unternehmen und Leistungen, um dem Kapital vor allem im Bereich der kommunalen Dienste neue und profitable Anlagensphären zu erschließen.

Diese Forderungen wurden auch mit dem Rückgang der Standortdiskussion nicht fallen gelassen, sondern eher noch verstärkt: Es handelt sich hierbei um Grundlinien neo-konservativer Wirtschaftspolitik, die im Grunde der Begründung durch angebliche Standortgefährdung nicht bedürfen.

Bereits in den achtziger Jahren unterschied sich die Wirtschaftspolitik der Regierung nicht wesentlich von dem neo-konservativen Grundmuster des "Thatcherismus" und der "Reagonomics" -günstige Rahmenbedingungen für die Verwertung des Kapitals zu schaffen war das Grundanliegen und so nimmt es auch nicht Wunder, daß trotz aller Klagen von Unternehmern und Politikern über angeblich zu hohe Lohnstückkosten die Stückgewinne und die Profite insgesamt wesentlich schneller gestiegen sind als die Löhne. Die Begünstigung der Kapitaleigner, der Unternehmer und der Selbständigen gegenüber den Lohnabhängigen spiegelt sich auch in der Verteilung des Volkseinkommens wider: Der Anteil der "Einkommen aus unternehmerischer Tätigkeit und Vermögen" stieg von 24% im Jahre 1980 auf 30% im Jahre 1990, während dementsprechend die Lohnquote von 76% auf 70% fiel.⁶

Da der Verteilungsspielraum in den nächsten Jahren wegen des voraussichtlich relativ schwachen Wachstums eng bleibt, die sozialen Kosten aber bei Beibehaltung der bisherigen Regelungen des Sozialstaates und der zu erwartenden raschen weiteren Polarisierung von arm und reich sprunghaft steigen werden, greift die Regierung im Interesse des Besitzstandschutzes für die Vermögenden die sozialen Sicherungssysteme an, die noch in den achtziger Jahren Tabu waren: Mit Schlagworten, wie "kollektiver Freizeitpark Deutschland", notwendiger "Umbau des Sozialstaates", "höhere Verantwortung des Einzelnen" wird der Abbau des Sozialstaates vorbereitet und eingeleitet. Aus der Sicht der neo-konservativen Regierungskoalition gibt es dafür ein sehr sachliches Argument: Bei weiter steigender Arbeitslosigkeit, Zunahme der Zahl der Sozialhilfeempfänger und der Rentner, wachsenden Kosten des Gesundheitswesens lassen sich die sozialen Sicherungssysteme nicht mehr finanzieren. Aber es geht nicht nur um die sozialen Sicherungssysteme: mit dem Verweis, daß Lohnerhöhungen Arbeitsplätze gefährden könnten werden die Gewerkschaften zur "Mäßigung" aufgefordert, obwohl die Regierung selbst prognostiziert hat, daß im Jahre 1994 einer nominellen Steigerung der Lohneinkommen um 1 bis 1,5% eine Steigerung der Einkommen aus Unternehmertätigkeit und Vermögen um 4 bis 6% gegenüberstehen könnte (die Zahlen beziehen sich auf die alten Bundesländer).⁷

Ohne sozialen und ökologischen Umbau der Gesellschaft wird es keine stabile ökonomische und politische Entwicklung geben. Hier liegen die eigentlichen Gefahrenmomente für den "Standort Deutschland", der nicht nur

"Wirtschaftsstandort" ist. Weitere Umverteilung "von unten nach oben", ökonomische und soziale Ausgrenzung eines wachsenden Teils der Bevölkerung, zunehmende Perspektivlosigkeit der Jugend - alles nach dem Motto "Weiter so Deutschland" - das verstärkt Ellbogenmentalität und soziale Kälte, zerstört moralische Werte, bildet den Nährboden für zunehmende Kriminalität und kann zu einer ernsthaften Gefahr für den demokratischen Konsens in dieser Gesellschaft werden.

Kehren wir zur Ausgangsfrage zurück: Wie gefährdet ist der Wirtschaftsstandort Deutschland?

Wenn man den Neo-Konservativen glauben würde, dann wären zu hohes Lohnniveau, zu kurze Arbeitszeit und zu großzügige soziale Sicherungen für die lohnabhängig Beschäftigten die Hauptursachen für hohe Arbeitslosigkeit und für ungenügende Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Aber dieser Behauptung widersprechen die internationalen Wirtschaftsdaten: Die Arbeitslosenquote bewegt sich im Vergleich der europäischen Länder trotz des strukturellen Umbruchs in Ostdeutschland im unteren Bereich, wie z.B. die Zahlen von 1993 zeigen⁸:

Arbeitslose in % aller Erwerbspersonen

Deutschland	8,9
Frankreich	11,7
Großbritannien	10,3
Italien	11,6
Spanien	22,7

Die ökonomischen Probleme, vor allem der Strukturwandel und die hohe Arbeitslosigkeit, sind also keineswegs "hausgemacht", spezifisch für den "Wirtschaftsstandort Deutschland". Ihnen ist auch nicht mit nationaler "wirtschaftlicher Aufrüstung" und "Export der Arbeitslosigkeit" durch bessere Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Industrie beizukommen. Den Herausforderungen, die durch den radikalen Wandel der Verwertungsbedingungen des Kapitals im "nachindustriellen Zeitalter" (manche sprechen auch von "Postfordismus" oder "Toyotismus") ausgelöst werden, könnte nur mit einer international abgestimmten Wirtschafts-, Sozial- und Umweltpolitik begegnet werden, die auf ein "nachhaltiges Wirtschaftswachstum", auf ökonomischen und sozialen Ausgleich setzt.

Das Kapital nutzt die Möglichkeiten zusammenwachsender Märkte, um den Druck auf Löhne und Sozialleistungen zu verstärken und notwendige Regelungen zum Umweltschutz zu umgehen. Es ist sicher kein Zufall, daß bei den GATT - Verhandlungen viel von freiem Verkehr von Waren, Dienstleistungen und Kapital die Rede war, über Sozial- und Umweltstandards, über eine gerechte Weltwirtschaftsordnung aber kaum gesprochen wurde. Nach dem neo-konservativen Wirtschaftsverständnis gilt es, die Kräfte des

freien Wettbewerbes, die Marktradikalität zu verstärken - der Staat soll sich entsprechend dem Motto: "weniger Staat, mehr Markt", aus der Wirtschaft und vor allem aus der sozialen Verantwortung zurückziehen.

Aber das Kapital ist weltweit immer weniger in der Lage, den Menschen die Möglichkeit der Existenzsicherung auf der Grundlage eigener Arbeit zu geben. Statt in neue Arbeitsplätze zu investieren, deren Aussichten auf Profit unsicher sind, wird ein wachsender Teil des Kapitals in Schuldverschreibungen und Finanztiteln angelegt, die einen relativ sicheren Kapitalertrag versprechen. Gewaltige Kapitalmengen fließen in die Finanzspekulation ("Kasino-Kapitalismus"): 1993 betrug der tägliche Umsatz an den internationalen Devisenbörsen etwa eine Billion Dollar - daß das mit internationalem Handel nur wenig (der Jahresumsatz des Welthandels beträgt etwa 3,7 Billionen Dollar, wäre also mit noch nicht einmal vier Tagesumsätzen der Devisenbörsen zu finanzieren), mit internationaler Währungsspekulation aber sehr viel zu tun hat, liegt auf der Hand. Dieser "Kasino-Kapitalismus" ist beredter Ausdruck dafür, daß das bishrige Modell der Kapitalakkumulation immer weniger funktioniert, der marktwirtschaftliche Regulierungsmechanismus in eine tiefe Krise geraten ist und die Lage auf dem Arbeitsmarkt weltweit immer prekärer wird.

