

Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Ludwig Bölkow:
Entscheidungen
für eine
langfristige
Energiepolitik



EAT

Entscheidungen für eine langfristige Energiepolitik

Vortrag von
Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Ludwig Bölkow
vor dem
Peutinger-Collegium in München
am 25. März 1982

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung/Zeitfaktor	5
2.	Die Energiesituation	11
2.1	Energie der Bundesrepublik	11
2.2	Energie global	16
3.	Der zukünftige Energiebedarf – die Prognose	20
3.1	Globaler Bedarf	22
3.2	Prognose für den Bedarf der Bundesrepublik	22
3.3	Energiebedarfssenkung	32
4.	Deckung des Bedarfs	40
4.1	Randbedingungen	40
4.1.1	Das Wärmegleichgewicht der Erde	40
4.1.2	CO ₂ -Haushalt der Erde	40
4.1.3	Verschmutzung der Umwelt	45
4.1.4	Energierohstoffe	46
4.1.5	Werkstoffe	46
4.1.6	Kosten und Wirtschaftlichkeit	46
4.2	Deckungsmöglichkeiten	47
4.2.1	Energie aus dem physikalischen Werden der Erde	47
4.2.2	Energie aus der Einwirkung der Sonne auf die Erde	47
4.2.3	Energie aus der täglichen Sonnenstrahlung	47
4.3	Bewertung	48
4.3.1	Kernbrennstoffe	48
4.3.2	Fossile Brennstoffe	51
4.3.3	Sonnenstrahlungskreislauf	55
5.	Wege	57
5.1	„Klassische“ Versorgung	57
5.2	Kernkraft	58
5.3	Sonnenenergie, eine sich laufend erneuernde Energieform	62
5.4	Die Wasserstoffwelt	78
6.	Zusammenfassung	89
7.	Schlußbemerkung	92

1. Einleitung/Zeitfaktor

Die seit Jahren anhaltende, teilweise sehr hektische Diskussion über die richtige Art der zukünftigen Versorgung unserer nationalen wie auch weltweiten Gesellschaft mit Energie hat zu irrationalen, zu oft emotionalen, aber auch macht- und wirtschaftspolitisch demagogisch bewußt fehlgeleiteten Einstellungen geführt. Dies ist nicht nur bei einzelnen Bürgern, sondern vor allem bei unseren gewählten Entscheidungsträgern, das heißt unseren Politikern, der Fall.

Schon Anfang der 50er Jahre warnten Physiker, Volkswirte und auch einige Politiker vor der Erschöpfung der fossilen Energieträger. Seit 1946 wird an der wirtschaftlichen Nutzung der Kernspaltung gearbeitet. Seit 1951 existieren die ersten Vorschläge zur intensiveren Nutzung der Sonnenenergie. Seit 1957 läuft in Shippingsport der erste nichtmilitärische Leichtwasserreaktor der USA. Das war wahrlich viel Zeit zum Überlegen und Planen. Es geschah aber nichts. Der Blick der Energiewirtschaftler war bis zum Beginn des 7. Jahrzehnts vor allem auf die Erschließung neuer Ölquellen gerichtet. Das billige Öl begann in den 60er Jahren seinen Siegeszug. Es verdrängte bei uns in der Bundesrepublik bisherige Energieformen, wie zum Beispiel die Steinkohle, weitgehend. Für die Produzenten von Energie durch Verbrennen von Öl und Gas stiegen die Bilanzzahlen und Gewinne in dem Ausmaß, in dem unsere auf Wohlstandsrausch und Wegwerfstrategie sich ausrichten lassende Gesellschaft die im Überfluß angebotene Energie verschwendete.

Anfang der 70er Jahre begann eine Ernüchterung. Veröffentlichungen des „Club of Rome“, von Gruhl, von Schumacher und vielen anderen wurden langsam bekannt und in der Öffentlichkeit diskutiert. Die Ölkrise 1973/74 überfiel die Wirtschaftlenker. Erste Prognosen über außerordentlich hohen Energiebedarf in der Zukunft erschreckten die Bürger. Aber auch erste Berichte über US-Pannen beim Betrieb von Leichtwasserreaktoren wurden in der europäischen Öffentlichkeit bekannt.

Auf der einen Seite machten sich Pessimismus, Untergangsstimmung, Technikangst und Technikablehnung immer breiter und erfaßten mehr und mehr vor allem junge Menschen, auf der anderen Seite herrschte betonter Optimismus, zum Teil basierend auf einer zwar nicht sehr überzeugenden, dafür aber um so überheblicheren Besserwisserei. Die Zeit der Experten, der Prognostiker, der Institute, der Lobbyisten, der „zweckfreien“ Wissenschaftler auf dem Energiesektor begann.

Sie trugen bis heute durch die Art der Darstellung ihrer Meinungen kaum zur Aufklärung und zum Vertrauen des Bürgers bei. Von seinen und seiner Kinder Lebensbedingungen, vor allem von deren Umwelt, von den Möglichkeiten bzw. der Notwendigkeit einer Änderung dieser bis heute durch die Wohlstandsgesellschaft geprägten Anspruchswelt mit oder ohne Verlust des Lebensstandards, sprach trotz der Begrenztheit der Reserven kaum jemand.

So ist es zu unserer labilen, in Fragen der Energie sehr zerrissenen Gesellschaft gekommen. Die einen stürmen Kernkraftbaustellen, ohne zu wissen, was man an deren Stelle setzen soll. Andere wollen alternativ leben, können es aber kaum, ohne letztlich für ihre Existenz auf die Hilfen der Industriegesellschaft zurückzugreifen. Die Parteien, die Regierung, die Interessenverbände stehen mitten in dieser Auseinandersetzung und sind in ihrer Auffassung selbst zerstritten. Über eines sind sich die wenigsten Verantwortlichen im klaren und wenn, dann haben sie versäumt, es in dem notwendigen Maß dem Bürger klarzumachen: Nichts ist so stabil, zäh und nur mit aller Vorsicht und Behutsamkeit zu ändern, wenn eine Aussicht auf langfristigen und anhaltenden Erfolg gegeben sein soll, wie die vielfältigen Deckungsarten unserer Industriegesellschaft mit Energie. Diese Tatsache möchte ich Ihnen anhand ausgewerteter Statistiken zur Einleitung zeigen:

Seit der Umbildung unserer Agrargesellschaften zu Industriegesellschaften in den nördlich gemäßigten Zonen laufen alle großen Wandlungen in ihrer technisch-wirtschaftlichen Durchsetzung mit einer nahezu naturgesetzlichen statistischen Präzision. Die sogenannte logistische Kurve erfaßt seit nahezu 200 Jahren alle wesentlichen Erscheinungen.

Betrachten Sie in der Abb. 1 die Schar der statistischen Kurven, die für die Bildung der Industriegesellschaften typisch waren und sind. Sie sehen eine Anlaufphase von 50–70 Jahren, teilweise sogar noch mehr, und dann die Zeit eines linearen stürmischen Wachstums bis zu gewissen Sättigungen.

Ähnliche Feststellungen über einen derartigen Zeitfaktor im Fall von Änderungen auf dem Gebiet der Versorgung mit Energie machten Mitarbeiter von Häfele bei ihren Studien in Laxenburg. Die statistische Untersuchung dieser Vorgänge in 30 Ländern anhand von 300 Beispielen war so streng in ihrem Ergebnis, daß eine Zusammenfassung in einem logistischen Ersatzmodell möglich war. Sie sehen das Ergebnis auf der Abb. 2.

Daß diese Modelle keine mathematischen Spielereien sind, möchte ich Ihnen anhand von Abb. 3, einer Darstellung der Energieträgeränderungen

in den USA seit 1850, aus einem Sonderheft des National Geographics, zeigen.

Mit diesen drei Abbildungen möchte ich Sie zur Einleitung meiner Ausführungen auf die Unerbittlichkeit des darin zum Ausdruck kommenden Zeitfaktors hinweisen. Wir müssen national und global weg von kurzfristigen Überlegungen von 20–30 Jahren und uns klar machen, daß wir heute mit den Änderungen unseres Versorgungssystems beginnen müssen, die in 50–100 Jahren die Lebensgrundlage für die nach uns Kommenden bilden. „Langfristig“ bedeutet, heute Entscheidungen zu fällen für die Mitte und das Ende des nächsten Jahrhunderts. Die Bedeutung dieses Zeitfaktors in seiner Unerbittlichkeit verbietet allen Verantwortlichen jedes Taktieren, jede private oder industrielle Eigennützigkeit, jede Angst vor dem „Gesicht verlieren“, jede Rücksichtnahme auf Wahltermine und vor allem jedes Versprechen eines sorgenlosen Wohllebens.

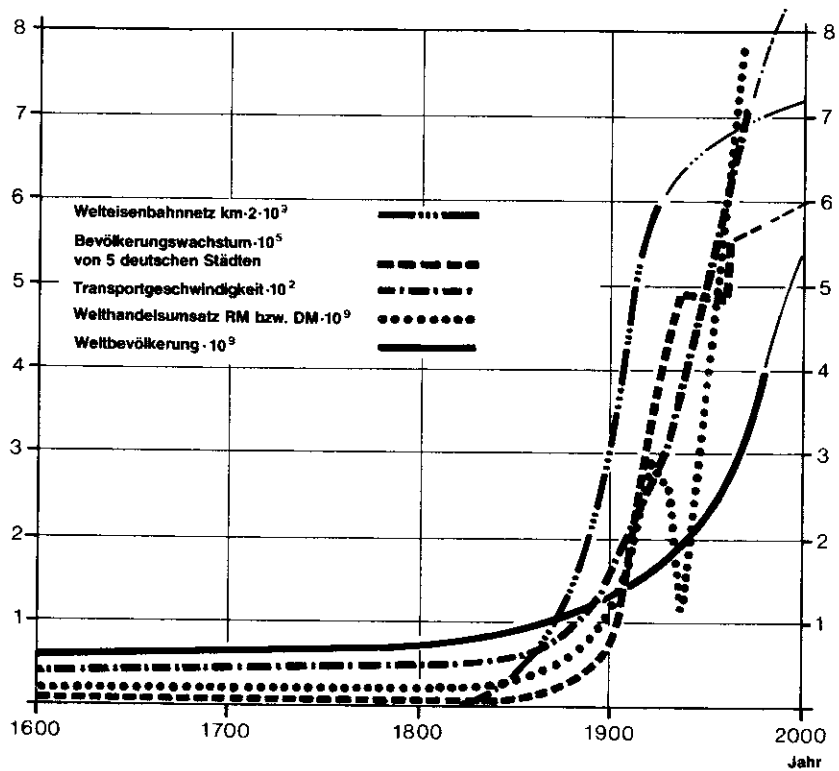


Abb. 1 Auswirkungen der industriellen Evolution

(Quelle: World Facts and Trends)

EAT

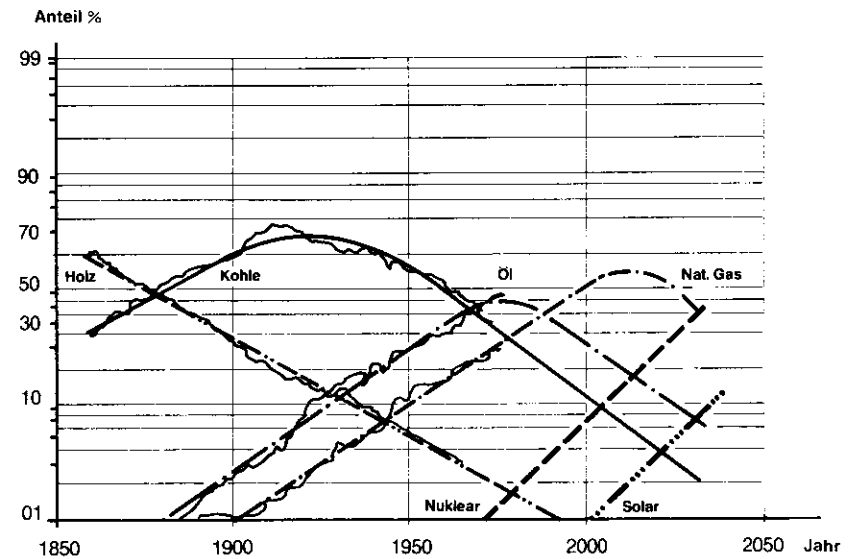


Abb. 2 Marktanteile einiger Energieträger

(Quelle: „Energy in a Finite World“ – IIAASA)

EAT

2. Die Energiesituation

Vorweg einige wenige Maßeinheiten, auf die wir uns zum gegenseitigen Verständnis beschränken wollen (Abb. 4):

Leistung, das heißt die Fähigkeit, Arbeit in einer bestimmten Zeit zu verrichten, wollen wir nur in

1 Kilowatt (kW) = 1000 Watt (W) und in

1 Megawatt (MW) = 1000 kW = 1 Mio. W ausdrücken.

Energie = Leistung x Zeit wird in

1 Kilowattstunde (kWh) und in

1 Kilowattjahr (kWa) = 8766 kWh gerechnet

(1 Jahr hat 8766 Stunden).

