

Zeitschrift: Schweizer Schule
Herausgeber: Christlicher Lehrer- und Erzieherverein der Schweiz
Band: 59 (1972)
Heft: 9: Technik und Naturwissenschaften in der Perspektive der Zukunft

Artikel: Naturwissenschaften und Technik im Jahr 2000 : eine Extrapolation mit ökologischen Randbedingungen
Autor: Killias, H.R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-530154>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

die sonst früh gestorben wären, bleiben am Leben. Woran aber die Pharmakologen nicht gedacht haben: wer ernährt den plötzlichen Menschenzuwachs? – Die Vernunft hatte sich zu wenig angestrengt, es fehlte an der globalen Vernunft. – Wieder werden die Pharmakologen gebeten, ihren Geist anzustrengen und schmerzstillende Mittel zu erfinden. Sie werden erfunden, aber mit der Süchtigkeit des Menschen, nicht nur den Schmerz zu stillen, sondern sich Lust bis zum Exzeß zu verschaffen, hatte man nicht gerechnet. Oder hatten die Aktionäre der chemischen Fabriken damit gerechnet? Etwas Irrationales steht hinter der Vernunft und zwingt sie zu sündigem Dienst. Noch eklatanter ist das Phänomen der Atombombe. Rutherford entdeckt den Atomkern – eine reine Angelegenheit des Geistes. Otto Hahn spaltet den Kern – Triumph der Wissenschaft – aber dann wirft sich der Macht- und Vernichtungswille auf dieses Kind des Geistes und schafft daraus ein Ungeheuer. Man wußte damals, was das bedeutete, man tat es trotzdem. – Heute sind die Genetiker daran, den Über- und Untermenschen zu züchten: man weiß genau, was das bedeutet, man wird es trotzdem tun. – Biologen, Physiker, Chemiker, Technologen – hochqualifizierte Gehirne – stehen im Dienste des Willens zur Lust, zur Macht. Dieser Wille, soweit er die Vernunft zur Unvernunft zwingt, das ist das Böse. Wer wird diesem Lust-, Macht-, Herrschafts- und Vernichtungstrieb gebieten? Wer wird die absolut nötige Koordination der Forschung an die Hand nehmen? Und wenn eine Weltorganisation existierte, die unsere Wirtschaft zum Wohle

einer wachsenden Bevölkerung leitete, wem wird sie gehören? Werden die Völker ihren verderblichen Nationalismus und Rassismus ablegen? Wird der einzelne seinen Privat-egoismus unter Kontrolle bringen? Die Religionen scheinen ihren heilsamen Einfluß zu verlieren. Der Rebellentrieb im Menschen hat auch hier seit 100 Jahren die Vernunft gezwungen, alles Religiöse fragwürdig zu machen. – Die Technik ist gut, sie führt keineswegs zum Untergang. Aber die Kräfte, die hinter der technischen Vernunft stehen, das ist das große Fragezeichen! Das Urböse im Menschen war immer da, aber heute ist ihm eine erschreckende Macht gegeben. – Biologisch gesehen, würden dem Menschen, der ja erst gestern geboren wurde, Millionen Jahre Zukunft zur Verfügung stehen. Politisch gesehen, gehen aber heute die Worte Christi in Erfüllung: «Wenn ihr nicht umdenkt, werdet ihr alle untergehen.» Umdenken heißt heilig werden. Bis jetzt war dazu nur eine verschwindende Elite bereit. – Das Neue Testament denkt sehr pessimistisch von der Zukunft der Welt. Aber war das nicht historisch bedingt? Liegt im Ganzen der christlichen Offenbarung nicht ein Optimismus zugrunde, der uns Hoffnung geben dürfte? Wenn Christus die absolute, irreversible Zusage Gottes an die Welt bedeutet, und wenn das Gericht über die Bosheit der Welt am Kreuz vollzogen und so das Böse entmachtet wurde, darf dann der Christ nicht glauben und hoffen, daß der Schöpfer und Erhalter der Welt das Werk seiner Hände – das sich zwar in Freiheit entscheiden kann – nicht ins Absurde fallen läßt? Gott kompromittiert sich nicht.

Naturwissenschaften und Technik im Jahr 2000 — eine Extrapolation mit ökologischen Randbedingungen

H. R. Killias

Einleitung

In den letzten fünf Jahren ist eine stetig steigende Anzahl von Artikeln und Büchern über unsere Welt im Jahr 2000 erschienen. Es scheint, daß die runde Zahl, das 2. Millennium, eine besondere Faszination auf uns

Menschen ausübt, sowohl auf jene, die aktiv in ihrem eigenen kleinen Kreis zur Entwicklung unserer Welt beitragen, wie auf jene, die mehrheitlich passiv sich mit den Symptomen dieser Entwicklung auseinandersetzen müssen.

Auch die vorliegende Arbeit hat ihren Anstoß dieser Faszination zu verdanken. Allerdings zeigte es sich bald, daß für viele Überlegungen ein derart fixierter zeitlicher Beziehungspunkt zu starr ist und der Gegenwart zu nahe liegt. Einzelne Gedankengänge, speziell solche sozio-ökonomischer Natur, werden uns deshalb auch weit hinein ins 21. Jahrhundert führen.

In einem ersten Teil der Arbeit soll die mögliche Entwicklung und Interdependenz der reinen Naturwissenschaften vorgezeichnet werden, die – entgegen populärer gegenteiliger Meinung – auch im Jahr 2000 noch immer in einer relativ isolierten akademischen Umwelt verwurzelt sein werden.

In einem zweiten Teil soll ein Beispiel der Entwicklung einer von den reinen Naturwissenschaften klar getrennten Technologie, nämlich die Entwicklung der Erzeugung von elektrischer Energie, betrachtet werden. Das Beispiel wurde deshalb gewählt, weil diese Technologie eng mit nur einer systemcharakterisierenden Kennzahl verbunden ist, dem Energieverbrauch pro Jahr: Die Projektion dieses Verbrauches wird uns direkt zu den Randbedingungen des Verbrauches und damit zu den ökologischen Randbedingungen der Technologie überhaupt bringen:

- Energiereserven
- Atmosphärische Verschmutzung
- Abfallwärme
- Strahlungsgefährdung

I Reine Naturwissenschaften

Verglichen mit der Voraussage der technischen Entwicklung ist eine Voraussage über die Entwicklung der Naturwissenschaften sowohl leichter als auch schwieriger. Erleichtert wird die Voraussage dadurch, daß sie sich auf einen personenmäßig kleineren, akademisch strukturierten und deshalb besser überblickbaren Kreis bezieht, schwieriger aber, weil zahlenmäßige Extrapolationen der bisherigen Entwicklung mit wenigen Ausnahmen (wie etwa der Zahl der publizierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen) im hohen Maße unzuverlässig sind.