3. Alternativen zum Regierungskonzept

Das offizielle Standortkonzept der Bundesregierung geht an allen wesentlichen Herausforderungen der neunziger Jahre vorbei. Fortschrittsprozesse werden blockiert und auf zukunftsentscheidenden Gebieten Fehlentwicklungen eingeleitet bzw. fortgeführt. Ja noch mehr: Das Ignorieren dieser Herausforderungen ruft langfristig Tendenzen der Zerstörung der natürlichen, sozial-kulturellen aber auch der ökonomischen Grundlagen der Gesellschaft hervor.

Die Kritik am Standortkonzept, die zugleich Anforderungen für alternative Wege zur Problemlösung sichtbar macht, kann in folgenden Punkten zusammengefaßt werden:

1. Es enthält keinen realen Ansatz zur Lösung des größten sozialen Problems der Gegenwart und nächsten Zukunft, der Massen- und Dauerarbeitslosigkeit sowie der darauf beruhenden Ausbreitung der Armut und der Erosion der Sozialsysteme in einem der reichsten Länder der Welt. Die Probleme von mehr als sechs Millionen Menschen ohne reguläre Erwerbsarbeit finden in diesem Konzept keinen adäquaten Platz. Die soziale Schieflage und Ungerechtigkeit der Verteilung von Lebenschancen, Arbeit, Vermögen und Einkommen werden unangetastet gelassen, ja sogar noch ausgeweitet und zementiert.
2. Es ist im Kern ein nationalistisches Konzept, mit dessen Hilfe versucht wird, wirtschaftliche Probleme Deutschlands auf Kosten anderer Länder zu

lösen. Arbeitsplätze sollen durch eine forcierte Ausweitung des Exports, durch Verdrängung von Konkurrenten, d.h. durch Vernichtung von Arbeitsplätzen irgendwo anders geschaffen werden. Anstelle gemeinsamer Anstrengungen zur Bekämpfung der Arbeitslosigkeit in Europa und zur Durchsetzung notwendiger sozialer Standards in allen Ländern der Europäischen Union durch eine Sozialunion, stellt die Bundesregierung die Weichen in Richtung Deregulierung, Lohn- und Sozialdumping. Das Standortkonzept ist darauf gerichtet, die Vormachtstellung Deutschlands in der Europäischen Union und in ganz Europa auszubauen.

3. Es ist zu eng und nur auf den Wirtschaftsstandort Deutschland gerichtet, während es im Kern um eine solche Wirtschaftsentwicklung gehen muß, die darauf gerichtet ist, den Lebens-, Arbeits- und Umweltstandort Deutschland zu erhalten. Eine wirkliche Zukunftssicherung wird es nur im Zusammenhang und in enger Verflechtung von Wirtschaft, Wissenschaft, Arbeit, Umwelt und Lebensweise geben.

4. Es zielt im wesentlichen darauf ab, Symptome der gegenwärtigen wirtschaftlichen und sozialen Probleme anzugehen und nicht die eigentlichen diesen Problemen zugrundeliegenden Ursachen. So soll die Stabilisierung der öffentlichen Haushalte nach dem Regierungskonzept vor allem durch Kürzung der Sozialleistungen erfolgen. Die Hauptursachen für die eskalierende Staatsverschuldung, die weiter zunehmende Massenarbeitslosigkeit (allein die Gesamtbelastungen der öffentlichen Haushalte infolge Arbeitslosigkeit betragen 1993 nach Berechnungen des Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 116 Mrd. DM), die Deindustrialisierung Ostdeutschlands und die Schwächung der produktiven Akkumulation zu Gunsten spekulativer Geldanlagen werden absolut stiefmütterlich behandelt.

Hierin zeigt sich auch ein Grundproblem des Standortkonzeptes und der gesamten neokonservativen Regierungspolitik: Problemanalyse und Therapievorschlage erfolgen fast ausschließlich mit dem Ziel, die Verwertungsbedingungen des Einzelkapitals zu verbessern, volkswirtschaftliche und gesamtgesellschaftliche Wirkungen werden weitgehend außen vor gelassen. So werden z.B. die Löhne nur als Kostenfaktor und nicht als eine für die Kaufkraft und damit für die Absatzchancen und auch für die Profitrate des Gesamtkapitals entscheidende GröÙe betrachtet.

5. Das Standortkonzept ist nur auf marktwirtschaftliche, d.h. auf weitgehend kurzfristige Resultate gerichtet. Es ist daher auch kurzatmig und enthält kaum perspektivische Vorstellungen für eine grundsätzliche Lösung der Probleme. Das gilt für alle wichtigen Fragen, von der Massenarbeitslosigkeit bis zur Weichenstellung für den Übergang zu einer neuen Qualität nachhaltiger, zukunftsorientierter, die Umwelt erhaltender Wirtschaftsentwicklung.

Als Folge dieser essentiellen Mängel führt das Standortkonzept zu Sackgassen und Blockierungen auf faktisch allen wichtigen Gebieten:

Soziale Sackgasse infolge eines auch nach der Überwindung der Krise unerträglich hohen Sockels der Massenarbeitslosigkeit und einer zunehmenden sozialen Polarisierung. Der Sozialstaat wird zunehmend abgebaut, ausgehöhlt. Es besteht die reale Gefahr, daß er nach dem Beispiel der USA weitgehend liquidiert wird, ein großer, zunehmender Teil der Gesellschaft nicht nur dauerhaft ausgegrenzt wird, sondern auch immer mehr sich selbst überlassen bleibt. Eine Politik, die steigende Massenarbeitslosigkeit tatenlos hinnimmt, kann auch den Sozialstaat nicht verteidigen. Sie kann als eine soziale Selbsterstörungsstrategie gekennzeichnet werden.

Ökologische Sackgasse, weil eine auf hohe Zuwachsraten des Bruttosozialproduktes gerichtete Wirtschaftspolitik fortgesetzt wird, die keine Weichenstellung in Richtung auf einen ökologischen Umbau und eine nachhaltige Entwicklung enthält, die Potentiale der natürlichen Umwelt zunehmend belastet und zerstört.

Ökonomische und haushaltspolitische Sackgasse vor allem infolge der weiter anwachsenden und die wirtschaftlichen und finanziellen Kreisläufe zunehmend belastenden ökologischen und sozialen Folgekosten einer überholten Art und Weise des Wirtschaftens. Die sprunghaft steigenden ökologischen und sozialen Reparatur- und Korrekturkosten, die beim Ausweis des Bruttosozialproduktes (BSP) unberücksichtigt bleiben, führen in der Konsequenz dazu, daß das real für Wohlstandsverbesserung und für die Zukunftsvorsorge einsetzbare ökonomische Potential schrumpft und die Belastungen zukünftiger Generationen unverantwortlich ansteigen. Bei dem für die neunziger Jahre vorausgesagten Wachstum des Bruttosozialproduktes von rd. 2% jährlich wird das real für die Bedürfnisbefriedigung nutzbare Produktionspotential kaum größer werden.

Entwicklungs- und europapolitische Sackgasse, da die Nord- Süd- Problematik sowie die ökonomische und soziale Spaltung Europas in dem Standortkonzept faktisch unberücksichtigt bleiben. Die tiefen Entwicklungsklüfte zwischen Nord und Süd, zwischen West- und Osteuropa, die sich weiter vergrößern, sowie die darin enthaltenen Probleme und Konfliktpotentiale bedrohen die Zukunft der gesamten Menschheit.