Zur Erzeugung der Energie eines kWa brauchen wir zum Beispiel fossile Rohstoffe wie Kohle. Aus diesem Grund wird seit langem die Energie vielfach in Steinkohlenmengen (SKE) ausgedrückt, die notwendig sind, um einen bestimmten Energiebetrag zu erzeugen. 1 Kilowattjahr entspricht physikalisch, das heißt ohne Verlust, ungefähr 1 Tonne Steinkohle oder 700 kg Erdöl.

Bei globalen Betrachtungen tauchen in der Literatur zwei weitere Begriffe auf: 1 Terrawattjahr (TWa) = 1 Jahr x 1 Billion Watt, dies entspricht ungefähr 1 Mrd. Tonnen Steinkohle (10^9 t SKE).

Um diese Maßeinheiten in einen begreifbaren Zusammenhang zu bringen, sei erwähnt:

- Ein moderner Kernkraftwerkblock hat eine Leistung von 1200 Megawatt, das heißt 1200 Mio. Watt. Bei einer Jahresbetriebsdauer von 6000 Stunden erbringt er 7,2 Mrd. kWh elektrischen Strom pro Jahr.
- Zum Vergleich beträgt die Jahresproduktion an elektrischer Energie für das öffentliche Netz 1980 in der Bundesrepublik rund 320 Mrd. kWh.
- Der Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik betrug in den letzten drei Jahren um 400 Mio. t SKE oder 0,4 TWa.
- Der Primärenergieverbrauch in der Welt beträgt zur Zeit ungefähr 9,5 Mrd. t SKE, das heißt ungefähr 9,5 TWa pro Jahr.

2.1 Energie der Bundesrepublik

Die Situation des Energieaufkommens und des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik ist mit allen Verzweigungen sehr gut in einer jährlich

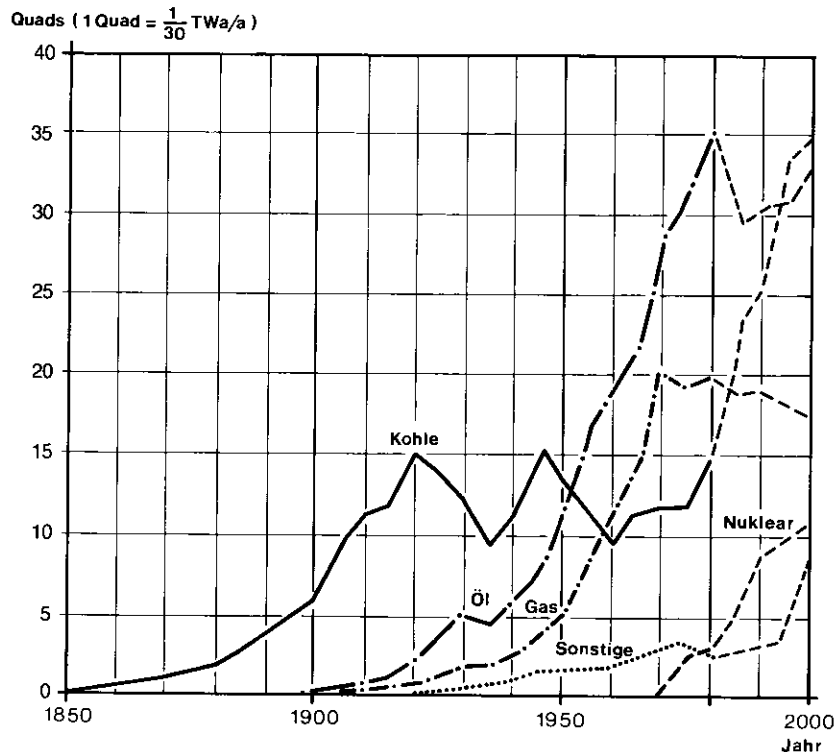


Abb. 3 Die zeitliche Entwicklung des Energieträgerverbrauchs EAT in den USA

(Quelle: National Geographic)

Leistung = Fähigkeit, in einer bestimmten Zeit Arbeit zu verrichten

1 Kilowatt (kW) = 1000 Watt (W)

1 Megawatt (MW) = 1000 kW = 1 Mio W

Energie = Leistung x Zeit

1 Kilowattstunde (kWh) = 1 kW x 1 h

1 Kilowattjahr (kWa) = 8766 kWh

≅ 1 t Steinkohle (1t SKE)

≅ 700 kp Erdöl

1 Terrawattjahr (TWa) = 1 Billion Watt x 1 Jahr

≅ 1 Mrd t SKE

Abb. 4 Energiemaßeinheiten

EAT

immer wieder auf den neuesten Stand gebrachten Grafik der RWE (Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerke) dargestellt (Abb. 5).

Zur Vereinfachung haben wir es für unseren heutigen Zweck zu einem Blockdiagramm umgezeichnet (Abb. 6).

Unser Primärenergieverbrauch, das heißt der Verbrauch der Rohstoffe Kohle, Öl, Gas, Uran und Wasserkraft, betrug in den letzten drei Jahren etwa 400 Mio. t SKE mit sinkender Tendenz. Bei der Umwandlung dieser Rohstoffe in die Energieform, die der Verbraucher benötigt, wie zum Beispiel Heizöl, Benzin, Strom usw., gehen rund 100 Mio. t SKE verloren (Umwandlungsverlust). Abzüglich des nichtenergetischen Verbrauchs, das heißt Rohstoffe für Kunststoffe, für die Chemie und ähnlichem, verbleibt beim Benutzer eine sogenannte Endenergie von 270 Mio. t SKE, das ist nur rund 67 % der eingesetzten Primärenergie. Wichtig für die Betrachtung ist nun die viertletzte Säule, die die Zusammensetzung der Endenergie und damit die der sogenannten Sekundärenergieträger darstellt. Sie zeigt für das Jahr 1979 noch einen Ölanteil von 56 %. Diese Prozentzahl hat sich bekanntlich für 1980/81 auf eine Größenordnung von 45 % stetig verringert.

Die zweitletzte Säule zeigt die Verwendung der Endenergie bei den einzelnen Verbrauchern. Es ist wichtig, festzustellen, daß Heizung und Warmwasser mit rund 50 % dominieren. Da es sich hierbei um Temperaturen von erheblich unter 100°C handelt, ist hier der erste Ansatz einer Substituierung des Öls und der Kohle einmal durch Wärme „minderer“ Qualität und dann vor allem durch Gebäudeisolierung, Wärmerückgewinnung und ähnlichem.

Bei einer Betrachtung dieser Bilanz ist vor allem für einen Ingenieur erschreckend, daß die „genutzte“ Energie, das heißt mechanische Arbeit, Fahrleistung, Wärme, Prozeßwärme und anderes, nur 30–32 % der eingesetzten Energie ausmacht. Alles andere sind ungenutzte Energie bzw. Umwandlungsverluste. Sie heizen ohne Nutzen die Atmosphäre auf.

Unten links auf Abb. 6 finden Sie noch einen kleinen Anteil „unerschöpfliche“ Energie mit den Werten von 6 Mio. Dieser Wert täuscht, da die gezeigte Energiebilanz nur das erfaßt, was die Energiebranche verkauft, das heißt die sogenannten „kommerziellen“ Energieträger. Es handelt sich hierbei um Wasserkraft und eine Schätzung dessen, was schon installierte Wärmepumpen aus der Umwelt entnehmen.

Über die nichtkommerzielle Energieerzeugung gibt es keine Statistik. Eine Studie zeigt zum Beispiel, daß in der Landwirtschaft genausoviel Energie

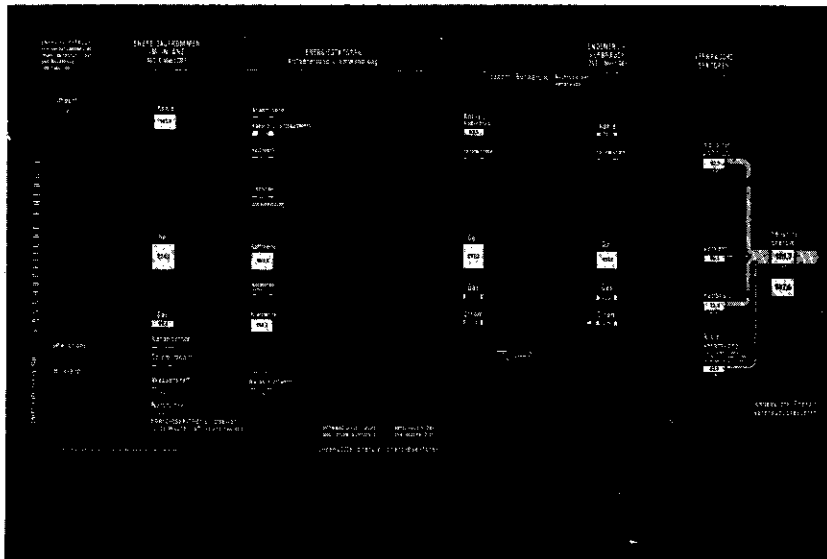


Abb. 5 Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland

EAT

(Quelle: RWE, Abt. Anwendungstechnik)

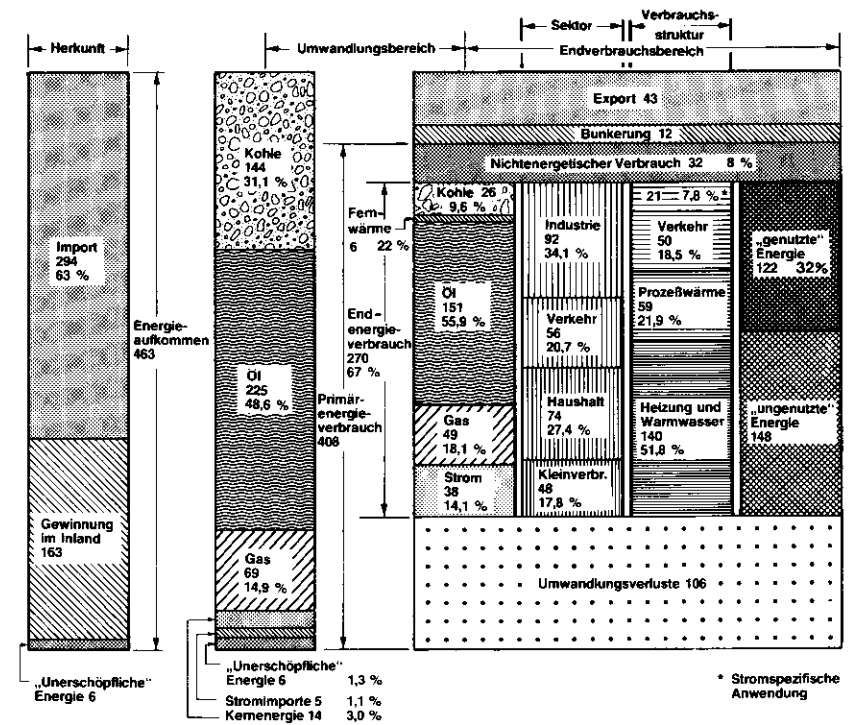


Abb. 6 Vereinfachte Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 1979 (in Mio. t SKE)

EAT

aus Holz wie aus Heizöl verwendet wird. Insgesamt dürften 1979 ungefähr 8–10 Mio. t SKE „privat“ erzeugt worden sein.