So muß die Voraussage der Entwicklung der Naturwissenschaften letztlich auf einer intuitiven Prognose beruhen. Zwei prinzipielle Betrachtungsweisen spielen in einer solchen

Prognose eine hervorragende Rolle: die Suche nach Kontinuität in der wissenschaftlichen Entwicklung (wo standen wir vor 30 Jahren?), und die Suche nach Analogie in parallellaufenden Zweigen der Wissenschaft. Was eine intuitive Prognose hingegen nur in seltenen Fällen voraussagen kann, sind abrupte Diskontinuitäten in der wissenschaftlichen Entwicklung, also revolutionäre neue Erkenntnisse. Das einzige, was sich darüber mit Sicherheit aussagen läßt, ist, daß einige solcher nicht voraussagbarer Diskontinuitäten tatsächlich auftreten werden. Selbstverständlich ist jede intuitive Prognose abhängig von der Persönlichkeit des Prognostellers. Sucht man diese Abhängigkeit durch Bildung des Konsensus einer Gruppe von bestqualifizierten Experten auszuschalten, so gelangt man zu einer sogenannten Delphi-Prognose. Im vorliegenden Fall jedoch verzichten wir auf einen solchen Konsensus und stellen eine persönliche Prognose, die sich weitgehend auf ein unlängst erschienenen Essay von P. MORRISON stützt.

Das rückseitige Schema gibt einen Überblick über das Gesamtgebäude der Naturwissenschaften, wie es im Jahr 2000 aussehen mag. Sechs Hauptgebiete sind zu unterscheiden, wovon die Mehrzahl in weitere, untereinander verknüpfte Untergebiete zerfällt.

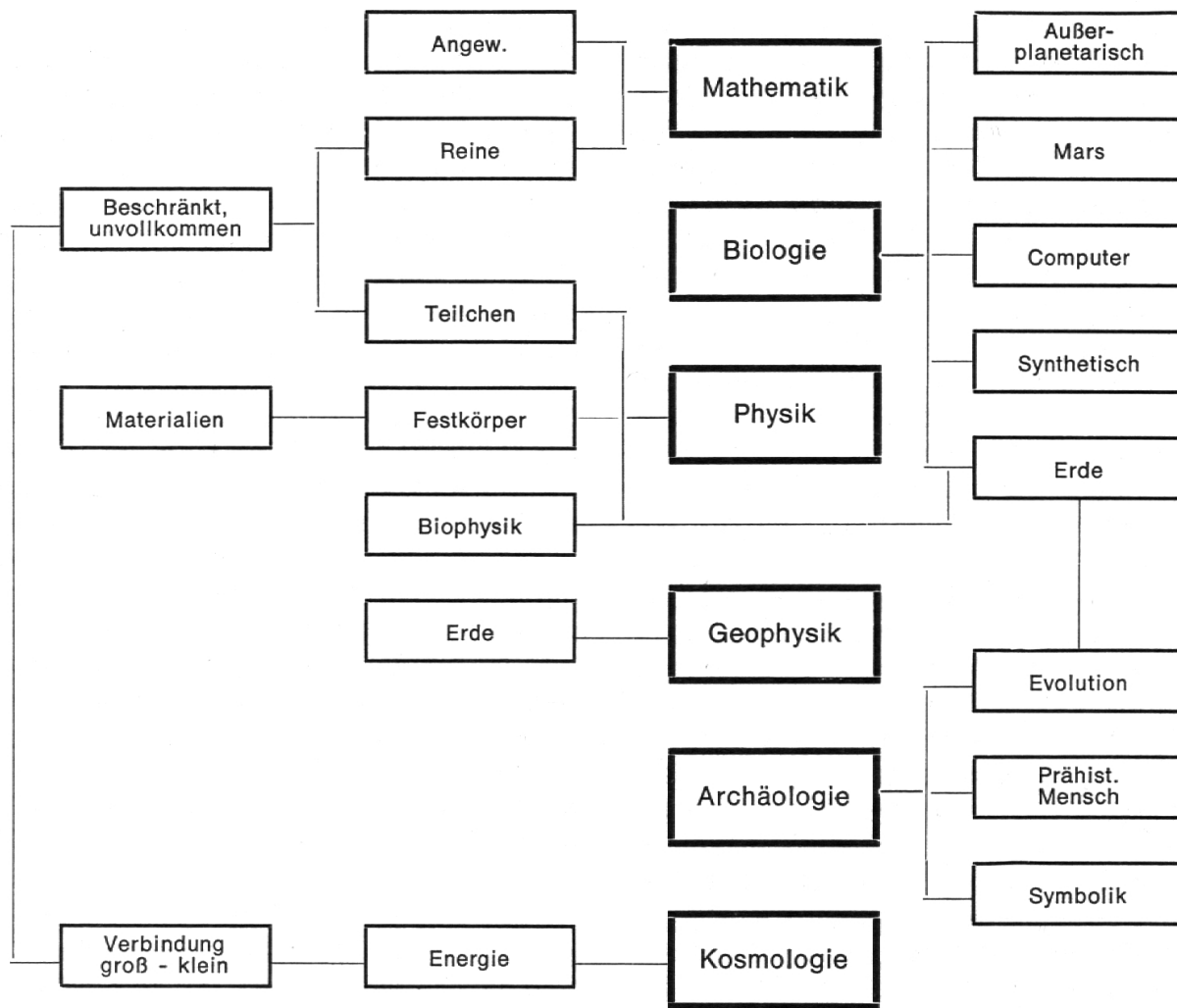
1. Mathematik

In die Zeit der letzten 40 Jahre fallen zwei Erkenntnisse, die auch die Entwicklung der restlichen 30 Jahre beherrschen werden:

- «Alle mathematischen Operationen können prinzipiell von Maschinen nachvollzogen werden» (TURING);
- «Alle Mathematik bleibt letztlich unvollkommen» (GOEDEL).

1.1 Reine Mathematik. Die Erforschung der Grenzen der Unvollkommenheit und die Erarbeitung der mathematisch-philosophischen Konsequenzen der mechanischen Nachvollziehbarkeit werden die reine Mathematik bis zum Jahr 2000 voll beschäftigen. In einem gewissen Sinn kann man daher von einer Stagnation der wissenschaftlichen Entwicklung sprechen.

1.2 Angewandte Mathematik. Dank der Nachvollziehbarkeit mathematischer Operationen



(Bild 1)

durch Rechenmaschinen ist die angewandte Mathematik zur wichtigsten Hilfswissenschaft aller andern Naturwissenschaften herangewachsen. Diese Durchdringung wird sich besonders in der Biologie noch verstärken und neu sich entscheidend auch auf die Sozialwissenschaften ausdehnen: auf Psychologie, Soziologie, Nationalökonomie und Betriebswissenschaft.