All dies unterstreicht die Dringlichkeit einer echten Alternative zum Standortkonzept der Bundesregierung. Worauf müßte sie gerichtet sein? Geht es um eine andere Vorstellung, wie der Wirtschaftsstandort gesichert werden sollte, oder geht es nicht um weit mehr, wie eine lebenswerte Perspektive für die Menschen in Deutschland als Teil Europas und der ganzen Welt erreicht werden könnte?

Sicher ist es notwendig, dem Konzept der Regierung, das im Kern eine Politik zur Senkung von Löhnen und Sozialleistungen ist, andere Vorschläge entgegenzustellen um die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft zu sichern und zu verbessern. Hierzu gehören eine neue Forschungs- und Technologiepoli-

tik, um die Innovationsfähigkeit der Wirtschaft zu stärken, eine zukunftsorientierte Struktur- und Investitionspolitik, um die notwendigen strukturellen Anpassungsprobleme rascher zu bewältigen, Veränderungen im System der Bildung und Förderung eines lebenslangen Lernens, um auf die neuen Anforderungen vorbereitet zu sein.

Aber auch eine solche primär auf bessere Wettbewerbsfähigkeit abgehobene Alternative ist zu eng. Müßten nicht alternative Überlegungen von anderen Zielvorstellungen ausgehen?

Ausgangspunkt darf nicht die Stärkung der Konkurrenzposition des deutschen Kapitals im Interesse höchster Profite sein, sondern vielmehr die Gestaltung einer solchen Wirtschaft, die auf die Zukunftssicherung von Leben, Arbeit und Umwelt, auf eine gerechtere Weltwirtschaftsordnung sowie auf ein neues Europa, das alle europäischen Völker umfaßt, gerichtet ist. Ein solches Herangehen erscheint auch deshalb angebracht, weil der gegenwärtigen Standortdiskussion letzten Endes tiefe, fundamentale Krisenprozesse in der Politik, der Wirtschaft und dem Sozialsystem in der modernen kapitalistischen Gesellschaft zugrunde liegen. Alternativen sollten daher auch Wege zeigen, wie diese Bereiche reorganisiert, neu gestaltet werden könnten.

Ist jedoch eine solche Alternative auch real? Ist sie unter den Verhältnissen einer kapitalistischen Marktwirtschaft nur wünschenswert sowie für die Existenz und Fortentwicklung der Menschheit notwendig, oder ist sie auch durchsetzbar, kann sie zur Wirklichkeit werden?

Auf diese Frage kann u.E. heute noch keine definitive Antwort gegeben werden. Auf jeden Fall setzt eine solche Alternative voraus, die Dominanz des Profitprinzips zurückzudrängen. Dies ist wiederum nur mit Änderungen im politischen Kräfteverhältnis und tiefgreifenden gesellschaftlichen Reformen denkbar. Ein solches alternatives Konzept würde jedoch auch selbst ein Beitrag sein, um notwendige Veränderungen im Kräfteverhältnis und die Aussichten auf eine gesellschaftliche Reformpolitik, die schließlich in einem neuen Gesellschaftsvertrag münden könnte, zu befördern. Die Frage nach der Realität einer solchen Alternative, nach den gesellschaftlichen Kräften, die solche Veränderungen durchsetzen könnten, und den hierfür notwendigen Bedingungen, wird noch für längere Zeit heftig umstritten bleiben.

Worin könnten die Eckpfeiler einer solchen Alternative bestehen?

Das Regierungskonzept setzt auf Wachstum und Lohnkostensenkung um die Verwertungsbedingungen des deutschen Kapitals zu verbessern. Im Gegensatz dazu müßte eine Alternative von den neuen Herausforderungen der Menschheit ausgehen, d.h. auf eine Wirtschaftsentwicklung gerichtet sein, die dazu beiträgt, das Menschenrecht auf Arbeit zu verwirklichen, die

Umweltzerstörung aufzuhalten, den Ländern der "Dritten Welt" und Osteuropas Entwicklungsperspektiven zu eröffnen sowie die ökonomischen und sozialen Grundlagen für kriegerische Konflikte zu beseitigen.

Eine Schlüsselfrage für eine solche Alternative ist: wie können die allgegenwärtigen Blockierungen für die Lösung der aufgestauten Probleme aufgebrochen werden, wie können Sackgassen in Wege umgewandelt werden, die zwar Hindernisse und Überraschungen aufweisen, die aber weiterführen? Die Antwort hierauf kann nur ein in seinen Dimensionen, seiner Qualität sowie seinem Problem- und Zeitdruck historisch einmaliger Such- und Umbruchprozeß geben, in dessen Ergebnis sich wesentliche Seiten von Produktion, Arbeit und Leben, d.h. der Daseins- und Entwicklungsformen der Gesellschaft, sehr weitgehend verändern müssen. Geschieht das nicht oder zu spät, werden die selbstzerstörerischen Krisenprozesse zunehmen.

Alle bisherigen Erfahrungen zeigen, daß es keinen einfachen Königsweg zur Lösung der Probleme gibt. Auch die beste Alternative wird konfliktreich sein, Widersprüche aufweisen und ist nur schrittweise über einen längeren Zeitraum zu verwirklichen. Die Überwindung von Massenarbeitslosigkeit und gewiß noch mehr der Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung und ein spürbarer Abbau der Entwicklungskluft zwischen Nord und Süd sind nicht innerhalb einer kurzen Zeitspanne möglich. Sie setzen voraus, daß neue, den Problemen adäquate wirtschaftspolitische, soziale und ökologische Ansätze, Methoden und Instrumente entwickelt und miteinander kombiniert werden. Das wiederum erfordert einen neuen gesellschaftlicher Konsens zwischen den Akteuren der wirtschaftlichen Entwicklung darüber, daß die Lösung dieser Probleme vordringlich ist. Veränderungen in der Werteskala und in den Verhaltensweisen sind unabdingbar.

Kleinere Korrekturen an der bisherigen Wirtschaftspolitik werden nicht ausreichen, um den neuen Herausforderungen gerecht zu werden. Gerade hier und heute ist die Bereitschaft zu neuem Denken gefordert. Die Gefahr nimmt zu, daß wir infolge zu langer Reaktionszeiten vom Auftreten der Probleme über ihr Erkennen bis zur Bereitschaft und Fähigkeit zu entsprechenden Änderungen im Verhalten und Handeln, die uns noch zur Verfügung stehende Zeit unnütz verstreichen lassen.

Eine Alternative zum Standortkonzept der Regierung muß notwendigerweise von anderen Fragestellungen und Prioritäten ausgehen: Aus dem Ziel, die Verwertungsbedingungen des deutschen Kapitals im internationalen Konkurrenzkampf zu verbessern, ergeben sich zwangsläufig andere Konsequenzen für Wachstum, Export und Einkommensverteilung als aus einem alternativen Konzept, das von den Zielen Überwindung von Massenarbeitslosigkeit, soziale Sicherheit und nachhaltige Wirtschaftsentwicklung ausgeht.

Aber die Bestimmung der Ziele und Prioritäten ist auch deshalb so wichtig, weil davon die konkreten Wege und Methoden, die Richtung und der

Charakter der staatlichen Einflußnahme auf die Wirtschaft abhängen: Eine alternative Wirtschaftsentwicklung erfordert auch eine andere Art und Weise der Steuerung und Kontrolle der Wirtschaftsentwicklung, eine Verstärkung der gesellschaftlichen gegenüber der rein marktwirtschaftlichen Regulierung wird unabdingbar.