2.2 Energie global

Der Weltenergieverbrauch liegt heute in der Größenordnung von 9,5 Mrd. t SKE oder, anders ausgedrückt, 9,5 TWa pro Jahr. Umgerechnet auf den Kopf der Weltbevölkerung sind das ungefähr 2 t SKE pro Jahr oder rund 2 kWa.

Abb. 7 gibt eine vereinfachte Darstellung einer Weltenergiebilanz aus dem Jahr 1975 wieder. Sie zeigt große Ähnlichkeit mit der der Bundesrepublik. Auch hier beherrscht beim Energieverbrauch das Öl mit rund 50 % die Szene.

Interessant und politisch gewichtig ist eine Betrachtung der Verteilung des Energieverbrauchs auf die verschiedenen Regionen der Welt (Abb. 8). Der Weltdurchschnitt betrug im Jahr 1976 – wie schon erwähnt – rund 2 kWa/a pro Kopf.

Sie sehen aus der Darstellung, daß wir in der Bundesrepublik ungefähr 6 kWa/a pro Kopf verbrauchen. In dieser Größenordnung liegen ebenfalls die DDR, Australien, Luxemburg, Dänemark, CSSR, Österreich und – zur Überraschung – die UdSSR. Es handelt sich bis auf die UdSSR um Länder mit einem ähnlichen Lebensstandard.

Am untersten Ende liegen Länder mit den höchsten Bevölkerungszahlen wie zum Beispiel China, Indonesien, Indien, Nigeria, Ägypten und andere.

Am anderen Ende findet man die großen Energieverschwender wie Kanada, die USA und Norwegen mit einem sechs- bis siebenfach höheren Durchschnittsverbrauch zwischen 11 und 13 kWa/a.

Insgesamt ergibt eine Aufgliederung des Energieverbrauchs der Welt nach Vielverbrauchern – sprich zum großen Teil Verschwendern – und Wenigverbrauchern (Abb. 9) ein Bild des Nord-Süd-Problems. 30 % der Menschheit verbrauchen 85 % der Weltenergie. Ein Bild, welches sich leider nicht in Jahren, sondern nur in Jahrzehnten – wenn überhaupt – ändern läßt.

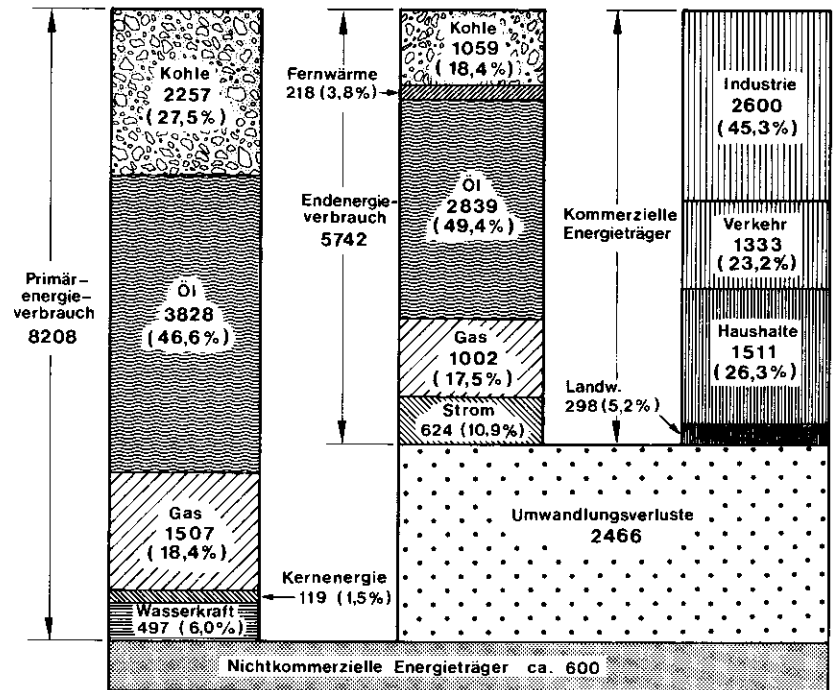


Abb. 7 Vereinfachte Energiebilanz der Welt (in Mio. t SKE)

(Quelle: „Energy in a Finite World“ – IIASA)

EAT

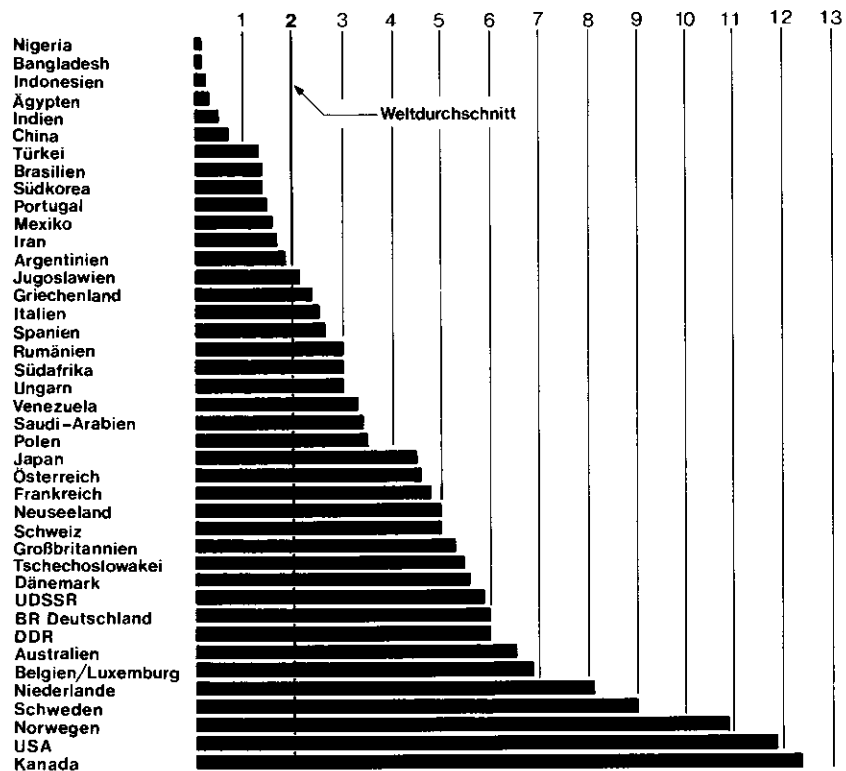


Abb. 8 Jährlicher Energiebedarf pro Kopf der Bevölkerung 1976 (t SKE)

(Quelle: DFVLR)

EAT

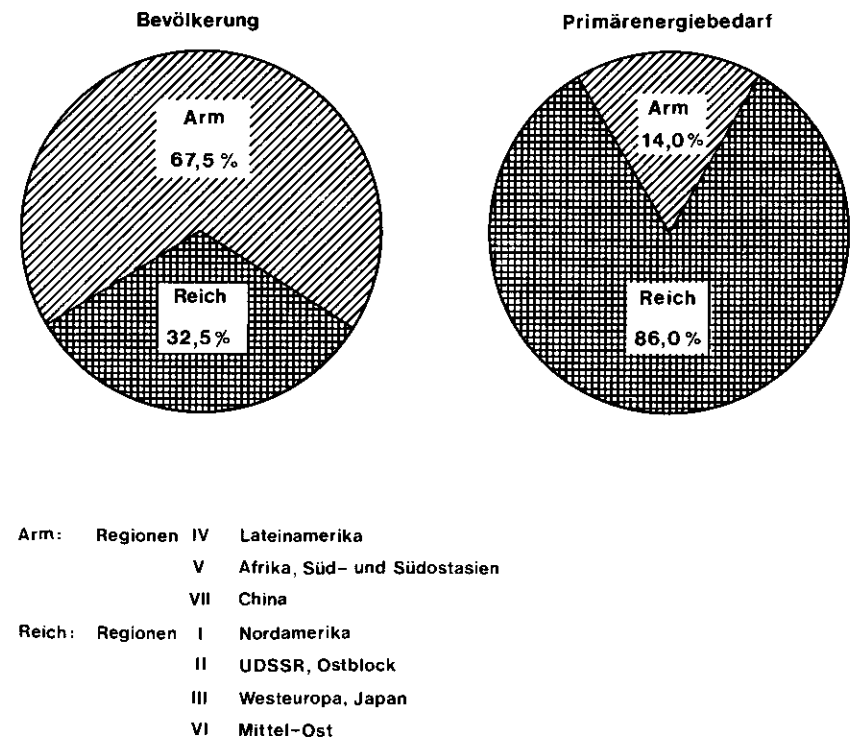


Abb. 9 Energieverbrauch und Wohlstand

(Quelle: IIASA-Handbuch)

EAT

3. Der zukünftige Energiebedarf – die Prognose

Der zukünftige Energiebedarf – national wie global – ist seit rund 25 Jahren heftig umstritten. Die Bandbreite der Prognosen geht von summarischen Fortschreibungen, die sich zunehmend als zu hoch herausgestellt haben, bis zu sehr ins Detail gehenden Arbeiten. Nicht nur hin und wieder, sondern auffällig oft waren Außenseiterprognosen zutreffender als die der „elitären“ Wissenschaftler, was diese aber kaum zuzugestehen bereit waren. Auf diesem Gebiet ist vieles möglich.

Teilweise wird mit riesigem institutionellem Aufwand gearbeitet. Allein in der Bundesrepublik sind in den letzten Jahren viele Millionen – zumeist institutionalisiert – ausgegeben worden. Schlagworte wie Soft-Energie gegen Hard-Energie, Arbeitsplatzsicherung, notwendiges Wachstum des BSP, Alternativwelt, Energiewende, „in Deutschland gehen die Lichter aus“ und andere beherrschen nicht nur die Öffentlichkeit, sondern auch die Gremien.

In Deutschland produzierten allein in den letzten Jahren sechs bis acht Wirtschaftsinstitute, Spezialabteilungen der Kernforschungsanstalten, die ASA, das ISP, die VDEW, das Prognos und andere laufend Prognosen und Programme für die Verbraucher, für Energieverkäufer, wie zum Beispiel die EVUs im VDEW, für die Energieprogramme der Regierung der Bundesrepublik und der Länder sowie für deren Anpassungen, das heißt Fortschreibungen.

Seit Mitte der 70er Jahre schwebt über allem zur globalen Rückendeckung eine Arbeitsgruppe des Internationalen Instituts für Angewandte Systemanalyse (IIASA) in Laxenburg unter der Leitung von Professor Wolf Häfele, der seit 1981 wieder in der Bundesrepublik als Sprecher der KFA Jülich tätig ist.