2. Physik

Wieder vorerst rückblickend, schält sich als wichtigste Arbeit der letzten 40 Jahre die Voraussage des Mesons als Mittler der damals und im Prinzip noch heute unverstandenen Atomkernkräfte heraus (YUKAWA). Aus der experimentellen Bestätigung dieser Voraussage ist ein neuer Zweig der Physik entstanden:

2.1 Elementarteilchen-Physik. Nebst den verschiedenen Arten von Mesonen sind bis

heute gut zweit Dutzend weitere Elementarteilchen als kurzlebige Kernbausteine entdeckt worden. Immer noch besteht vielerorts die Hoffnung, einfache Symmetrien zu finden, die Ordnung in diese Vielfalt bringen könnten. Langsam wächst jedoch auch der Verdacht, daß diese Vielfalt ähnlich wie in der reinen Mathematik – ein Ausdruck der Relativierung und Unvollkommenheit unseres Erkenntnisvermögens sein könnte. Bis zum Jahr 2000 sollte dieser Verdacht erhärtbar oder, was unseres Erachtens weniger wahrscheinlich ist, widerlegbar sein.

2.2 Festkörperphysik. Dieser Teilbereich der Physik soll – was im Namen nur schlecht ausgedrückt wird – alle durch die Elektronenstruktur festgelegten Eigenschaften der Materie beschreiben und schließt deshalb auch große Teile der Chemie und alle Werkstoffwissenschaften mit ein. Bis ins Jahr 2000 wird dieser Bereich kaum grundlegend

neue physikalische Erkenntnisse beisteuern; hingegen wird er bis dann die heute erst beschränkt mögliche, wirtschaftlich und ökonomisch maßgeschneiderte Synthese von Materialien aller Art auf molekularer Grundlage bis zur Reife der allgemeinen praktischen Anwendung gebracht haben.

2.3 Biophysik. Große Fortschritte können wir von der eng mit der physikalischen Chemie zusammenarbeitenden Biophysik erwarten. Bis zum Jahr 2000 sollten insbesondere

- der molekulare Mechanismus der Katalyse chemischer Prozesse,
- die Wirkung von Enzymen in biochemischen Abläufen,
- die molekulare Struktur einfacher fundamentaler Lebensvorgänge

in dieser Reihenfolge aufgeklärt worden sein.

3. Biologie

Parallel zur Biophysik wird die Biologie eine außerordentlich fruchtbare Entwicklung erfahren. Etwas spekulativ kann ein Wachstum in nicht weniger als fünf verschiedene Richtungen vorausgesehen werden:

3.1 Biologie der Erdorganismen (speziell des Menschen). Dieser vom Forschungsobjekt her der heutigen Biologie entsprechende Hauptzweig wird Erfolge (aber keine Lösung) in der Krebsbekämpfung verzeichnen können, wird die perfekte Kontrolle der menschlichen Fertilität ermöglichen, und wird – eine Errungenschaft sehr problematischer Natur – durch direkte Eingriffe die Zusammensetzung des genetischen Aufbaues von Tier und Mensch verändern können.

3.2 Synthetische Biologie. Noch vor dem Jahr 2000 werden einfache lebende Organismen künstlich aus komplexen organischen Bestandteilen synthetisiert werden können.

3.3 Computerbiologie. Während sich die synthetische Biologie gezwungenermaßen auf die einfachsten Lebensformen konzentriert, wird die Computerbiologie sich der Nachbildung der kompliziertesten Lebensprozesse zuwenden. Bis im Jahr 2000 werden selbstlernende, mit dem Menschen kommunizierende intelligente Systeme Wirklichkeit geworden sein.

3.4 Mars-Biologie. Durch Marsproben werden bis zum Ende des Jahrhunderts möglicherweise erste wichtige Erkenntnisse über das Frühstadium der natürlichen Entwicklung von Leben gewonnen werden können.

3.5 Außerplanetarische Biologie. Die seit einigen Jahren laufende Suche nach Kommunikation mit intelligenten Lebensformen im außerplanetarischen Raum wird fortgesetzt werden. Ein Kontakt könnte dank verbesserten Detektionstechniken bis zum Jahr 2000 sehr wohl hergestellt sein.

Es ist in diesem Zusammenhang ebenfalls wichtig zu sagen, welche bereits heute bearbeiteten Probleme der Biologie auch im Jahr 2000 noch nicht gelöst sein werden:

- Verständnis des Aufbaus und der Organisation von Zellen oder Zellgruppen zu einem Gesamtorganismus,
- Verständnis der Hirnfunktionen.

Diese Aufgaben werden die Biologie noch weit ins nächste Jahrhundert beschäftigen.

4. Geophysik

Seit dem Einsatz von Beobachtungssatelliten ist erstmals die Betrachtung der Erde als Ganzes möglich geworden. Geophysikalische Meßwerte müssen nicht mehr wie früher langsam und stückweise zusammengetragen werden. Dieser technische Fortschritt wird die wissenschaftliche Entwicklung aller Teilgebiete der Geophysik bis zum Ende des Jahrhunderts prägen und befruchten:

- In der Geologie wird die Mechanik der Kontinentalbewegungen und die sich daraus ergebenden Rückschlüsse auf die Struktur der Erdkruste im Vordergrund stehen.

- In der Ozeanographie und in der Meteorologie werden dank der Satellitenbeobachtung erstmals auch dynamische Probleme (Meeresströmungen, Wetterentwicklung) behandelt werden können. In Zusammenarbeit mit noch zu entwickelnden Großcomputeranlagen sollten zuverlässige, weltweite 10-Tage-Wettervorhersagen möglich werden.

5. Archäologie

Die hier entgegen der Tradition vorgenommene Einreihung der Archäologie unter die Naturwissenschaften begründet sich aus der in Zukunft zunehmenden Verschiebung des Objektes archäologischer Forschung vom menschlichen Bauwerk auf den Menschen selber; dadurch beginnt die Archäologie auch die bisher als Naturwissenschaft gewertete Paläontologie miteinzuschließen. Hinzu kommt, daß auch die Werkzeuge und

Hilfsmittel der Archäologie immer stärker naturwissenschaftliche Züge annehmen: Geophysikalische Methoden, Elektronen-Mikroskopie, biochemische Analyse und Synthese.

Die Entwicklung der Archäologie bis zum Jahr 2000 kann in drei Richtungen erwartet werden:

5.1 Nachweis der verschiedenen Stadien der Evolution im vorkambrischen Zeitalter. Das bedingt eine Ausdehnung der bisher untersuchten Zeitperiode um 2 Milliarden Jahre.