Überwindung der Massenarbeitslosigkeit und ökologischer Umbau der Wirtschaft zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung sind die zentralen Probleme einer Alternative zum Standortkonzept der Regierung. Da es im Rahmen des Vortrages nicht möglich ist, ein alternatives Konzept in extenso darzulegen, beschränken wir uns im nachfolgenden auf eine Frage - die Überwindung der Massenarbeitslosigkeit. Hier liegt der wichtigste Ansatz, um der sozialen und letzten Endes auch ökonomischen Selbsterstörungsstrategie in den modernen Industriestaaten entgegenzuwirken.

Für die Entwicklung einer Politik der Vollbeschäftigung sind u. E. zwei Ausgangsthesen von entscheidender Bedeutung:

1. Der Gesellschaft geht nicht die Arbeit aus, sondern Arbeit ist "nur" im Verhältnis zu den Verwertungsbedürfnissen des Kapitals überflüssig. Das Brachliegen eines gewaltigen produktiven, schöpferischen Potentials geht damit einher, daß dringend notwendige Arbeiten in sozial- kulturellen Bereichen, beim Umweltschutz, bei der Stadtanierung und in der Infrastruktur nicht durchgeführt werden. Es ist auch nicht einzusehen, warum bei einem gegebenen Umfang der Erwerbsarbeit nur eine Verteilung der Arbeit derart möglich sein soll, daß ein Teil der Arbeitsfähigen sich überarbeiten muß, während ein anderer Teil zur Nichtarbeit gezwungen wird.

2. Eine Überwindung der Massenarbeitslosigkeit allein mit Hilfe der Marktkräfte wird nicht möglich sein. Staatliche Eingriffe sind unerlässlich, jedoch nicht zur Beseitigung des Marktes, sondern zur Eindämmung der ihm immanenten unsozialen und umweltschädlichen Wirkungen, zur Ergänzung der marktwirtschaftlichen Regulierung durch eine aktive gesellschaftliche Einflußnahme auf das Wirtschaftsgeschehen. Je höher die Massenarbeitslosigkeit, desto dringlicher sind gesellschaftliche, heute vor allem staatliche Eingriffe. Je größer wiederum die Rolle einer aktiven staatlichen Struktur- und Beschäftigungspolitik ist, desto wichtiger wird die Demokratisierung dieser Wirtschaftspolitik auf allen Ebenen, von den Kommunen und Regionen bis zu den Institutionen der Europäischen Union.

Spürbare Fortschritte bei der Bekämpfung der Massenarbeitslosigkeit wird es nur geben, wenn es gelingt, einen gesellschaftlichen Konsens darüber zu erzielen, daß diese Aufgabe von höchster politischer und sozialer Priorität für die gesamte Bevölkerung ist. Ein solcher gesellschaftlicher Konsens bildet die Voraussetzung u. a. für eine Neubewertung und Neuverteilung der bezahlten und der bisher unbezahlten sogenannten Reproduktionsarbeit (z. B. Kindererziehung, Arbeit zur häuslichen Pflege von Menschen mit Behinderung,

kranker und älterer Menschen) und für eine konsequente Orientierung sozialstaatlicher Regelungen auf die Schaffung neuer und die Erhaltung vorhandener Arbeitsplätze (z.B. durch eine soziale Flankierung von Teilzeitarbeit, durch zeitweilige Lohnsubventionen bei weitgehender Arbeitszeitverkürzung, durch eine enge Verknüpfung ökologisch oder aus der Konversion der Rüstungsindustrie notwendiger Produktionseinstellungen oder -einschränkungen mit Maßnahmen zur Schaffung neuer Arbeitsplätze).

Die Bedingungen für eine Vollbeschäftigung sind zum Ende dieses Jahrhunderts wesentlich komplizierter geworden: Das Wirtschaftswachstum wird kaum dazu beitragen, neue Arbeitsplätze zu schaffen. Der Dienstleistungsbereich wird nicht mehr so, wie in den siebziger und achtziger Jahren, aus dem produzierenden Bereich freigesetzte Arbeitskräfte aufnehmen. Aus all dem folgt, daß die Überwindung der Massenarbeitslosigkeit sehr langwierig und kompliziert sein wird, daß es nicht *den* erfolgversprechenden Weg gibt. Fortschritte sind nur von einer Kombination verschiedener Elemente und Instrumente einer aktiven Beschäftigungspolitik zu erwarten. Jedes dieser Elemente kann für sich allein die Arbeitslosenproblematik nicht lösen, ist jedoch dafür unverzichtbar. Bestandteile einer solchen aktiven Beschäftigungspolitik könnten sein:

- *Arbeitszeitverkürzung zur gerechten Verteilung der vorhandenen Erwerbsarbeit.* Hierüber ist wieder ein heftiger Streit entbrannt. Er entzündet sich vor allem an dem Modell von VW zur Einführung der Viertagewoche und an den Vorschlägen, die Teilzeitarbeit zu erweitern. Sicher gibt es berechtigte Einwände zu diesen und anderen Projekten. Die Arbeitszeitverkürzung ist auch kein Allheilmittel um zur Vollbeschäftigung zu kommen. Aber ohne sie kann und wird es unter den heutigen und zukünftigen Bedingungen nicht möglich sein, die Massenarbeitslosigkeit zu überwinden. Dabei gilt es die vielen differenzierten Möglichkeiten der Reduzierung der tatsächlich gearbeiteten Zeit zu nutzen wie Abbau von Überstunden (jährlich werden etwa 1,6 Milliarden Überstunden geleistet, das entspricht dem Arbeitsvolumen von 800 000 Beschäftigten), Verringerung der wöchentlichen und Lebensarbeitszeit, Weiterbildung und Qualifizierung innerhalb der Arbeitszeit, flexible Gestaltung des Arbeitszeitregimes u.a.m.

Unter Berücksichtigung der Produktivitäts- oder besser der Intensitätseffekte einer kürzeren Arbeitszeit könnte man davon ausgehen, daß 50% der Arbeitszeitverkürzung beschäftigungswirksam werden. Danach würden je Stunde Arbeitszeitverkürzung im gesamtwirtschaftlichen Maßstab rund 400 000 Arbeitsplätze geschaffen werden können. Bei Einführung einer 30 Stunden Woche wären dies rund 3 - 3,5 Millionen Arbeitsplätze.

Hierbei spielen zwei politisch-soziale Probleme eine zentrale Rolle: Die Erweiterung der demokratischen Mitbestimmung, um zu verhindern, daß Arbeitszeitverkürzung, flexible Arbeitszeitgestaltung und Erweiterung der

Teilzeitbeschäftigung gegen die Interessen der Betroffenen durchgesetzt werden; Regelungen zum Lohnausgleich und zur sozialen Sicherung (Höhe des Arbeitslosengeldes und der Rente), damit keine einschneidenden Verschlechterungen der Lebensbedingungen eintreten.