Ausgehend von dem schon erwähnten Weltenergieverbrauch von zur Zeit ~ 9,5 Twa und damit von einem durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch von ~ 2 Twa, wird global und auch regional bei einer geschätzten Bevölkerungszunahme, die Sie aus der Abb. 10 sehen, und von gewissen Vorstellungen über die notwendige Erhöhung der Bruttosozialprodukte in den Ländern der Welt (Nord-Süd) mit wissenschaftlicher Sorgfalt – was man zugestehen muß – die Zukunft errechnet.

Nach dem heutigen Stand unseres demographischen Wissens müssen wir wohl mit einer Zunahme der Menschheit auf 9–10 Mrd. rechnen. Ein Teil der Prognostiker glaubt, daß sich durch ähnliche Effekte, wie sie in unserer

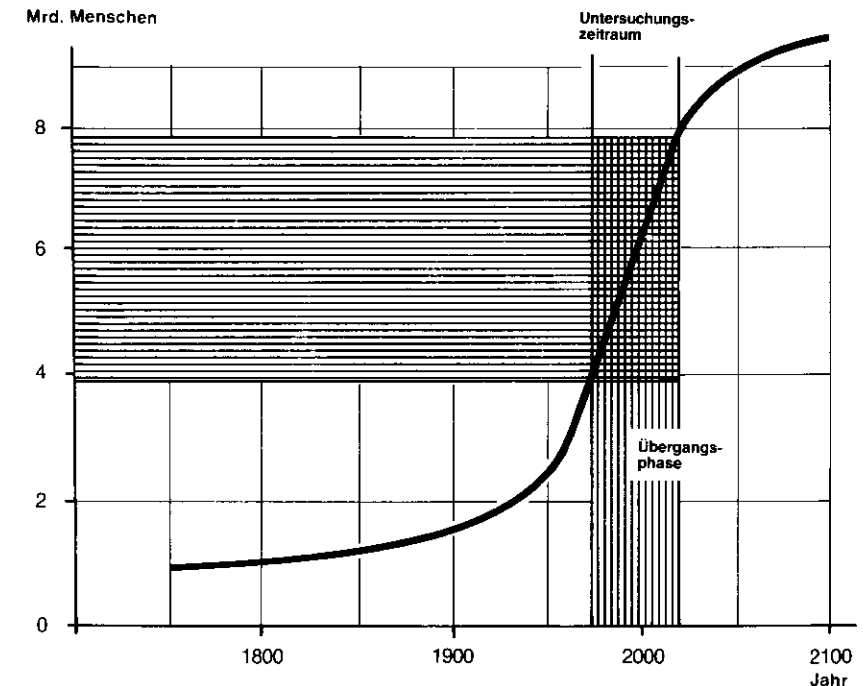


Abb. 10 Historische und projizierte Weltbevölkerung

EAT

(Quelle: „Energy in a Finite World“ – IIASA)

Industriegesellschaft aufgetreten sind (Abb. 11), ein langsamer Rückgang des Bevölkerungsüberschusses einstellen wird.

Auf längeren Reisen in Entwicklungsländer und aufgrund des Brandtschen Nord-Süd-Berichts habe ich über diese Frage viel nachgedacht und gewisse Entwicklungen verfolgt. Die „demographic transition“, an die die Fachwelt noch auf der Bukarester UNO-Konferenz 1974 glaubte, tritt meiner Ansicht nach in den nächsten Jahrzehnten in den Entwicklungsländern nicht ein. Hierauf näher einzugehen, würde heute zu weit führen.

3.1 Globaler Bedarf

Wir werden also wohl im nächsten Jahrhundert, trotz wahrscheinlich zunehmenden Hungers und sonstiger Katastrophen, mit einer Bevölkerungszunahme bis auf 10 Mrd. rechnen müssen.

Abb. 12 zeigt das Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen in Laxenburg für den Zeitraum bis zum Jahr 2030. Sie sehen eine Pro-Kopf-Steigerung von den heutigen 2 kW/a auf 4 kW/a im sogenannten „High Scenario“ und auf 2,8 kW/a beim „Low Scenario“. Der obere Wert (Knizia schlägt sogar bis zu 6 kW/a vor) ist meiner Ansicht nach, vor allem wenn man einige Entwicklungsländer von ihren Großstädten mit ihren Slums bis in die Dörfer kennt, Illusion.

Die Deckungsbetrachtung geht wegen des uns nun schon bekannten Zeitfaktors notwendigerweise (wie Sie aus der Abb. 13 sehen können) immer noch mit erheblich mehr als 50 % sowohl für das Jahr 2000 als auch für das Jahr 2030 von Kohle, Öl und Gas aus. Allein schon eine Versechsfachung der Kohleförderung im Laufe von 50 Jahren kann ich mir nicht vorstellen. Dazu kommen dann nach diesen Vorstellungen noch einige tausend Kernkraftwerke.

3.2 Prognose für den Bedarf der Bundesrepublik

Die Unsicherheit der Bedarfsvorstellungen durch die Prognosen der professionellen Experten wird einem am besten bei einer Betrachtung des Wandels ihrer Voraussagen für unsere Bundesrepublik klar. Abb. 14 zeigt eine Darstellung des Engländers Leach aus dem Jahr 1980 über die „Anpassung“ von Energieprognosen für das Jahr 2000 in Deutschland, Großbritannien und Frankreich im Verlauf der letzten acht Jahre. Die Kurven wurden jeweils über verschiedene Schätzungen gemittelt.

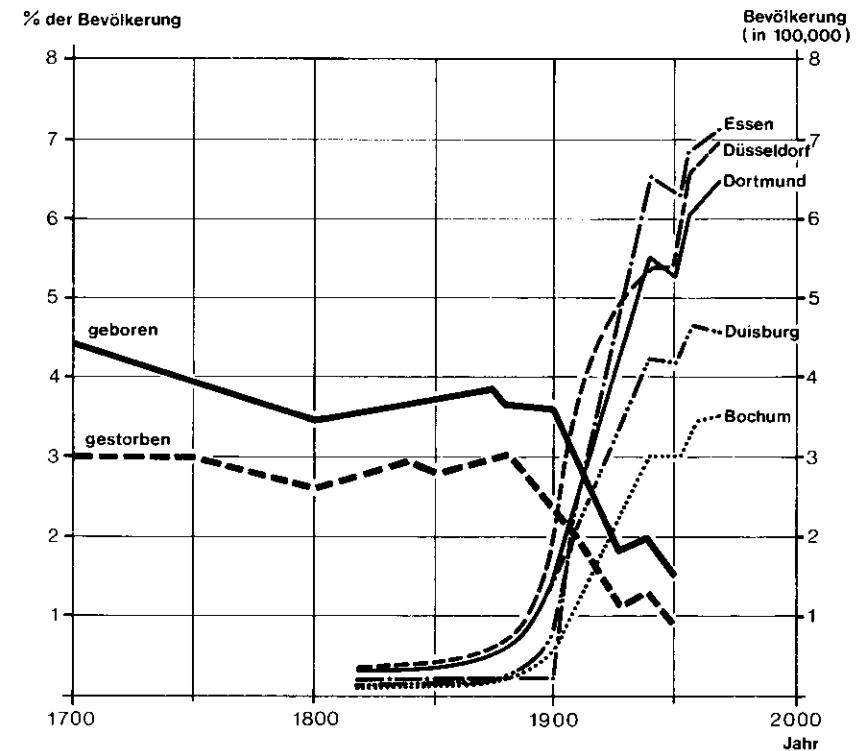


Abb. 11 Bevölkerungsüberschuß in Deutschland 1700–1955 und Bevölkerungswachstum in 5 Städten

EAT

(Quelle: Freund, Deutsche Geschichte)

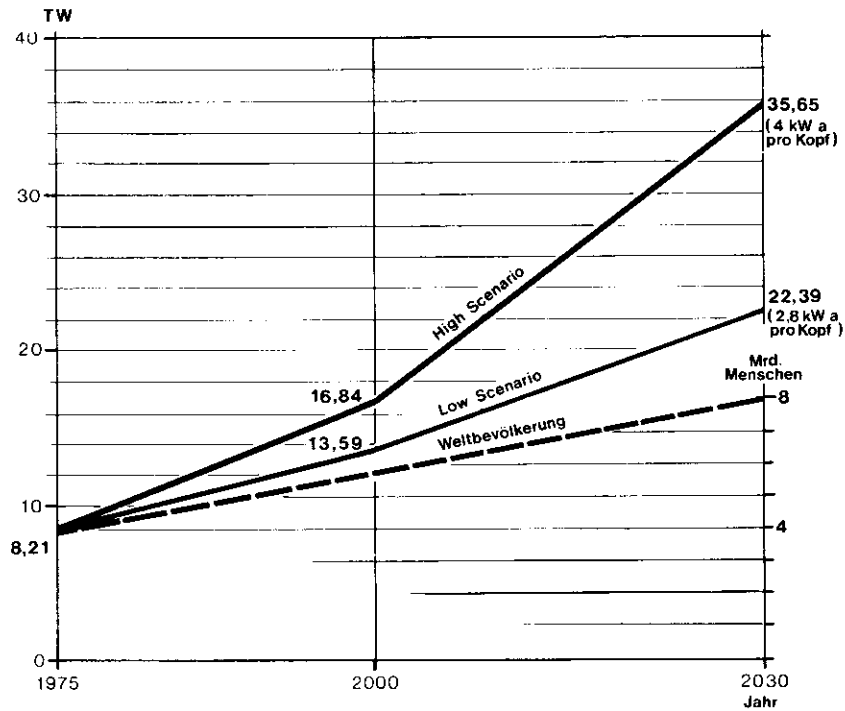


Abb. 12 Historische und projizierte Weltbevölkerung bzw. Versorgung mit Primärenergie

(Quelle: IIASA)

EAT

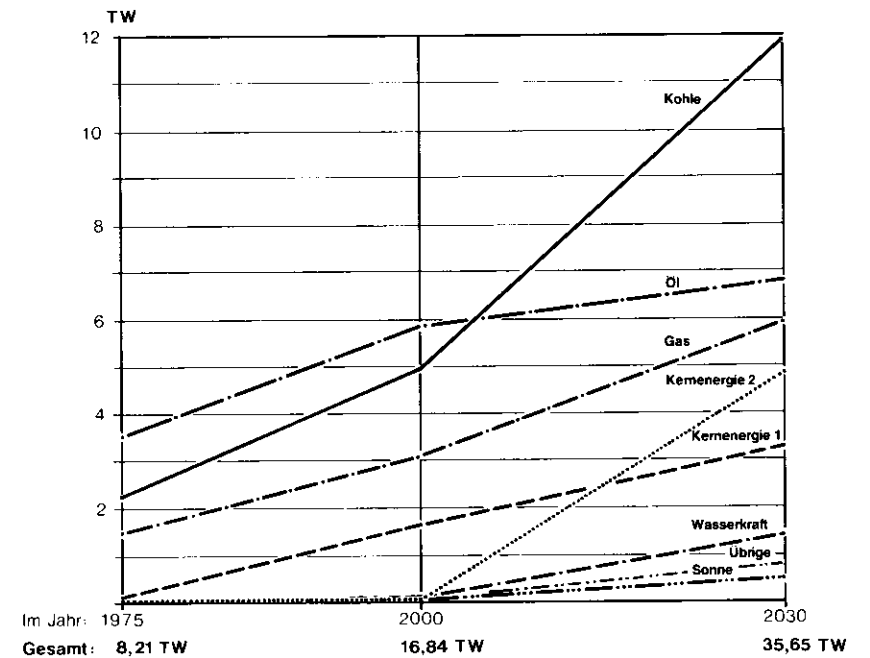


Abb. 13 Versorgung mit Primärenergie (Welt)