5.2 Archäologie des prähistorischen Menschen mit besonderer Beachtung seiner sozialen Entwicklung.

5.3 Erforschung der Sprache und Symbolik des Menschen vor Entstehung der Schrift.

Bedeutende Beiträge zu allen drei Forschungseinrichtungen sind aus den heute archäologisch noch weitgehend unerforschten Gebieten China, Indien und Afrika zu erwarten.

6. Kosmologie

Die letzten 10 Jahre haben die Kosmologie, die vorher ein eher philisophisch-beschauliches Dasein führte, in eine Phase der schöpferischen Unruhe gestürzt. In den nächsten 30 Jahren darf man deshalb einige definitive Antworten auf die folgenden Fragen erwarten:

- Wo kommt Energie her?
- Was war der Anfang, was wird das Ende der Erde sein?
- Wie vollzog sich die Evolution der Sterne, des Universums?

Vielleicht erfüllt sich bis dann sogar auch die alte Hoffnung, Analogien und Beziehungen zwischen der Welt des ganz Großen und der Welt des ganz Kleinen, in anderen Worten, eine Beziehung zwischen Kosmologie und Elementarteilchen zu finden.

Unsere Tour durch die Naturwissenschaften im Jahr 2000 mußte gezwungenermaßen rasch durchlaufen werden; viele interessante oder auch problematische Punkte konnten nur oberflächlich berührt werden. Was wir trotzdem hoffen erreicht zu haben, ist, zu zeigen, wie «heil» und im Grunde optimistisch dieses Bild der reinen Naturwissenschaften im Jahr 2000 aussieht: Gewisse Gebiete stagnieren vielleicht, andere sind da-

für um so aufregender, doch in allen werden neue, signifikante Erkenntnisse gewonnen.

Durch zwei Arten von äußeren Einflüssen kann dieses schöne Bild im Laufe der kommenden Jahre ernsthaft gestört werden:

– Einige der wissenschaftlichen Gebiete (Elementarteilchen-Physik, Satellitenbeobachtung, Marsbiologie) gehören in die Gattung «Big Science», das heißt, ihr Fortschritt ist aus Finanzierungsgründen von politischen Entscheidungen abhängig.

– Viele Gebiete werden nicht nur neue Erkenntnisse ergeben, sondern auch neue Technologien hervorbringen (Materialien, Katalyse, Ozeanographie, Computerbiologie), die die Wissenschaft in die damit verbundenen ökologischen Probleme mithineinziehen werden.

Um das große Gewicht, das solchen ökologischen Problemen in einer Gesamtbetrachtung der wissenschaftlichen und technischen Entwicklung zugemessen werden muß, an einem Beispiel klar herauszuarbeiten, soll im folgenden jedoch nicht eine erst im Entstehen begriffene Technologie untersucht werden, sondern – wie eingangs erwähnt – die reife, mit unserer Umwelt bereits eng verflochtene Technologie der Erzeugung von elektrischer Energie.

II. Technologie: Erzeugung von elektrischer Energie

Die Erzeugung von elektrischer Energie gehört zu jenen Technologien, die mit der Entwicklung unserer Gesellschaft in den nächsten 30 Jahren zweifellos in starker Wechselwirkung stehen werden. Da sie zur Hauptsache nur durch *eine* Kennzahl, nämlich den Energieverbrauch pro Jahr, charakterisiert wird, ist die elektrische Energieerzeugung mit größerer Sicherheit prognostizierbar und für den Betrachter wesentlich transparenter als die im Vergleich komplexeren Technologien der Transportmittel, der Kommunikationsmittel oder der Computerverarbeitung. Im weiteren bietet sich die elektrische Energieerzeugung auch deshalb als gutes Beispiel an, weil die Schweiz einerseits heute zu einem der führenden Länder auf der konventionellen Seite dieser Technologie gehört, andererseits weil – bedingt durch die durch den Endausbau der Wasserkräfte eingangesetzte Strukturänderung der elektri-

schen Energieerzeugung – sich die Schweiz möglicherweise bedeutend früher als andere Länder wirtschaftlich und politisch mit den neuen ökologischen Anforderungen dieser Technologie wird auseinandersetzen müssen.

1. Prognose der technischen Entwicklung

Um die mögliche technische Entwicklung der elektrischen Energieerzeugung bis zum Jahr 2000 zu überblicken, ist es vorteilhaft, zwischen direkten und indirekten Methoden der Energieerzeugung zu unterscheiden.

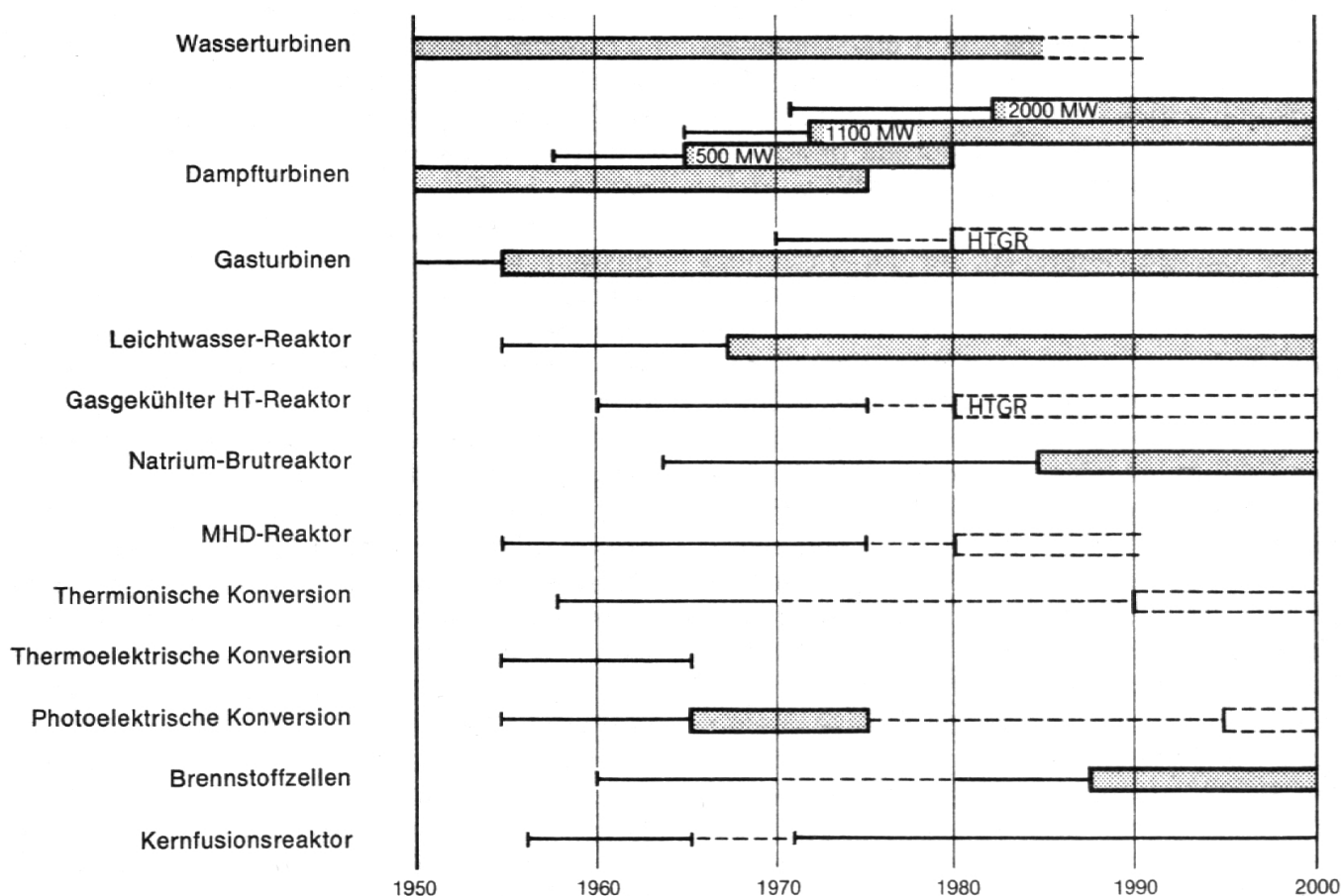
Indirekte Methoden:

- (1) Mechanische ► mechanische ► elektrische Energie
- (2) Chemische } thermische ► mechanische ► elektrische Energie
- (3) Nukleare }

Direkte Methoden:

- (4) Chemische } thermische ► elektrische Energie
- (5) Nukleare }
- (6) Licht ► elektrische Energie
- (7) Chemische ► elektrische Energie

Bei den indirekten Methoden wird die Primärenergie (Wasserkraft, Ölverfeuerung, Kernspaltung) über eine Zwischenstufe von mechanischer Energie in elektrische Energie umgewandelt; dabei vollziehen Turbinen den ersten, Generatoren den zweiten Umwandlungsprozeß. Im Gegensatz dazu wird bei den direkten Methoden die Primärenergie durch direkte Elektronenprozesse in geeigneten Kopplungsmedien ohne Zwischenstufe in elektrische Energie umgewandelt. Die wichtigsten indirekten und direkten Energieerzeugungsmethoden und ihre mutmaßliche Entwicklung bis zum Jahr 2000 sind in Bild 2 dargestellt. – Unberücksich-



(Bild 2)

«Technische Entwicklung der Energieerzeugungsmethoden»

- F+E-Phase – Einfach ausgezogene Linie
- Produktionsphase – Schraffierte Balken
- Unsichere Entwicklung – Gestrichelte Linien

tigt blieb bei den indirekten Methoden allerdings die Entwicklung der *Generatoren*. Diese konnten bis anhin den scharfen Leistungsanstieg der Dampfturbinen zwar dank verbesserter Kühlsysteme noch in konventioneller Form mitmachen, doch zeichnet sich heute die Möglichkeit eines etwa 1990 beginnenden Überganges zu supraleitenden Gleichstrom- und Wechselstrom-Generatoren ab.

– *Wasserturbinen* (1): Da die Wasserkraftreserven 1970 in Europa und Nordamerika bereits zu 80 % und weltweit bereits zu 25 Prozent ausgebaut waren, wird der wirtschaftlich vertretbare Endausbau der Wasserkraft-Weltreserven auf ca. 1985 erwartet. Dementsprechend wird dann auch die technische Entwicklung der Wasserturbinen auslaufen, und die weitergehende Produktion wird sich auf den relativ kleinen Ersatzbedarf beschränken.

– *Dampfturbinen* (2, 3): Nach einer langen, kontinuierlichen Entwicklung ist mit dem Aufkommen der Kernkraftwerke die Leistungsgröße von Dampfturbinen in den letzten 5 Jahren sprunghaft von 500 Megawatt (MW) auf 1100 MW gesteigert worden; Entwicklungsarbeiten für eine weitere Steigerung auf 2000 MW haben bereits begonnen. Eine Einheitsleistung von 2000 MW wird für Dampfturbinen aber wahrscheinlich eine obere Grenze darstellen, da die wirtschaftlichen Vorteile noch größerer Maschineneinheiten durch entsprechende Nachteile der Energieverteilung und der Versorgungssicherheit aufgewogen werden dürften.

– *Gasturbinen* (2, 3): Bis zum Jahr 2000 kann der Gasturbine eine glänzende Entwicklung vorausgesagt werden. Da ihre Leistungsgröße im Normalfall ungefähr ein Zehntel der Dampfturbine (50–200 MW) beträgt, wird sie in den zunehmend stärker vermaschten Energieversorgungsnetzen für die Gewährleistung der nötigen Auslastungsflexibilität unersetzlich sein. Durch sukzessive Steigerung der Arbeitstemperatur von heute 850°C auf 1200°C (was eine entsprechende Werkstoffentwicklung bedingt), sollte auch der Wirkungsgrad der Gasturbine noch weiter erhöht werden können.

Unsicherer ist das Schicksal der Spezialentwicklung einer Gasturbine mit geschlossenem Helium-Kreislauf, welche heute im Zusammenhang mit der Entwicklung des gas-

gekühlten Hochtemperaturreaktors (HTGR) vorangetrieben wird. Sollte sich der HTGR durchsetzen, so könnte die geschlossene Gasturbine auf 1000 MW Leistungsgröße ausgelegt werden und dadurch die Dampfturbine direkt konkurrenzieren.

– *Kernreaktoren* (3): Unsere Prognose lautet dahin, daß im Jahr 2000 nur zwei Haupttypen von Kernreaktoren zur Energieerzeugung beitragen werden, nämlich die heute bereits im Betrieb stehenden Leichtwasserreaktoren und die mit flüssigem Natrium gekühlten Brutreaktoren. Die Entwicklung der letzteren ist allerdings in den letzten Jahren – hauptsächlich wegen unterschätzten Korrosions- und Sicherheitsproblemen – langsamer vorangekommen als ursprünglich geplant, wodurch sich der erstmalige kommerzielle Einsatz dieser Reaktoren von 1980 auf 1985 verschoben hat. Sollte sich die Einführung des Brutreaktors noch weiter verzögern, gewänne der oben erwähnte HTGR-Typ die Chance, sich ab 1980 als Zwischen-generation zwischen Leichtwasserreaktor und Brutreaktor zu etablieren.