- *Neubewertung und Umverteilung der Arbeit, um das Feld der Erwerbsarbeit zu erweitern.* Ausgehend von dem dringenden, unbefriedigten Bedarf auf solchen Gebieten, wie Pflege und soziale Betreuung, Aus- und Weiterbildung, Kultur, Umwelt- und Stadtsanierung könnten Arbeitsplätze für mindestens 2 Millionen Menschen geschaffen werden. Warum entstehen solche Arbeitsplätze nicht, sondern werden zum Teil noch wider aller Vernunft sogar reduziert? Der Grund ist einfach, entweder rentieren sie sich nicht nach marktwirtschaftlichen Kriterien oder sie können bei höheren Tarifen von den meisten Menschen kaum bezahlt werden. Ein Weg, um diese Widersprüche zu lösen, könnte im Auf- und Ausbau eines öffentlich geförderten und zumindest teilweise auch öffentlich finanzierten Beschäftigungssektors liegen. Dieser müßte sich jedoch grundsätzlich von den ABM-Stellen des zweiten Arbeitsmarktes unterscheiden. Diskriminierungen wie zeitliche Befristung auf ein Jahr, untertarifliche Bezahlung, dürften nicht zugelassen werden. Ein öffentlich geförderter Beschäftigungssektor müßte auch perspektivisch einen bedeutenden Platz im Rahmen einer aktiven Beschäftigungspolitik einnehmen. Ihm könnte auch eine wichtige Funktion zukommen, um besonders im Osten Deutschlands Arbeitsplätze in Wissenschaft und Forschung zu schaffen.

Natürlich sind hierfür beträchtliche finanzielle Mittel erforderlich. Bei der Bewertung ihrer Höhe muß berücksichtigt werden, daß sonst auftretende finanzielle Aufwendungen für Arbeitslose entfallen. Mehr als 50% der Mittel je Beschäftigten könnten hieraus gedeckt werden. Im Unterschied zur Finanzierung von Arbeitslosigkeit werden ja auch nützliche Leistungen erbracht. Die Kommunen müßten bei der Herausbildung dieses öffentlichen Sektors eine wichtige Rolle spielen. Das setzt wiederum voraus, hier die notwendigen finanziellen Voraussetzungen zu schaffen.

- *Eine Wirtschafts-, Struktur- und Technologiepolitik die dazu beiträgt, wirtschaftliche Dynamik und notwendige Strukturveränderungen zu fördern, um wettbewerbsfähige Arbeitsplätze zu erhalten und neue zu schaffen.* Wirtschaftswachstum wird zwar in Zukunft im volkswirtschaftlichen Maßstab die Zahl der Arbeitsplätze kaum erweitern, ein Produktionsrückgang oder wirtschaftliche Stagnation würden jedoch bewirken, daß die Zahl der Arbeitsplätze noch stärker zurückgeht. Es geht u.E. nicht darum, Wirtschaftswachstum aus ökologischen Gründen zu verhindern, sondern um eine solche Änderung der Qualität des Wirtschaftens, daß die natürlichen Bedingungen langfristig erhalten und möglichst verbessert werden.

Die zugespitzten Probleme der Massenarbeitslosigkeit und der Ökologie verlangen eine aktive regionale und sektorale Struktur- und Beschäftigungspolitik. Sie ist notwendig, um solche Innovations- und Strukturprozesse zu fördern, die die veränderten Wettbewerbsbedingungen im weltwirtschaftlichen und europäischen Maßstab berücksichtigen sowie gleichzeitig Fortschritte beim ökologischen Umbau und bei der Schaffung neuer Arbeitsplätze gestatten.

Eine aktive Struktur- und Beschäftigungspolitik ist angesichts der weitgehenden Entindustrialisierung und Liquidierung von Wissenschafts- und Forschungskapazitäten für die neuen Bundesländer besonders wichtig. Ein Schritt in diese Richtung ist die Ausarbeitung struktur- und beschäftigungspolitischer Programme für die neuen Bundesländer und ihre Regionen. Die Lösung dieser Aufgaben im Interesse der Menschen setzt neben einer Regionalisierung der Wirtschaftspolitik voraus, daß die demokratische Mitbestimmung nicht nur auf der Ebene der Unternehmen und Betriebe erweitert wird, sondern viel stärker auch die Länder, Regionen und Kommunen umfaßt.

Die Struktur- und Beschäftigungspolitik kann nicht auf den nationalen Rahmen des Landes beschränkt bleiben, sondern verlangt vielmehr eine internationale Koordinierung wesentlicher Elemente der Wirtschaftspolitik. Damit müßte zugleich der Tendenz entgegengewirkt werden, daß ein Land versucht, seine Probleme auf Kosten anderer zu lösen.

- Veränderungen in der Haushalts- und Steuerpolitik, um die Bedingungen für eine aktive Beschäftigungspolitik herauszubilden, mit der im Verlauf der neunziger Jahre mehrere Millionen Arbeitsplätze geschaffen werden könnten. Beträchtliche Mittel sind notwendig für Investitionen zur Schaffung neuer Arbeitsplätze, für die Finanzierung des öffentlichen Beschäftigungssektors sowie für eine flankierende Sozialpolitik bei radikaler Arbeitszeitverkürzung. Nach überschlägigen Rechnungen wären hierfür mindestens zusätzlich 80 bis 100 Milliarden DM jährlich notwendig. Wesentliche Voraussetzungen zur Finanzierung dieser Vorschläge werden durch den Selbstfinanzierungseffekt einer höheren Beschäftigung geschaffen: eine Million weniger Arbeitslose entlasten die öffentlichen Haushalte um rund 30 Milliarden DM. Eine dringend notwendige Reformierung des Steuersystems in Richtung einer stärkeren Belastung der höheren Einkommen, größeren Vermögen, von Geldanlagen und Spekulationsgewinnen sowie ein konsequentes Vorgehen gegen Steuerhinterziehung könnte nicht nur finanzielle Mittel für die Schaffung von Arbeitsplätzen bringen, sondern auch Mittel für die Lösung anderer sozialpolitischer Aufgaben sichern.

* * * * *

Inwieweit eine Alternative, die Vollbeschäftigung, nachhaltige Wirtschaftsentwicklung sowie eine neue, gerechte Weltwirtschaftsordnung zum Ziel hat,

nur eine Vision bleibt oder durch hart erkämpfte gesellschaftliche Reformen zur Realität werden kann, gehört zu den offenen Fragen unserer Zeit. Wenn sie negativ beantwortet wird steht jedoch der weitere gesellschaftliche Fortschritt, ja die Existenz der menschlichen Gesellschaft überhaupt auf dem Spiel.

Fußnotenverzeichnis

- ¹ Jahreswirtschaftsbericht 1994 der Bundesregierung. Herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft, Seite 304) Jahreswirtschaftsbericht 1994, Seite 29
- ² "Wirtschaftswoche" Nr.6/ 1994, Seite 35
- ³ Jahreswirtschaftsbericht 1994, Seite 29
- ⁴ Ebenda, Seite 29
- ⁵ Jahreswirtschaftsbericht 1993, Seite 102; Jahreswirtschaftsbericht 1994, Seite 106
- ⁶ Wirtschaft in Zahlen 93. Herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft, Seite 22
- ⁷ Jahreswirtschaftsbericht 1994, Seite 127. Die tatsächlich 1994 erreichten Werte übertrafen die Prognose der Bundesregierung um das Doppelte zugunsten der Einkommen aus Unternehmertätigkeit und Vermögen: Bruttoeinkommen aus unselbständiger Arbeit - + 1,1%, Bruttoeinkommen aus Unternehmertätigkeit und Vermögen - + 9,1%
- ⁸ Ebenda Seite 106

Literatur

Bericht der Bundesregierung zur Zukunftssicherung des Standortes Deutschland. Herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft Bonn

Arbeitsgruppe Alternative Wirtschaftspolitik. Memorandum 94: Wirtschaftsreformen statt Standortparolen. Köln 1994