(„High Scenario“)

EAT

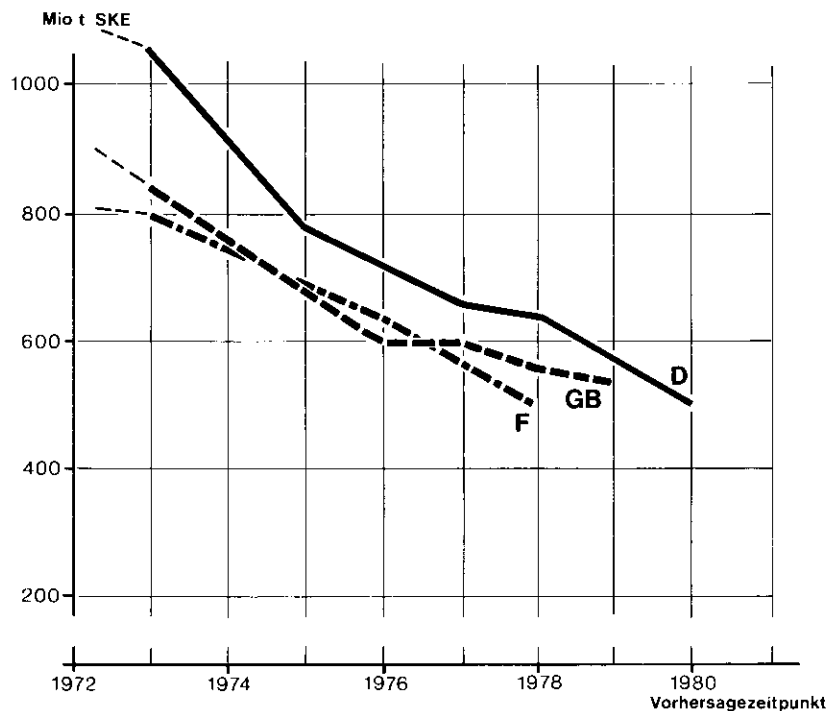


Abb. 14 Geschätzter Primärenergieverbrauch für das Jahr 2000 EAT in Deutschland, Frankreich und Großbritannien

(Quelle: Leach)

Auf der Abb. 15 habe ich den Energieverbrauch der Bundesrepublik bis 1979 sowie die offiziellen Fortschreibungen Bonns aufgetragen. Der wirkliche Verbrauch für 1981 liegt bereits wieder unter dem, von dem die letzte Fortschreibung ausgeht.

Ich frage mich beim Lesen solcher Zahlen, die auch oft noch Stellen hinter dem Komma haben, warum die „Wissenschaftler“ dieser Institute nicht runde Zahlen angeben. Sie selbst wissen doch um die Unschärfe ihrer Ergebnisse. Können sie sich nicht vorstellen, daß solche übergenauen Zahlenangaben dem Bürger und dem Politiker eine nicht vorhandene Prognosegenauigkeit vortäuschen?

Hier paßt ein Zitat aus einem Buch zweier Autoren, die beide Mitarbeiter des größten deutschen EVUs waren bzw. heute noch sind:

„Die Energiebedarfsprognosen werden von wirtschaftswissenschaftlichen Instituten gemacht, auf der Basis der traditionellen Erfahrung. Die Bundesregierung übernimmt diese Prognosen und vertritt sie nach außen. Mit der Zeit werden Zweifel laut, die Energiediskussion verschärft sich. Einzelne Verbände und Unternehmen unterstreichen die Prognosen, um der Regierung nicht in den Rücken zu fallen. Die Regierung fühlt sich in diesen Prognosen bestätigt und meldet dies den Instituten weiter, die das auch selbst schon von den Verbänden erfahren haben.“

Meiner Meinung gibt es zwei Ursachen für Prognosefehler:

- Ein zu langes Festhalten an der alten, heute zum Teil überholten Vorstellung des nötigen Wachstums des Bruttosozialprodukts und an der Vorstellung, daß praktisch eine direkte Abhängigkeit zwischen seinem Wachstum und der dafür notwendigen Energie besteht. Abb. 16 zeigt – wie Sie sehen – keine strenge Parallelität mehr. Ich halte die oft geäußerte Vermutung „die Prognostiker wollen Energiepolitik machen“ für überzogen, vermute bei ihnen aber „unbewußtes Trenddenken“.
- Die Prognosen sind rückwärts und vorwärts zu kurzfristig angelegt. Der wesentliche Fehler ist meiner Ansicht nach, daß nicht genügend sektorielle Differenzierung vorgenommen wurde, vor allem eine Differenzierung – soweit sie nach vorne geht –, zu der kontrollierte konstruktive Phantasie über mögliche technische, wirtschaftliche, demographische und gesellschaftliche Veränderungen unserer Gesellschaft gehört.

Es taucht natürlich hier die Frage auf, ob es Schätzungen gibt, die besser zutrafen. Die Antwort ist: Ja. Zwei Beispiele möchte ich erwähnen:

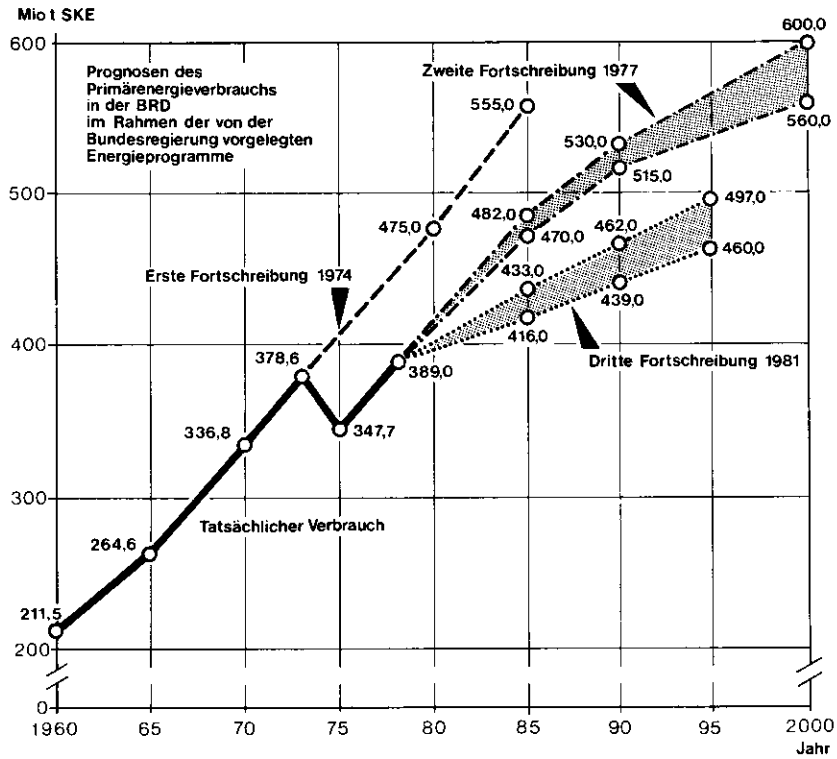


Abb. 15 Energieprognosen (nach unten korrigiert)

(Quelle: E. Schmidt Verlag)

EAT

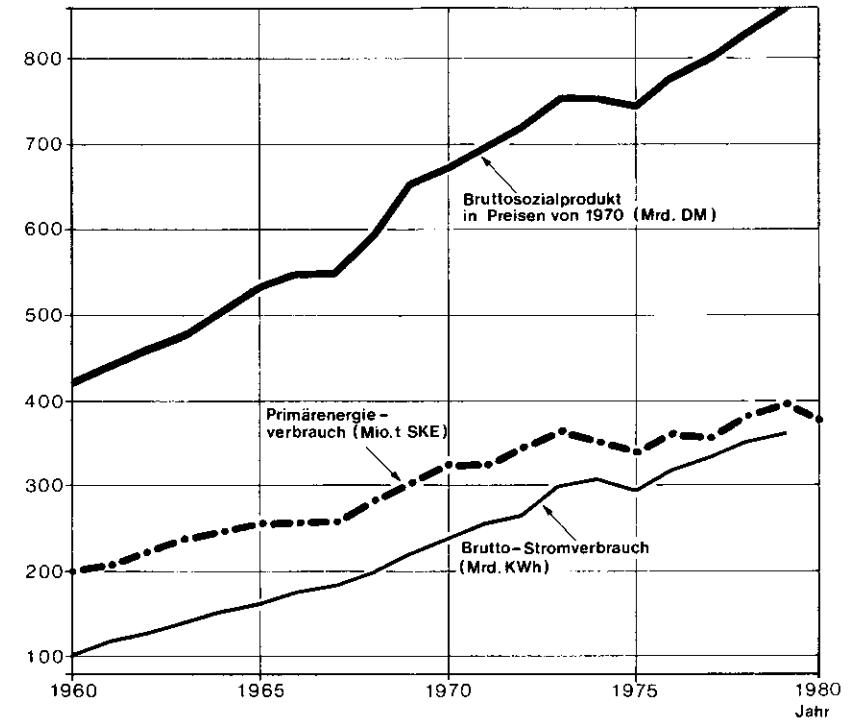


Abb. 16 Entwicklung von Bruttosozialprodukt, Primärenergie und Stromverbrauch

(Quelle: Statistik d. Energiewirtschaft 1979/80)

EAT

- Mitte der 70er Jahre schätzten Mitarbeiter des Öko-Instituts Freiburg, 1977 das IPS Hannover, den Verbrauch für 1980 auf ungefähr 390 Mio. t SKE. Der tatsächliche Verbrauch war dann 392 Mio. t SKE, wobei zu bemerken ist, daß Professor Pestel, der Leiter des IPS, kein Kernkraftgegner ist.
- 1974 sagte für die USA der hier in Deutschland oft als „Spinner“ hingestellte Lovins 2,5 TWa voraus; der Verbrauch war 2,54 TWa. Andere US-Prognostiker hatten auf 4 TWa getippt!

Ein Beispiel wissenschaftlicher Unfairness und Arroganz, das zugleich einen Blick in die Welt der Prognostiker bietet, kann ich Ihnen, so leid es mir tut, angesichts des Einflusses der Prognosezahlen für kommende Entscheidungen nicht vorenthalten:

Im Frühjahr 1981 veröffentlichten Wissenschaftler des Öko-Instituts Freiburg (keine Kernkraftfreunde) die „Energiewende“. Ein Versuch, so wurde es der Öffentlichkeit gegenüber ausgedrückt, das Problem von einer anderen Sicht anzupacken. „Die Menschen benötigen nicht einfach Energie, sondern Energiedienstleistung, sprich warme Räume, Transportleistungen, Antrieb von Maschinen, Prozeßwärme usw. ...“ Eine Auffassung des Problems übrigens, wie man sie 1977 auch schon bei Häfele findet. Das Leitmotiv war in keiner Weise der Vorschlag eines Engerschnallens des Gürtels, sondern eine detaillierte Untersuchung über bessere Nutzung der Energie, über mögliche Entwicklungen und Vorschläge für entsprechende Strukturänderungen, die weniger Energie benötigen. Das Resultat sehen Sie in Abb. 17. Die Bearbeiter wollten eine Situation des Jahres 2030 diskutieren, die mit erheblich weniger Energie auskommt. Es sind Vorschläge, die zum Beispiel in den USA in aller Offenheit und Fairness diskutiert werden (Harvard-Energie-Report u. a.).