– *Direkte Energieumwandlung* (4–7): Auf allen fünf in Bild 2 erwähnten Gebieten der Direktkonversion wurde während der 60-Jahre mit viel Begeisterung und Aufwand Forschung betrieben. Heute sind diese Anstrengungen stark reduziert oder überhaupt eingestellt worden, weil inzwischen erkannt worden ist, daß die außerordentlich niedrigen und deshalb unwirtschaftlichen Wirkungsgrade dieser Methoden (unter 1 %) prinzipiell nicht oder nur mit viel Mühe um wenig erhöht werden können. Aus diesem Grund wird in den nächsten 30 Jahren direkte Energieumwandlung nur dort Anwendung finden, wo Kosten eine untergeordnete Rolle spielen (z. B. photoelektrische Silizium-Solarzellen für Satelliten) oder wo Umweltsforderungen den Einsatz kategorisch verlangen (z. B. Brennstoffzellen für Stadtverkehrsmittel).

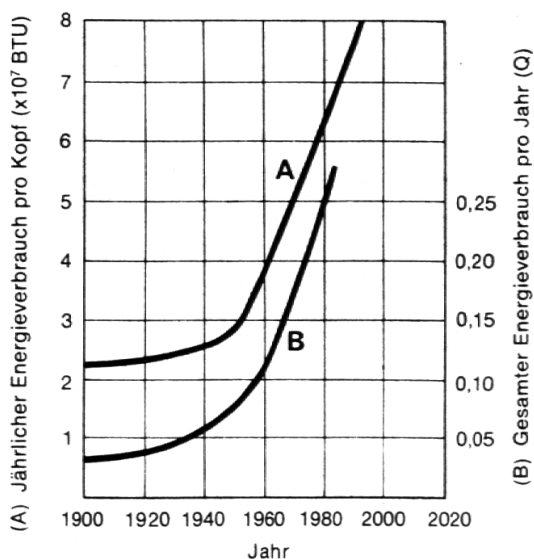
– *Kernfusionsreaktor* (3, 5): Auch die Forschungsarbeiten über die kontrollierte Kernfusion wurden im letzten Jahrzehnt sehr optimistisch begonnen und nach den ersten Enttäuschungen wieder reduziert. Heute schätzt man die Entwicklungsdauer bis zu einem eigentlichen Fusionsreaktor (mit direkter oder indirekter Energieumwandlung) realistisch auf etwa 50 Jahre, so daß im

Jahr 2000 die Kernfusion noch keinen Beitrag an die elektrische Energieerzeugung leisten wird.

Zusammenfassend kann zur technischen Entwicklung der elektrischen Energieerzeugung gesagt werden, daß die in Bild 2 enthaltene Projektion als Prognose für das Jahr 2000 deshalb gerechtfertigt zu sein scheint, weil – bei den mit zunehmender Komplexität der Systeme immer länger werdenden Entwicklungszeiten – für eine allfällige «Revolution» in der Energieerzeugung bis zum Jahr 2000 einfach keine Zeit mehr bliebe.

2. Entwicklung des Welt-Energieverbrauches

In der Beschreibung der einzelnen Energieerzeugungsmethoden ist mehrmals bereits der Begriff der Wirtschaftlichkeit aufgetaucht. Welches ist denn die wirtschaftliche Triebfeder, die zur beschleunigten oder verlangsamten Entwicklung von bestehenden oder neuen Energiesystemen führt?



(Bild 3)

«Jährlicher Weltenergieverbrauch pro Kopf (Kurve A) und totaler Weltenergieverbrauch pro Jahr (Kurve B) seit 1900»

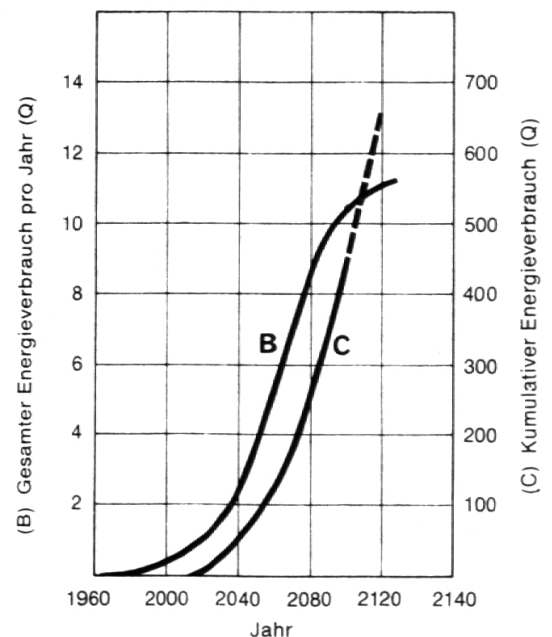
Die Antwort findet sich in Bild 3, wo die Steigerung des weltweiten, jährlichen Pro-Kopf-Verbrauches an elektrischer und fossiler Energie (Kohle, Öl und Gas) seit Beginn dieses Jahrhunderts dargestellt ist (AUSTIN & BREWER). Seit etwa 1950 ist dieser Verbrauch linear gewachsen und zeigt bis heu-

te noch kein Nachlassen in seinem Wachstum. Eine zukünftige Reduktion dieser Wachstumsrate ist, wenigstens bis zum Jahr 2000, schon deshalb nicht sehr wahrscheinlich, weil 1970 der Energieverbrauch pro Kopf

weltweit	5×10^7 BTU-Einheiten,
in der Schweiz	7×10^7 BTU-Einheiten,
in USA	30×10^7 BTU-Einheiten

betragen hat. Der weltweite Durchschnittsverbrauch pro Kopf ist, in anderen Worten, bei weitem noch nicht gesättigt. Auf welchem Niveau die unvermeidliche Sättigung eines Tages doch erreicht werden wird, ist heute ungewiß. AUSTIN & BREWER schätzen die Welt-Sättigungsgrenze, erreicht im Jahre 2150, auf 28×10^7 BTU (also unter dem heutigen USA-Verbrauch), während WEINBERG & HAMMOND aufgrund einer sorgfältigen Analyse der amerikanischen Verbrauchsstruktur zu einem bereits im Jahr 2080 erreichten Grenzwert von 60×10^7 BTU gelangen.