Bischoff, J.: Wirtschaftsstandort Deutschland. Sozialismus Heft 7/8 1993 Hamburg

Friedrich, G., Knop, H.; Steinitz, K.: Eine neue Rolle des Staates in der Wirtschaft? Beiträge zur Wirtschaftspolitik 3/94 Berlin

Hickel, R.; Prieue, J.: Nach dem Fehlstart - ökonomische Perspektiven der deutschen Einigung. Frankfurt a.Main 1994

Scharping, R.: Was jetzt zu tun ist. München 1994

Steinitz, K.: Massenarbeitslosigkeit - das soziale Grundübel moderner Industriegesellschaften. Utopie kreativ Heft 32/33 - 1993 Berlin

Wittig, G. u.a.: Argumente zur Standortdiskussion. Sozialismus Heft 11 1993 Hamburg

MITTEILUNGEN
DER
LEIBNIZ-SOZIETÄT

11/11/2023

11/11/2023

-

Rezensionen

Theoretical Meteorology, Weather Prediction, Cosmology and General Applications - Selected scientific papers by Hans Ertel. Compiled and edited by W. Schröder and H.-J. Treder. Interdivisional commission on history of IAGA. Bremen-Rönnebeck, Germany 1995.

Die Veröffentlichung ist ausgewählten Bereichen des Lebenswerks von Hans Ertel (1904 - 1971) gewidmet und kann auch als eine Fortsetzung einer Veröffentlichung (1993) der gleichen Herausgeber und der gleichen Kommission der IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) von ausgewählten Vorträgen eines "IAGA Symposium to commemorate the 50th anniversary of Ertel's potential vorticity" unter dem Titel "Theoretical concepts and observational implications in meteorology and geophysics" gewertet werden.

Sie enthält im wesentlichen zwei wissenschaftshistorische Beiträge, die erstens das Wirken Hans Ertels bei der Entwicklung von theoretischen Grundlagen der Wettervorhersage und zweitens seine Beiträge zur relativistischen Kosmologie in den ideengeschichtlichen Zusammenhang stellen. Der erste Beitrag stammt von K. Bernhardt, der zweite von H.-J. Treder und W. Schröder. Dankenswerterweise sind Abdrucke der Originalarbeiten von Hans Ertel, die im Vordergrund der Analysen der beiden Beiträge stehen, sozusagen als die historischen Quellen in das 156 Seiten umfassende Bändchen mit aufgenommen worden. Das erleichtert dem Leser das kritische Nachvollziehen der Aussagen der beiden Analysen. Das wird allerdings durch einige formelle redaktionelle Schwächen, die hauptsächlich den zweiten Teil betreffen, etwas beeinträchtigt.

K. Bernhardt hat bei seinen Bemühungen, die Tätigkeit im Rahmen der Entwicklung der Meteorologie anschaulich darzustellen, besonders herausgearbeitet, daß drei Veröffentlichungen Ertels zur Vorhersagbarkeit des Wetters (aus den Jahren 1941 bis 1948) die logische Fortsetzung von drei Arbeiten Ertels zu einer advektiv-dynamischen Theorie der Druckschwankungen und zur Ableitung neuer Formen der atmosphärischen Bewegungsgleichungen (aus dem Zeitraum 1936 bis 1941) sind. Wesentlich war hierbei, daß er die Bedeutung der Randwerte (und damit die Bedeutung von Ungenauigkeiten der Kenntnis der Randwerte) für die Wettervorhersage hervorhebt. Hieraus folgte auch Ertels Schluß, daß eine exakte Wettervorhersage für ein begrenztes Gebiet der Erdoberfläche (auch wenn die Anfangswerte exakt bekannt wären) grundsätzlich nicht möglich ist. Die Ausführungen K. Bernhardts machen den Beitrag sehr deutlich, den Ertel zu den Bemühungen, die Meteorologie zu einer exakten Wissenschaft zu entwickeln, geleistet hat. Es

wird zugleich auch hervorgehoben, daß Ertel aus seinen theoretischen Erwägungen unverzüglich eine Reihe praktischer Ratschläge für die Praxis der Wetterdienste ableitete, z. B. empfahl er, "das 'Diagnosegebiet' so zu wählen, daß es möglichst nach allen Seiten hin größer ist als das eigentliche 'Prognosegebiet', für welches die Vorhersage gelten soll" und zusätzlich "Teile des Randes in quasistationäre Wettergebiete der Erde, z. B. in die Subtropen" zu verlegen. Insofern bedeuten, wie Bernhardt hervorhebt, GARP (Global Atmospheric Research Programme) und WWV (World Weather Watch) als von UNO-Resolutionen angeregte internationale Gemeinschaftsunternehmen der sechziger und siebziger Jahre unseres Jahrhunderts die Umsetzung der Ertelschen Visionen von "Globalprognosen", eines "Weltwetterdienstes" und einer "Weltmeteorologie" in die Realität des Satelliten- und elektronischen Zeitalters.

Die Veröffentlichung verdeutlicht, daß Ertel grundsätzliche Lösungen und Aussagen zur Wettervorhersage schon in den Jahren 1936 bis 1948, lange vor dem Zeitpunkt, als diese Fragen in der englischsprachigen wissenschaftlichen Literatur aufgeworfen wurden, gefunden hat. Der Rezensent kann sich der Auffassung von K. Bernhardt anschließen: "Es ist wohl vornehmlich den Zeitumständen der Kriegs- und Nachkriegsperiode geschuldet, daß die Ertelschen Arbeiten in den ersten Veröffentlichungen zur numerischen Wettervorhersage außerhalb der UdSSR wenig sichtbare Spuren hinterlassen haben...".

Treder und Schröder heben hervor, daß die zwischen 1935 und 1938 veröffentlichten Arbeiten Ertels zur Frage des Zusammenhanges der universellen physikalischen Konstanten und ihre quanten-mechanisch-relativistische Begründung im expandierenden Universum einigen vorangehenden (1923) grundsätzlichen Bemerkungen von Einstein zur Beziehung zwischen Feldtheorie und Quantenproblemen entsprechen und sich in gewissem Sinne auch in spätere Ausführungen von Einstein einpassen, wie "Man kann Argumente dafür anführen, daß die Realität überhaupt nicht durch ein Feld dargestellt werden kann. Aus der Quantentheorie scheint nämlich der Sachverhalt hervorzugehen, daß ein endliches System durch eine endliche Zahl von endlich großen Zahlen (Quanten-Zahlen) vollständig beschrieben werden kann. Dies müßte zu einem Versuch führen, die Realität durch eine algebraische Theorie zu beschreiben". Treder et al. verweisen andererseits auch darauf, daß die Zahlenrechnungen Ertels heute nur noch methodische Bedeutung haben, da insbesondere der Hubble-Parameter inzwischen infolge neuer Meßwerte wesentlich verändert wurde (womit sich das geschätzte "Weltalter" deutlich vergrößerte). Schließlich werden weiterführende Gedanken zu der 1971 von H. Ertel und J. Treder veröffentlichten Arbeit "Quellen und Senken des universalen Schwerfeldes (Heuristische Betrachtungen zur Kosmologie)" dargelegt, die insbesondere den Unterschied zwischen einer Newtonschen und einer relativistischen Kosmologie betreffen.

Die Veröffentlichung hat besonderen Wert für Wissenschaftshistoriker und für Wissenschaftler, die sich mit grundsätzlichen Fragen der Vorhersagbarkeit des Wetters und mit kosmologischen Problemen befassen.