Die Antwort der „Klassiker“ in Deutschland ließ nicht lange auf sich warten. Schon im Juni lag eine Stellungnahme der KFA Jülich vor. Abgesehen davon, daß diese Arbeit trotz der Beteiligung von 10 Wissenschaftlern aus dem entsprechenden Institut kaum eine stichhaltige, das Ergebnis entscheidend beeinflussende Widerlegung darstellt, ist sie vom Stil her – gerade unter Wissenschaftlern – unmöglich. Erschreckend für mich ist, wie diese sogenannte „wissenschaftliche“ Kritik vermarktet wurde. Die Presseerklärung der KFA Jülich im Juni 1981: Die Prognose des Öko-Instituts ist „in der Sache unzutreffend, in der Analyse fehlerhaft, in der Intention illusionär.“

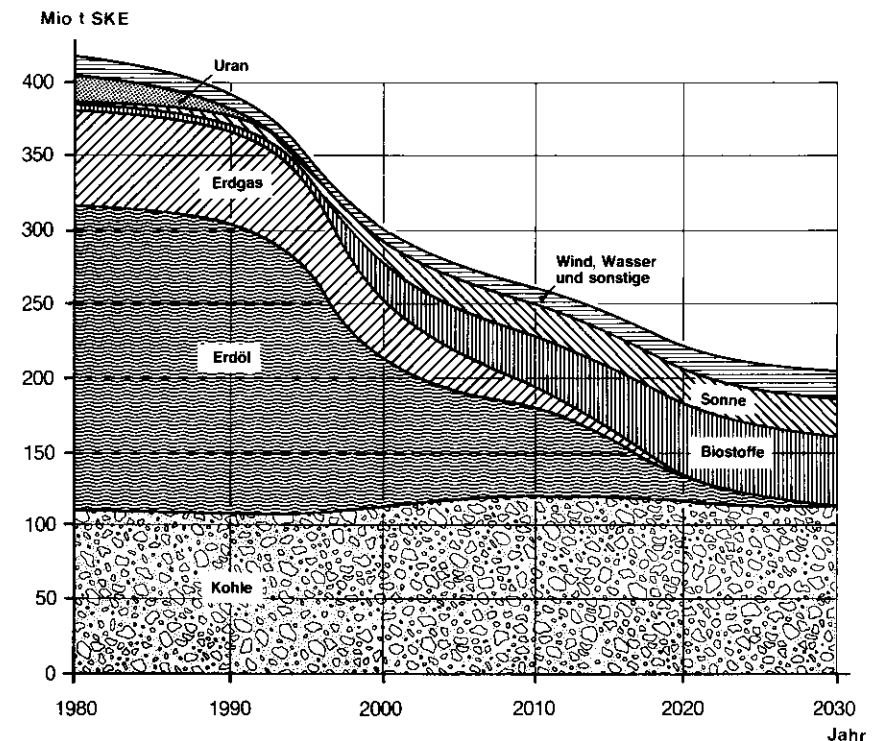


Abb. 17 Primärenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland ohne Kernenergie und Erdöl

EAT

(Quelle: Energiewende, Öko-Institut)

Wie nun die gleiche „Kritikergruppe“ aus Jülich ihre bisherige eigene Prognostikarbeit einschätzt, konnte man kurz darauf im August in einer Veröffentlichung des Institutsleiters in der „Umschau“ lesen. Unter der Überschrift „Vorgetäuschte Sicherheit durch Energieprognose“ hieß es: „Die Zuverlässigkeit der Vorhersage ist kaum größer als der statistische Zufall.“

Persönlich bedauere ich solche Fehden. Sie schaden der Sache allgemein, aber auch der Autorität der Institute, die vom Bund und von den Ländern mit Beträgen von Hunderten von Millionen geschaffen wurden und laufend unterhalten werden.

Zum Schluß möchte ich in Übereinstimmung mit dem Verfasser des Umschau-Artikels sagen, daß es sinnlos ist, sich darüber zu streiten, ob der Energieverbrauch der Bundesrepublik im Jahre 2000 insgesamt 500 oder 600 Mio. t SKE sein wird, oder ob im Jahre 2000 die Sonnenenergie 5 oder 10 % unseres Energiebedarfs decken kann. Auf beide Fragen kann es bis heute keine abschließende Antwort geben. Auf jeden Fall ist meiner Ansicht nach für kurzfristige Entscheidungen – zum Beispiel für die nächsten 10 Jahre – in der Bundesrepublik keine besondere Eile geboten. Die Lichter gehen in den nächsten fünf Jahren nicht aus. Wohl aber ist Eile notwendig bei den Entscheidungen für die langfristige Deckung.

Bevor ich auf dieses Problem eingehe, und zwar für unseren nationalen wie für den globalen Energiebedarf, möchte ich nochmals die Reduzierung des Bedarfs an Energie ansprechen. Damit ist nicht „den Gürtel enger schnalzen“, sondern die bessere Nutzung von Energie gemeint.

3.3 Energiebedarfssenkung

Lassen Sie mich mit einem vielzitierten US-Beispiel beginnen. Die Tennessee Valley Authority, ein großes Versorgungsunternehmen, also ein US-EVU, verkündet ein 300-Millionen-Kredit-Programm für zusätzliche Hausisolationen ihrer Stromkunden. Der Präsident, David Freeman, sowie der Programmleiter, Bob Hemphill, erklären hierzu: „Bis 1990 wird unser Spar- und Solarprogramm die Stromerzeugung von 4 bis 6 1000-MW-Kernkraftwerken ersetzen. Das Programm wird uns höchstens 1,3 Mrd. \$ kosten. Vier Kernkraftwerke kosten uns mindestens 6 Mrd. \$.“ Man stelle sich dies bei uns vor!

Es gibt zahllose Untersuchungen, wie durch Verbrauchermithilfe, durch technische Weiterentwicklung von Geräten und Prozessen der Industrie

und des Haushalts sowie durch Gebäudeisolation – erinnern wir uns, daß 50 % unseres Energieverbrauchs für Heizung erforderlich sind – die Energieanforderungen zu senken sind. Nicht zuletzt wirken die Sättigungserscheinungen bei der Erstanschaffung von Geräten dämpfend auf den Energiebedarf. Lassen Sie mich nur einige Beispiele aus der Flut der „Sparliteratur“ bringen:

Abb. 18 zeigt die bisher erzielten Energieeinsparungen bei Elektrohaushaltsgeräten in den vergangenen Jahren. Was wäre hier noch zu machen, wenn zum Beispiel das heiße Abwasser der Wohnungen zum Vorwärmen des kalten Frischwassers für den Boiler verwendet würde!

Etwas sehr Banales, aber Wirksames macht Abb. 19 deutlich. Durch falsche Wahl eines Kochtopfes kann der 3,5fache Stromverbrauch verursacht werden!

Abb. 20 zeigt die Reduzierung des Stromverbrauchs bei Farbfernsehempfängern. Sie sehen, daß in 15 Jahren rund 2/3 an Strom eingespart wurde.

Abb. 21 stellt die von der Kraftwerkseite geschätzte Entwicklung der Neuananschaffung von einigen Haushaltsgeräten bis Ende unseres Jahrzehnts dar. Sie zeigt, daß wir heute bei einigen Geräten schon sehr nahe an einer Sättigung sind.

Nimmt man dazu noch unsere abnehmende Bevölkerungszahl, so ist von der Haushaltsseite her entgegen der Tendenz in der Vergangenheit keine große Zunahme, im Gegenteil eine Abnahme des Stromverbrauchs zu erwarten.

Es wäre noch viel über „Energieeinsparung als beste Energiequelle“ zu sagen, vor allem im Zusammenhang mit Verkehr, Heizung und Prozeßwärme. Ich möchte jedoch darauf verzichten, da darüber schon viel bekannt ist. Daher bringe ich abschließend nur zwei Beispiele aus dem industriellen Bereich:

Abb. 22, entnommen dem Aktionärsbericht der BASF, zeigt, wie diese in 10 Jahren den Wärmebedarf auf 80 % bei einer Produktionssteigerung von 30 % senken konnte, bei einer geringen Stromzunahme von 5 %. Ähnliche Werte finden Sie bei Stahl, Keramik usw.

Abb. 23 zeigt ein ähnliches Bild für den Energieverbrauch, bezogen auf 100 DM Produktion, im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte für die gesamte deutsche Industrie.

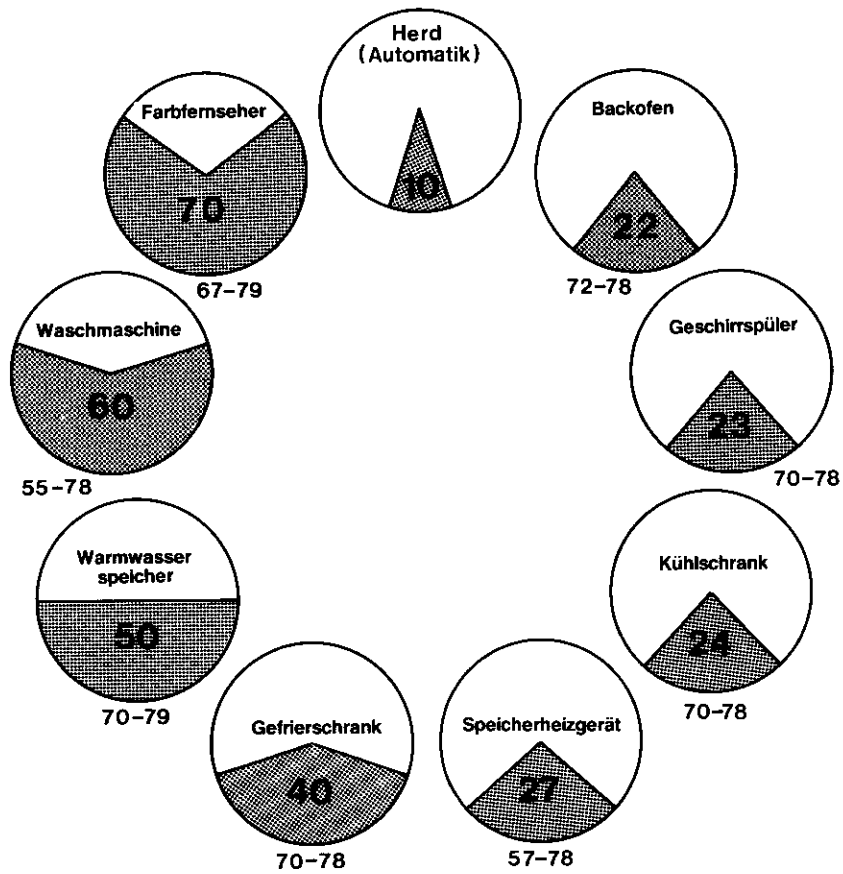


Abb. 18 Energieeinsparung bei Elektro-Hausgeräten in %

(Quelle: ZVEI)

EAT

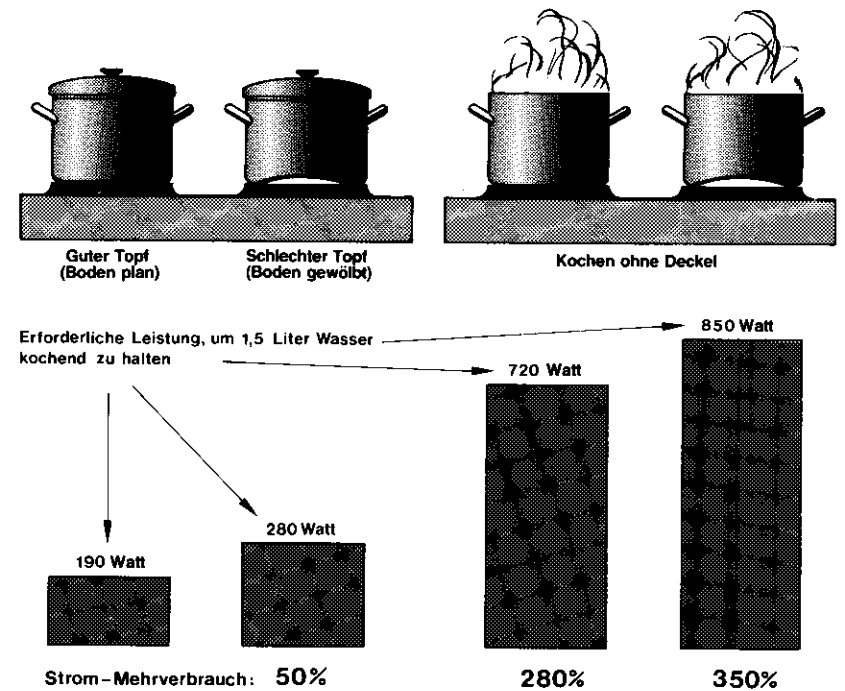


Abb. 19 Richtige Töpfe sparen Strom

(Quelle: ZVEI)