Neben einer solchen Vervielfachung des Pro-Kopf-Energieverbrauches wächst selbstverständlich auch die Weltbevölkerung weiterhin an, so daß das Produkt aus diesen zwei Faktoren, der *Weltenergieverbrauch pro Jahr* (Kurve B in Bild 3 und Bild 4) in den



(Bild 4)

«Weltenergieverbrauch pro Jahr (Kurve B) und akkumulierter Weltenergieverbrauch (Kurve C) seit 1960»

nächsten 100 Jahren geradezu explosionsartig zunehmen wird. Doch da auch die Weltbevölkerung nicht unbeschränkt wachsen kann – hier reichen die Schätzungen (unter Annahme einer konstanten Sterblichkeitsrate) von heute 3,4 Milliarden auf 15 bis 40 Milliarden Menschen im Jahre 2080 – muß auch der jährliche Weltenergieverbrauch schließlich eine obere Grenze finden. Diese Grenze wird von den Autoren AUSTIN & BREWER und WEINBERG & HAMMOND in relativ guter Übereinstimmung mit 11 Q/Jahr, resp. 9 Q/Jahr angegeben (1 Q = 10¹⁸ BTU-Einheiten). Gegenüber dem Weltenergieverbrauch 1970 von 0,17 Q entspräche ein solcher Sättigungswert einer Versechzigfachung des heutigen Verbrauches!

Angesichts derartiger Proportionen stellt sich sofort die Frage, ob die Erfüllung solcher gigantischen Verbraucherwünsche überhaupt realistisch in Betracht gezogen werden kann.

Vom rein *technologischen* Standpunkt aus ist die Frage zu bejahen. Eine Jahresproduktion von 9 Q könnte, nach einem Vorschlag von WEINBERG & HAMMOND, von 3000 größtenteils auf den Weltmeeren schwimmenden Energiekombinaten zu je 8 Brutreaktoren von 5000 MW Leistung erbracht werden. Allerdings müßten in einer solchen Zukunftswelt Reaktoren ab Fließband gefertigt werden können: Allein für den Ersatz von ausgedienten Reaktoren müßten täglich zwei neue in Betrieb genommen werden.

Nebst den prinzipiell lösbaren technologischen Problemen wirft eine Jahresenergieproduktion von 9 Q aber auch *ökologische* Probleme auf, die aus der Wechselbeziehung zwischen der Energieproduktion und der lokalen oder globalen Umwelt unseres Planeten erwachsen.

3. Ökologische Randbedingungen

Im folgenden sollen die vier wichtigsten ökologischen Randbedingungen betrachtet werden, denen der projizierte Weltenergieverbrauch unterworfen sein wird.

– Reserven an Energiequellen

Wird der jährliche Energieverbrauch aufaddiert, so erhält man eine Schätzung für die dafür notwendige, seit 1970 akkumulierte totale Weltenergieproduktion:

Im Jahr 2000	–	5 Q
2020	–	10 Q
2050	–	70 Q
2100	–	400 Q.

Erlauben die auf der Erde vorhandenen Energiereserven überhaupt die Gewinnung eines solchen Energiebetrages?

Die Weltenergiereserven werden heute wie folgt geschätzt:

Regenerative Reserven (Wasser, Geothermik, Gezeiten)	0.15 Q/Jahr oder bis 2100	20 Q
Fossile Reserven (Kohle, Öl, Gas)	große Schwankungen	14...110 Q
Kernbrennstoffe (Uran, Thorium)	abhängig vom Aufarbeitungspreis; bei max. 400 Fr/t	1200 Q

Im Vergleich zum projizierten Bedarf von 400 Q bis 2100 kann festgestellt werden, daß die regenerativen Reserven in Zukunft nur eine beschränkte Rolle spielen werden; daß die fossilen Reserven in den nächsten 50 bis 100 Jahren endgültig zur Neige gehen werden und deshalb genügend frühzeitig geschont werden müssen; daß die vorhandenen Kernbrennstoffe aber, selbst wenn in den heutigen Leichtwasserreaktoren verbrannt, für mindestens 250 Jahre ausreichen sollten. Werden sie – wie erwartet – in Brutreaktoren eingesetzt, so fällt eine Beschränkung der Energieproduktion wegen ungenügender Reserven nach heutiger Voraussicht für viele Jahrhunderte hinweg. – Eine zusätzliche, ähnlich optimistische Überlegung läßt sich auch für die im Meerwasser enthaltenen Kernfusionsbrennstoffe Deuterium und Lithium anstellen.

– Atmosphärische Verschmutzung

Grundsätzlich können zwei Arten von atmosphärischer Verschmutzung durch Energieproduktion unterschieden werden.

Erstens werden durch Verbrennungsmotoren und durch ölverfeuernde thermische Kraftwerke Schwefeldioxyd (SO₂), Kohlenmonoxyd (CO), Kohlendioxyd (CO₂) und Rußteile in die Atmosphäre abgegeben. Eine derartige *Luftverschmutzung* ist in jedem

Fall technisch entweder lösbar oder vermeidbar; ihre Beseitigung ist nur eine Frage der Kosten, und damit letztlich eine Frage des entsprechenden Druckes der Öffentlichkeit.

Zweitens besteht – heute noch theoretisch – die Gefahr, daß durch die Verbrennung des größten Teils unserer fossilen Brennstoffe die Konzentration an CO_2 in der Erdatmosphäre derart anwächst, daß der globale Wärmehaushalt ins Ungleichgewicht gerät. Da CO_2 -Gas

- durchlässig für das ultraviolette und sichtbare Licht der Sonneneinstrahlung, aber
- undurchlässig für die infrarote Rückstrahlung der Erde ins Weltall

ist, könnte sich bei einer wesentlichen Erhöhung der CO_2 -Konzentration ein *Wärmeschild* um die Erde bilden, das zu einem spürbaren Anstieg der Erdtemperatur führen würde.

Die bisherigen Messungen zeigen in der Tat eine Erhöhung der atmosphärischen CO_2 -Konzentration von 0,029 % im Jahr 1900 auf 0,034 % im Jahr 1970, was allerdings bis jetzt noch zu keiner beobachtbaren Temperaturveränderung geführt hat. Würden jedoch im Laufe der Zeit alle unsere fossilen Brennstoffvorräte von max. 110 Q verfeuert werden, so hätte das eine Steigerung der CO_2 -Konzentration auf 0,150 % zur Folge. Der daraus resultierende Temperaturanstieg berechnet sich auf $+4^\circ\text{C}$, eine Veränderung, die genügen würde, um beide Pole der Erde zu schmelzen.

Diese Rechnung hat insofern einen Haken, als sie stationäres Verhalten annimmt und Strömungen in der Atmosphäre nicht berücksichtigt. Trotzdem ist der CO_2 -Wärmeschildeffekt – solange seine Ungefährlichkeit nicht bewiesen ist – ernstzunehmen und als ökologische Randbedingung für den Verbrauch von fossilen Brennstoffen einzusetzen. Er liefert einen weiteren Grund, die Umstellung von fossilen auf nukleare Brennstoffe voranzutreiben.