Wolfgang Böhme, Potsdam

W. Ebeling - R. Feistel "Chaos und Kosmos - Prinzipien der Evolution", Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg 1994, 258 Seiten, DM 68,-

Wenn sich zwei Physiker wie die Autoren dieses Bandes die Aufgabe stellen, "ein dem modernen Stand der Wissenschaften entsprechendes Bild des Evolutionsprozesses (zu) geben" (Vorwort S. 7), so kann man diese Absicht durchaus noch mit den Mitteln der Physik versuchen. Wenn die Autoren aber so konsequent sind, daß sie auch die Evolution der Gesellschaft (Kapitel 9, S. 175 ff.) mit in die Darstellung einbeziehen und die Monographie in die Formulierung von Geboten für die Gestaltung der Zukunft ausklingen lassen (S. 230-233), so gehört zu diesem Vorgehen zweifellos Mut, zumal man seit ungefähr zwei Dekaden auf allen Wissenschaftsgebieten eine starke Zurückhaltung in der Beurteilung von Zukunftsfragen konstatieren muß. Daß die Gegenwart gerade solchen Mutes bedarf, hat erst vor kurzem die Klimakonferenz der UNO in Berlin drastisch vor Augen geführt. Ob allerdings physikalische Gesetzmäßigkeiten über Selbstorganisation und Evolution allein schon ausreichen, "um Wege zur Gestaltung einer lebenswerten Zukunft der Menschheit zu weisen", darf bezweifelt werden. Die Verfasser selbst fühlen diesen Zweifel auch und führen deshalb "Toleranz und Weitblick" als sicher nicht aus der Physik ableitbar zusätzliche Vorbedingungen für eine "Strategie der Rettung der Zukunft" (S. 230) ein. Ich kann diesem Gedanken voll zustimmen, aber wie weit es heute mit der Durchsetzung der Prinzipien von Toleranz und Weitblick gekommen ist, beweist jede Nachrichtensendung im negativen Sinne zur Genüge.

Beginnen wir mit dem Anfang des Buches! Als Physiker, die interdisziplinäre Forschung betreiben, wollen die Autoren "den Leser überzeugen, daß unsere Welt eine Einheit darstellt ..." (S.9). Die Theorie der Selbstorganisation und der Evolution ist ebenso Produkt unseres Denkens wie das Denken ein Produkt dieser Gesetzmäßigkeiten darstellt. Was an der Darstellung der Evolution vom Urknall bis zur Herausbildung menschlicher Gesellschaften auf der Erde im vorliegenden Buch besonders fasziniert, ist die durchgängige Anwendung des Systembegriffs. Systeme, Systemanalysen, oftmals als Begriffe für nicht ganz klare Aufgaben in der Wissenschaft verwendet, gelegentlich auch mißbraucht (vergleiche die Bezeichnung: Internationales Institut für angewandte *Systemanalyse*, erweisen sich unter der Begriffsklarheit von Physikern als durchaus brauchbare, weiterführende Modelle der wissenschaftlichen Darstellung. Die Erde als geschlossenes System, das mit der Umgebung Strahlungsenergie austauscht, damit muß man beginnen, wenn es um den Aufbau verschiedener Strukturen auf der Erde geht.

Daß bei einer so umfassenden Darstellung der Evolution und Selbstorganisation Fragen der Erkenntnistheorie, der Prinzipien der Modellbildung, der mathematischen Axiomatik, des Zusammenhangs zwischen fundamentalen

Erkenntnissen und der beobachteten Komplexität, von Chaos und Ordnung, von Reversibilität und irreversiblen Vorgängen behandelt werden müssen, ist nicht verwunderlich (Kapitel 1 und 2, S. 9 - S. 34). Ich möchte die Schlußfolgerung voll unterstützten (S. 19): "Unser Gehirn ist nicht ausgebildet worden, um die Welt zu verstehen, sondern zunächst nur, um zweckmäßig handeln zu können." Dennoch haben sich die größten Geister der Menschheit um Welterkenntnis bemüht (das vorliegende Buch legt von diesem Bemühen Zeugnis ab); was treibt uns an, über die Grenzen unserer eigentlichen Bestimmung hinaus zu denken?

Produkte der Evolution können nur verstanden werden, wenn man auch ihre Vorgeschichte berücksichtigt. Diese Historizität geht über das eigentliche Aufgabengebiet eines Physikers hinaus. Der Physiker muß aber entschieden darauf achten, daß bei der Formulierung evolutionstheoretischer Erkenntnisse grundlegende physikalische Gesetze nicht verletzt werden. Die "Prinzipien der Selbstorganisation" (S. 39-44) erhalten somit als Arbeitsgrundlagen hervorragende Bedeutung. Erst bei ihrer Anwendung darf man hoffen, daß man auch Fragen der zukünftigen Entwicklung richtig beantworten kann: "Wir leben in einer Zeit, in der entschieden wird, ob wir als Menschheit überleben oder untergehen" (S. 21). Synopsis und Prognose erhalten in einer solchen Situation einen hohen Wert. Dieser Aussage kann ich mich, noch unter dem Eindruck des wenig befriedigenden Ergebnisses der UNO-Klimakonferenz stehend, voll anschließen.

Zwei Eigenarten der Darstellung seien hier erwähnt:

1. Die Autoren verleihen ihren Texten durch treffliche Bilder und Vergleiche hohe Anschaulichkeit. Das Gedankenexperiment auf S. 21 gehört dazu. Auch den Ausdruck "Photonenmühle" würde ich, ungeachtet der eventuellen Urheberrechte anderer Autoren, dazuzählen.

2. Die Verfasser weisen auf Werke aus Kunst und Literatur hin, die ähnliche Aussagen von Künstlern verschiedener Richtungen wiedergeben. Abb. 1.1 zeigt z.B. die Vorstellungen einer Malerin über Evolution. Auf S. 57 finden sich zahlreiche Hinweise auf die "schöne" Literatur. Ich muß gestehen, daß diese Offenheit für das künstlerische Werk dem Buch sehr gut bekommt.

Über die auf S. 27 gelieferte Definition der Entropie bin ich zunächst gestolpert: "Die Menge der Entropie, die in einem Körper steckt, ist ein Maß für die Wertlosigkeit seiner Energie." Warum so negativ ausgedrückt? fragte ich mich. Aufschluß erhielt ich durch das Kapitel 4 "Information und Wert" (S. 55.67). Die Autoren unterscheiden zwischen freier und gebundener Information. Nur die freie Information "besitzt eine gewisse Unabhängigkeit vom Träger, so kann eine Nachricht als Brief, Telegramm, als Datei auf einer Diskette ... befördert werden" (S. 56). Freie Information ist geistig-abstrakt. Wilhelm Ostwald hatte das Wesen des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik erst dann verstanden, als ihm der Zusammenhang zwischen Wert und Energie

bewußt wurde (S. 63). Die Anwendung des Wertbegriffs in der Thermodynamik ist also schon rund 100 Jahre alt. Sollte man dann nicht einige Definitionen in den Lehrbüchern für Physikalische Chemie ändern? Die Verfasser geben auf S. 63 selbst ein Beispiel dafür.

Die Evolution des Kosmos und der Erde wird ab Kap. 5 dargestellt. Den "acht Epochen des Urplasmas" folgen drei Epochen "Selbststrukturierung der stofflichen Materie". Unter Verwendung der neuesten Hypothesen und Erkenntnissen gelingt es den Autoren, auf komprimiertem Raum (22 Seiten) eine fesselnde "Story vom heißen Urknall"(S. 80) zu schreiben, die die Grundzüge unserer heutigen Vorstellung von der Evolution des Kosmos in Übereinstimmung mit experimentellen Befunden wiedergibt. Hier vermüßte ich lediglich einen Hinweis auf kürzlich entdeckte minimale Schwankungen in der Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung (S. 81-82), die Aufschluß über die Entstehung von Galaxien und Sternen geben können.