EAT

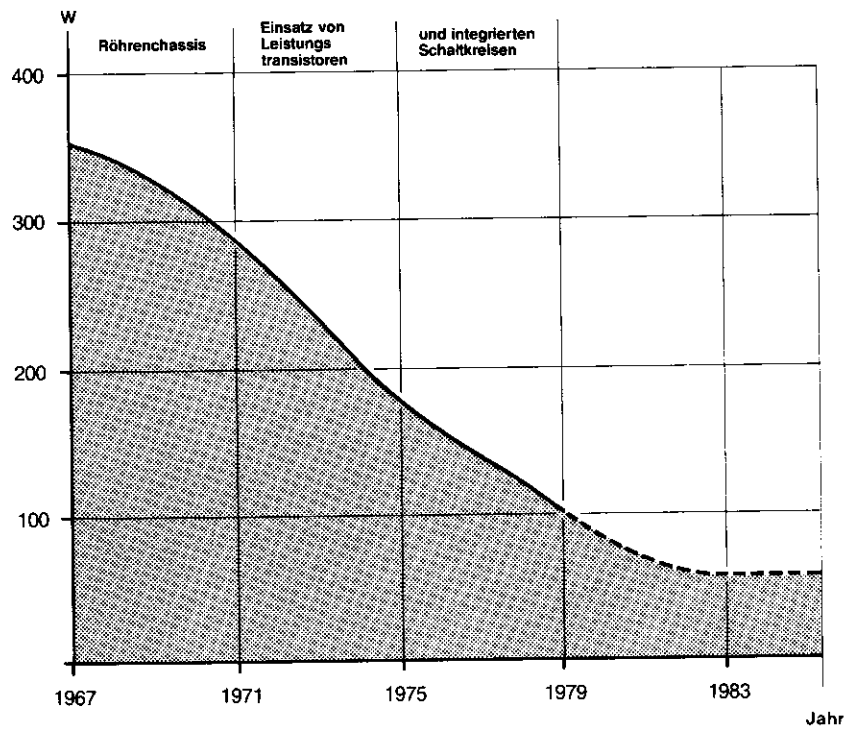


Abb. 20 Reduzierung des Stromverbrauchs von Farbempfängern mit großem Bildschirm

(Quelle: ZVEI, Energiebericht 1981)

EAT

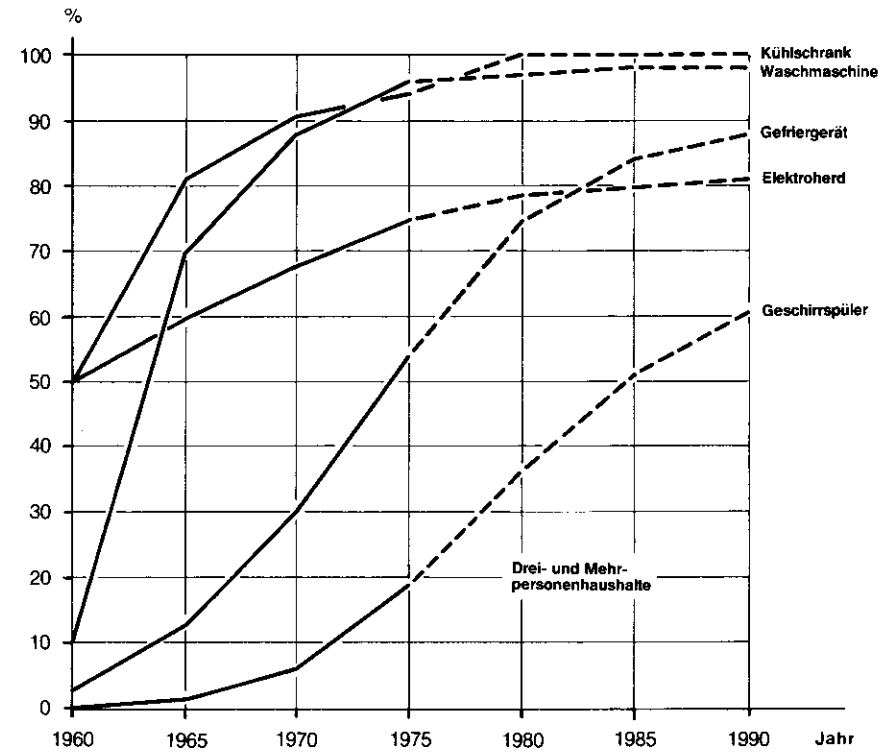


Abb. 21 Gerätesättigungsentwicklung in bundesdeutschen Haushalten von 1960 bis 1990

(Quelle: VDEW)

EAT

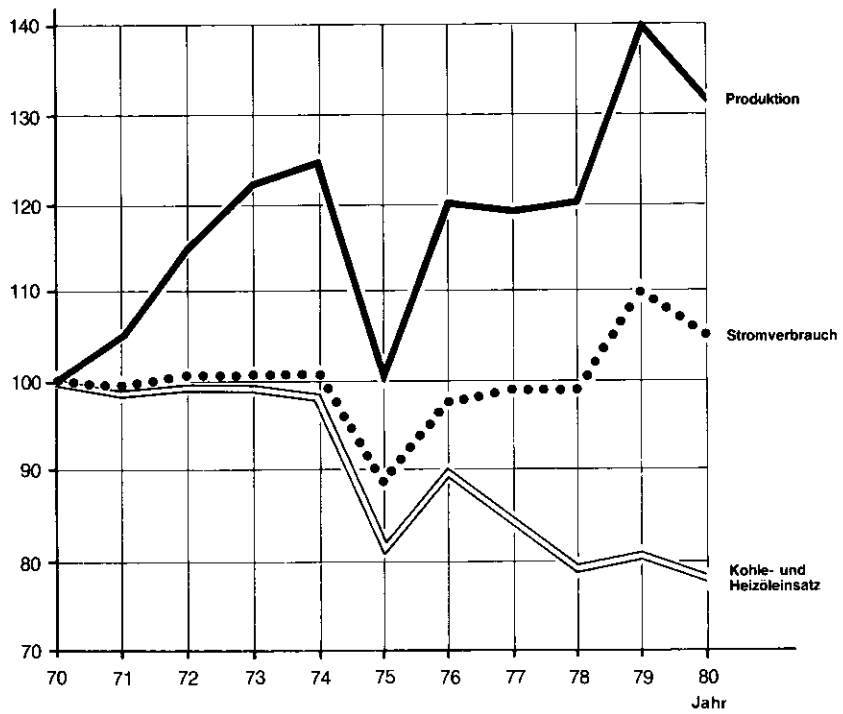


Abb. 22 Produktion und Energieverbrauch – BASF
Index 1970 = 100

(Quelle: BASF AG)

EAT

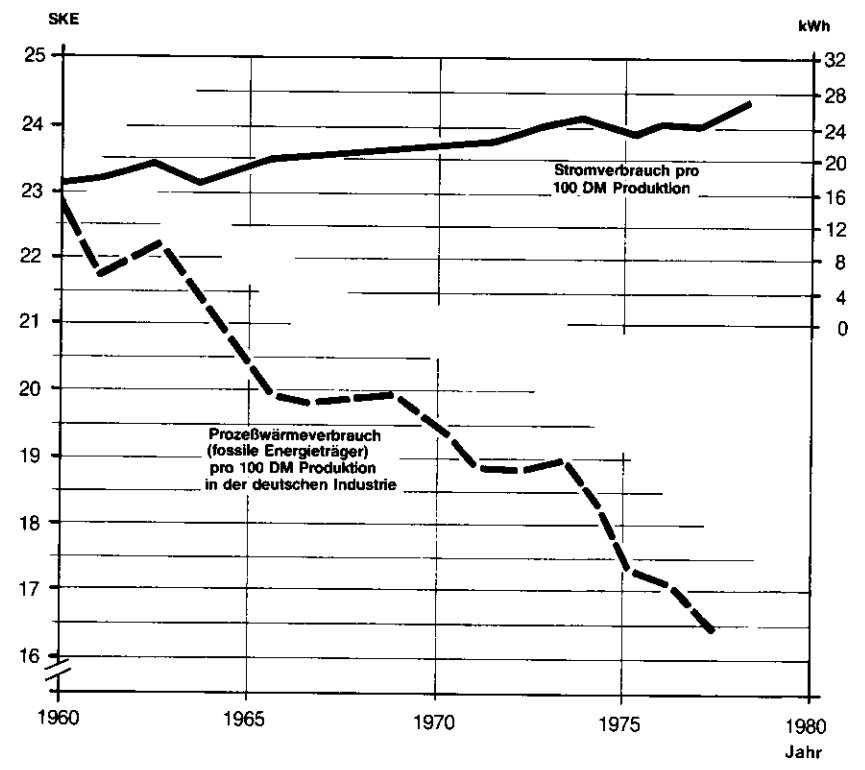


Abb. 23 Spezifischer Energieeinsatz der Industrie

(Quelle: KWV 1980)

EAT

4. Deckung des Bedarfs

4.1 Randbedingungen

Bevor wir uns der zukünftigen Deckung des Energiebedarfs zuwenden, möchte ich einige Randbedingungen diskutieren, die vor allem bei langfristiger und verantwortlicher Planung und Durchführung von Maßnahmen wegen ihrer teilweise zu erwartenden negativen Konsequenzen für den Lebensraum unserer Kindeskinde berücksichtigt werden müssen.

Wenn sich auch die „Experten“ und die Fachwissenschaftler über die detaillierten chemischen, physikalischen und biologischen Zusammenhänge mancher Vorgänge unserer Biosphäre noch nicht völlig im klaren sind, so sind die verantwortlich Handelnden doch verpflichtet, alle denkbaren großen Gefahren erst einmal zu mildern und dann in Zukunft ganz zu verhindern. Dies betrifft ganz besonders die Gefahren, die die Wahrscheinlichkeit einer exponentiellen, wegen ihrer Langzeitwirkung kaum zu bremsenden Eskalation beinhalten. Im einzelnen handelt es sich um folgende Problemkreise:

4.1.1 Das Wärmegleichgewicht der Erde

Das Wärmegleichgewicht der Erde, das seit der letzten Eiszeit im wesentlichen stabil ist, ist langfristig durch Freisetzung von Wärme in die Atmosphäre, in Verbindung mit dem in 4.1.2 geschilderten Effekt, gefährdet.

Die Aufheizung der Atmosphäre könnte ein Abschmelzen des Eises der Polkappen, das 95 % der dort eingestrahlten Sonnenenergie zurückwirft, einleiten. Dadurch würde sich die Atmosphäre noch mehr erwärmen, mit der Folge, daß noch mehr Eis abschmilzt. Ein sich selbst steigernder Vorgang mit unabsehbaren Auswirkungen würde so in Gang gesetzt werden.