– Erzeugung von Abfallwärme

Aus thermodynamischen Gründen fällt bei jeder indirekten Umwandlung von thermischer Energie in elektrische Energie rund 60 % Abfallwärme an. Diese nicht sehr hochwertige Energie kann prinzipiell als

Heizwärme oder chemische Prozeßwärme verwertet werden, doch wird sie heute meist durch Wasserkühlung beseitigt. Die Konsequenzen einer solchen Abführung der Abfallwärme an die Umwelt lassen sich an dem für eine Industriegesellschaft typischen Beispiel der USA illustrieren.

Der jährliche Süßwasser-Abfluß der USA beträgt, je nach Niederschlagsmenge, 150 bis 200 Milliarden m^3 . Davon wurden 1970 20 Mia. m^3 allein für die Kühlung von thermischen Kraftwerken benötigt. Bis zum Jahr 2000 wird der Kühlwasserbedarf der Kraftwerke auf 40 Mia. m^3 steigen, was dann bereits ein Viertel bis ein Fünftel der gesamten Abflußmenge darstellt. Während 1970 das verwendete Kühlwasser durch die Abfallwärme um durchschnittlich 6°C erwärmt wurde, würde im Jahr 2000 die doppelte Kühlwassermenge um volle 26°C erwärmt werden müssen, wenn die dazumal anfallende Abfallwärme noch auf diese Weise beseitigt werden sollte.

Mag die Überlegung in diesem Beispiel auch etwas schematisch sein, so zeigt sie doch die Größenordnung des Erwärmungsproblems, mit dem sich die elektrische Energieerzeugung konfrontiert sieht. Als Lösungsmöglichkeiten bieten sich heute oder in Zukunft an:

- Verwertung der Abfallwärme als Heiz- und Prozeßwärme
(Wegen schlechter Transportfähigkeit nur beschränkt möglich, evtl. Aquakultur);
- Verwendung von Kühltürmen
(Wärmeabgabe an Atmosphäre kann sich lokal ebenfalls nachteilig auswirken [Smog, Nebelbildung]);
- Meerwasserkühlung schwimmender Energiekombinate
(Vorschlag WEINBERG & HAMMOND, Energieübertragungsprobleme, sehr kapitalintensiv);
- Direkte Energieumwandlung
(Kapazität und Wirtschaftlichkeit zweifelhaft, außer evtl. mit Kernfusion);
- Beschränkung des Energieverbrauches
(in welcher Form?).

In Wirklichkeit wird nicht eine Methode die Lösung des Abfallwärmeproblems herbeiführen, sondern eine sinnvolle Kombination aller erwähnten Methoden. Eine Beschränkung des Energieverbrauches wird unseres

Erachtens aber auch im besten Fall nicht zu umgehen sein.

– Strahlungsgefährdung

Als letzte ökologische Randbedingung, die den Menschen sehr direkt betrifft und deshalb auch kaum in Gefahr gerät, vergessen zu werden, sei die Belastung durch radioaktive Strahlung erwähnt. Diese erwächst zwangsweise aus der (uns durch die Randbedingungen der Energiereserven und der atmosphärischen Verschmutzung aufgeprägten) Umstellung von fossilen auf nukleare Brennstoffe.

WEINBERG & HAMMOND haben im Rahmen ihres Vorschlages für 3000 Energiekombinate auch die hauptsächlich bei der Aufarbeitung und Lagerung von ausgebrannten Kernbrennstoffen auftretende Strahlungsbelastung untersucht. Obschon sie zeigen können, daß weltweit über Jahrhunderte hinaus genügend unterirdische Deponiemöglichkeiten für radioaktive Abfälle zur Verfügung stehen, stimmen die Dimensionen des Problems nachdenklich: Die in den 3000 Kombinate verbrauchten Kernbrennstoffe würden jährlich 75 km² zusätzlichen Platz in geeigneten unterirdischen Salzlagern benötigen.

In unserer Betrachtung des Beispiels der elektrischen Energieerzeugung haben wir versucht, technische Entwicklung, wirtschaftliche Triebfeder und verschiedene Umweltsbedingungen zueinander in Beziehung zu setzen. Im Grunde haben wir damit

ein sozio-ökonomisches Teilsystem abgetastet. Als Ergebnis hat sich im Lichte der Randbedingungen vorsichtig, aber bestimmt die Erkenntnis herausgeschält, daß früher oder später der Weltenergieverbrauch eingeschränkt werden muß.

Ob eine solche Einschränkung durch Mäßigung des Energieverbrauches pro Kopf oder aber durch eine Beschränkung der Zahl der Köpfe erfolgen soll, ist eine offene Frage. Sicher ist, daß beide Maßnahmen nicht nur Auswirkungen auf das Teilsystem der Energieerzeugung hätten, sondern auch auf weitere, bisher nicht betrachtete Teilsysteme wie Ernährung und Agrikultur, Transport, Kommunikation, usw. Um die Folgen und die Wirksamkeit derartig vielschichtiger Maßnahmen abschätzen zu können, müßte deshalb nichts weniger als die Schaffung eines totalen Weltmodells, das alle wichtigen Teilsysteme umfaßt, angestrebt werden.

Literatur

A. L. AUSTIN und J. W. BREWER, World Population Growth and Related Technical Problems, IEEE Spectrum, Dezember 1970

J. W. FORRESTER, Counterintuitive Behavior of Social Systems, Technology Review, Januar 1971

J. W. FORRESTER, World Dynamics, Wright-Allen Press 1971

P. MORRISON, Intellectual Prospects – The Natural Sciences, Technology Review, Januar 1969

A. M. WEINBERG und R. P. HAMMOND, Global Effects of Increased Use of Energy, 4. Genfer Atomkonferenz, September 1971.

Aus: «Landis & Gyr Hauszeitschrift» Nr. 6/71 und 2/72

Tragweite und Grenzen der biologischen Forschung und Technik *

Josef Brun-Hool

Bei der Frage «Was ist der Mensch?» wird der Frager nicht darum herumkommen, sich auch an den Biologen zu wenden, an jenen Wissenschaftler nämlich, dessen Forschungsgebiet die Erscheinungen des Lebenden sind, der sich mit all dem befaßt, was die lebende Natur betrifft, mit Pflanze, Tier und Mensch. Diese Wissenschaft, die Biologie, oder die Lehre vom Leben und seinen mannigfachen

Erscheinungsformen, ist schon immer auf die Bemühung um immer neue Erkenntnisse, das heißt auf Forschung angewiesen gewesen. Moderne biologische Forschung ist nur noch in den wenigsten Fällen einfache Beobachtung in freier Natur oder im Laboratorium; mehr und mehr ist sie von Hilfsmitteln abhängig geworden, die sich mit wachsender Kenntnis vom einfachen Werkzeug wie Lupe, Pinzette, Käscher, Pflanzenpresse zu immer komplizierteren Geräten wie Elektro-

* Aus: «Civitas» Nr. 3, 27. Jhrg. (1971/72), S. 150 ff.