Der "Evolution des Klimas" ist Kapitel 6 gewidmet. Hier halten sich die Verfasser, die sonst viel "Bekennermut" beweisen, bei der Beurteilung des Zusammenhangs zwischen dem CO_2 -Gehalt der Erdatmosphäre und der Erwärmung (Treibhauseffekt) auffallend zurück. Sie verweisen dabei auf den komplexen Charakter unseres rückgekoppelten Klimasystems (S. 109) und verwerfen einen „unzulässige lineare Extrapolation von Wirkungsketten". Fand am Ende die Klimakonferenz der UNO doch verfrüht statt? Die Vorstellungen einer Arbeitshypothese über die CO_2 -Wirkung, die noch nicht sichere Erkenntnis ist, erfahren eine wesentliche Ergänzung auf S. 110: daß "die prophylaktische Reduzierung aller anthropogenen Veränderungen auf ein notwendiges Minimum" für notwendig gehalten wird.

Das Herzstück des Buches wird mit der Darstellung der Evolution des Lebens und der Vielzeller in den Kapiteln 7 und 8 geboten. Lebewesen sind prinzipiell, vom thermodynamischen Standpunkt aus betrachtet, offene Systeme, die Strukturbildung, Selbstorganisation und Informationsverarbeitung ermöglichen. Die Entstehung des Lebens auf der Erde ist von einer Vielzahl von molekularen Strukturen, katalytischen Vorgängen, Rückkopplungen und Umwelteinflüssen abhängig. Thermodynamik und Informationstheorie bilden auch hier die physikalischen Grundlagen. Die Komplexität der Evolution erfaßt nacheinander chemische, biologische und soziale Phänomene. Der größte Fortschritt in unserem Verständnis der Biogenese ist offenbar durch interdisziplinäre Zusammenarbeit von Vertretern dieser Wissenschaften zu erwarten.

Die Autoren legen einen nach Jahrmillionen gegliederten Ablauf der Biogenese auf der Erde vor, der mit möglichst vielen wissenschaftlichen Erkenntnissen der Einzeldisziplinen in Übereinstimmung steht. Der Übergang von der Chemie zur Biologie vollzieht sich in 4 Abschnitten (S. 120), die im einzelnen hier nicht abgehandelt werden können. Unter Bezugnahme auf Vor-

stellungen von Oparin, Prigogine und Eigen, aber auch unter Wiedergabe eigener abweichender Standpunkte (S. 124) entwerfen die Autoren ein faszinierendes Bild unserer heutigen Kenntnisse von der Evolution des Lebens auf der Erde. Dabei wird der Etappe der Bildung von Koazervaten besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Selektionsprozesse von autokatalytischem Charakter sorgten für eine Auswahl besonders geeigneter Strukturen. Katalytische Vorgänge sowie das Auftreten von Proteinen und DNA-Molekülen setzten die Evolution des Lebens auf der Erde fort. Genetischer Code und Zellbildung waren weitere Etappen. Über die Morphogenese, die Herausbildung von Nervenzellen und Nervennetzen gelangen wir zum lernfähigen Lebewesen (S. 157-174). Stets betonen die Autoren den Nutzen systemtheoretischer Betrachtungen. Insgesamt gelingt es, auf etwa 60 Seiten eine instruktive, überzeugende Darstellung der mit der Biogenese auf der Erde verbundenen Probleme zu geben.

Die Verfasser unterliegen nicht der Versuchung, der ein Rezensent am Ende seines Textes schon einmal nachgeben kann, sich nämlich zu fragen: In unserer Galaxis soll es 300 Millionen Himmelskörper geben, auf denen sich die Materie ähnlich wie auf der Erde entwickeln könnte. Warum sollte das nicht geschehen sein? In welchem Zustand mögen sich diese Lebewesen jetzt befinden? Abseits von allem UFO- und Science-Fiction-Unfug: Werden wir es je erfahren? Wir müßten mit Lichtgeschwindigkeit durch den Kosmos reisen können, um Erfahrungen zu sammeln - aber ob uns das gelingt - das ist die Frage.

Im Kapitel "Evolution der Gesellschaft" (S. 175- 187) versuchen die Autoren, die physikalischen Gesetzmäßigkeiten auf gesellschaftliche Ereignisse zu übertragen. So vergleichen sie die Wende in der DDR 1989/90, die zur Vereinigung beider deutscher Staaten führte, mit einem kinetischen Phasenübergang (S. 175). Obwohl ich der Schlußfolgerung von Ebeling und Feustel aus eigener Überzeugung weitgehend zustimmen kann, beschleicht mich ein leichter Zweifel, ob das Vorgehen gerechtfertigt ist. Immerhin haben gesellschaftliche Systeme einen zusätzlichen Freiheitsgrad aufzuweisen: das bewußte Handeln von Einzelpersonen, Gruppen oder ganzen Völkern. Die Geschichte der Menschheit ist hierfür voller Beispiele. Ich fühle mich nicht kompetent genug, diese Frage zu entscheiden. Die Meinung von Gesellschaftswissenschaftlern ist hier gefragt.

Es ist wohlthuend zu sehen, daß die Autoren die gesamte internationale Literatur ihres Gebietes auswerten und zur Auswahl stellen. Wie oft kommt es heute vor, daß man nur einen Teil der wissenschaftlichen Arbeiten zur Kenntnis nimmt!

Das Buch ist flüssig und spannend geschrieben. Es setzt beim Lesen keine besonderen wissenschaftlichen oder mathematischen Vorkenntnisse voraus. Ich kann es daher jedem, der an der Evolution des Kosmos und der Entste-

hung des Lebens auf der Erde interessiert ist, nachhaltig empfehlen. Dem nach Wahrheit suchenden Laien wird es ebensogute Dienste leisten wie dem Studenten oder Schüler, ja auch der Wissenschaftler wird die übersichtliche Darstellung begrüßen.

Wolfgang Schirmer, Berlin

Berichtigung

Für Freunde des Puzzlespiels und der Postmoderne hat der Computerteufel in Band 4 einen bedauerlichen, weil sinnentstellenden Fehler in den Text eingebaut. Die Redaktion bittet um Entschuldigung. Auf Seite 5 muß der 4. Satz im ersten Absatz richtig heißen:

„Also, den Betrachter hineingeleiten, hineinziehen in die opulente Sinnlichkeit einer solchen Schau, wo er gleich am Eingang mit Pinsel und Farbtopf ausgestattet wird, überall seine Tupferchen anbringen kann, dabei von widerstreitenden Gefühlen geplagt, ob er hier nicht zum winzigen Rädchen eines großen Theaters mißbraucht wird oder aber tatsächlich in gerade jenem Moment, da er an einem von tausend Besuchern bereits angefertigten überdimensionalen Gemälde noch einen kleinen rosaroten Strich anbringt, sein ureigenes ‘Selbst’ entdeckt.“

*

Die Redaktion weist darauf hin, daß in einem kleinen Teil der Auflage infolge technischer Fehler im Druckablauf Seiten vertauscht wurden oder fehlen. Wir bitten unsere Bezieher, die diesen Fehler in ihrem Exemplar festgestellt haben, beim Verlag ein neues Heft anzufordern.