Schon heute führt die starke Freisetzung von Wärme lokal zu Klimastörungen, insbesondere in Ballungsgebieten und Großstädten.

4.1.2 CO₂-Haushalt der Erde

Sie werden vielleicht Ende des letzten Jahres in den Medien gelesen haben, daß die Oberflächentemperatur der Venus nach neueren Messungen ungefähr 480°C beträgt. Dies ist vor allem eine Folge der 80%igen Kohlendioxidatmosphäre dieses Planeten. Ursache ist der sogenannte Treibhauseffekt.

Das CO₂ in der Atmosphäre läßt zwar die kurzweilige Sonnenstrahlung durch, absorbiert aber wie in einem Treibhaus die Glasscheibe die infrarote langwellige Wärmestrahlung.

Das CO₂-Phänomen beschäftigt, verstärkt seit Anfang der 70er Jahre, Wissenschaftler aller Welt. Auch die Analytiker von Laxenburg haben vor diesem Phänomen schon früh gewarnt.

Seit 1950 mißt man einen den jahreszeitlichen Gang überlagernden kontinuierlichen Anstieg dieses Gases in der Atmosphäre (Abb. 24). Ein Teil dieses Anstiegs mag mit dem Abholzen der Wälder zusammenhängen, die Verbrennung der fossilen Stoffe hat jedoch sicher Mitschuld an dieser Entwicklung. Diese Meßergebnisse wurden übrigens nicht etwa in der Nähe von Industriezentren, sondern auf einem hohen Berg mitten im Pazifik und viele Tausend Kilometer entfernt von den Ballungsgebieten der Erde gewonnen. Es handelt sich also um eine globale Zunahme der Kohlendioxidkonzentration.

In der erwähnten IIASA-Studie (Abb. 25) wurde die voraussichtliche Erhöhung der mittleren Temperatur der Erde sowie die Menge des emittierten Kohlendioxids und die sich einstellenden Konzentrationen dieses Gases für die Zeit bis 2050 ausgerechnet für den Fall, daß der Energiebedarf ausschließlich durch fossile Stoffe gedeckt wird und asymptotisch einem Wert von 50 Twa/a entgegenstrebt. Wir sehen, daß die Erde im Jahre 2020 um 1,3°C und im Jahre 2050 um 3,7°C wärmer wird.

Wenn man die umfangreiche Literatur aus Kongressen – zum Beispiel 1979 in Genf – oder aus laufenden Veröffentlichungen liest, stellt man fest: Keiner leugnet die Gefahr der möglichen Erwärmung der Atmosphäre. Das Meinungsspektrum geht von „Die Größenordnung muß noch untersucht werden“ bis zu Schreckensvisionen von Überschwemmungen der tieferen Landzonen durch Abschmelzen der Polkappe (Abb. 26).

Der gesamte Effekt überlagert sich naturgemäß mit dem unter Punkt 4.1.1 dargestellten Wärmegleichgewicht.

Ich möchte Ihnen aber eine neue Nachricht nicht unterschlagen. Die „Umschau“ bringt im Heft 1/82 einen Auszug aus dem New Scientist, wonach neueste Experimente und Simulationen nur eine Temperatursteigerung – trotz Verdoppelung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre – von unter 1°C ergaben.

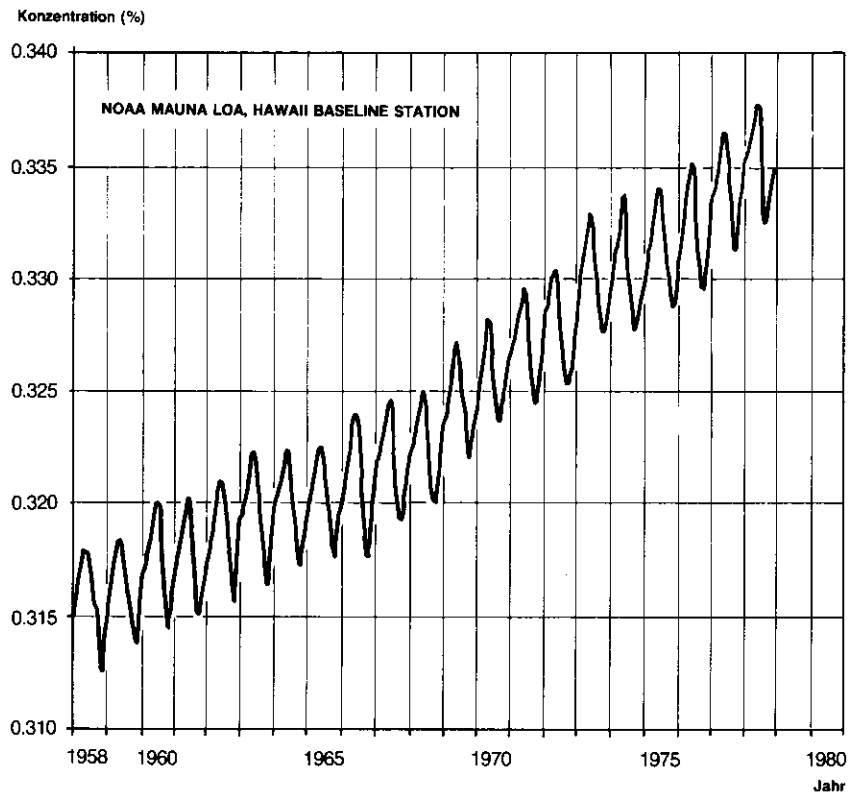


Abb. 24 Zunahme des Kohlendioxids

(Quelle: Woodwell, 1978)

EAT

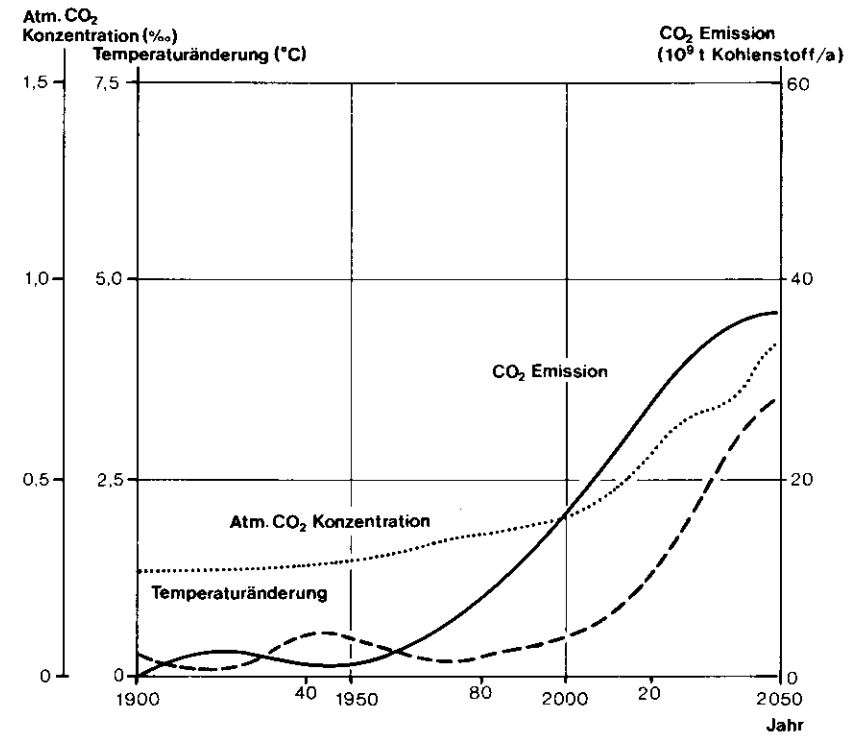


Abb. 25 Auswirkungen der Kohlendioxidemission

(Quelle: „Energy in a Finite World“ – IIASA)

EAT

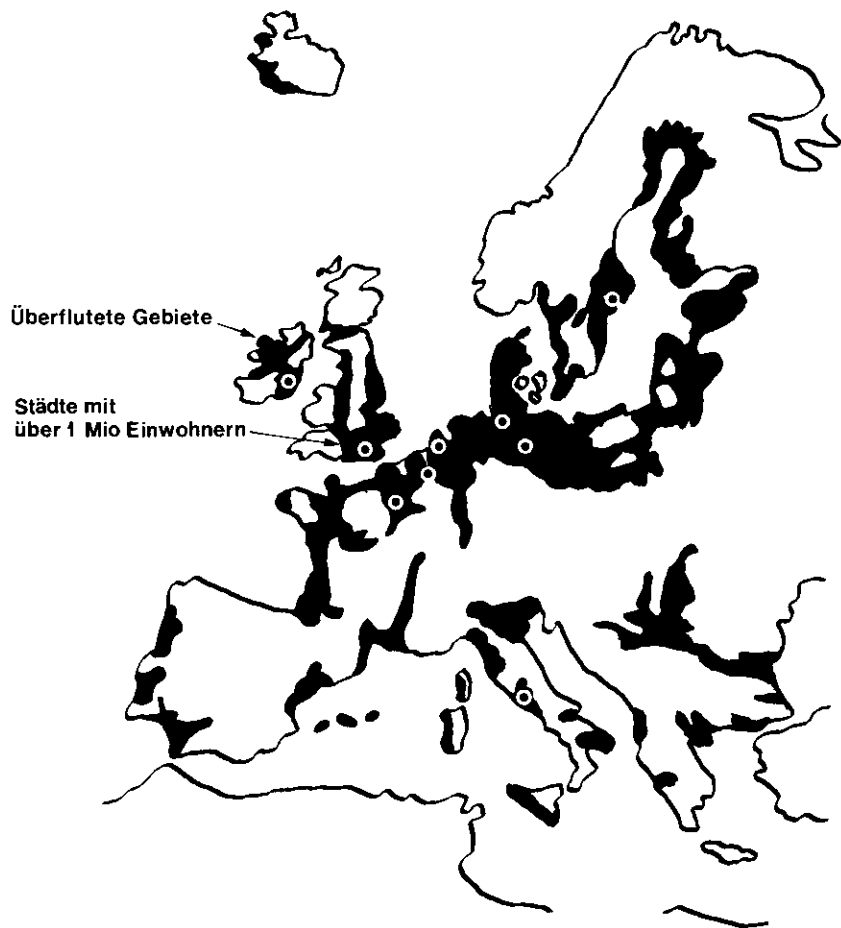


Abb. 26 Von Überflutung durch Abschmelzen der Polkappen gefährdete Gebiete Europas

(Quelle: Justi)

4.1.3 Verschmutzung der Umwelt

Bei der Verbrennung der fossilen Stoffe entstehen nicht nur CO_2 , sondern zusätzliche Schadstoffe, die zu einer zunehmenden Vergiftung der Atmosphäre und des Bodens führen. 1977 hat man in der Bundesrepublik die Emission an Atemgiften wie SO_2 , NO_x , H_2S , CO , Ruß und anderen Schwebeteilchen auf 20 Millionen Tonnen beziffert, das heißt auf 400 kg je Einwohner.

In dieser Aufzählung fehlen noch die möglicherweise Gen- und Krebschäden verursachenden radioaktiven Stoffe.

Am bekanntesten geworden ist in unserem Land die in den letzten Jahren zutage getretene langsame Versäuerung des Waldbodens infolge der Schwefel- und Stickoxidlösung im Regenwasser mit den Folgen des Tannen-, Fichten- und Kiefernsterbens einschließlich des Fischsterbens in den Seen. Ein weltweites, schon lange bekanntes Phänomen, auf das unter anderem vor vielen Jahren der damalige schwedische Ministerpräsident Palme mit Vorwürfen an die großen Industriegebiete in England, Deutschland, Frankreich und Polen hingewiesen hat.

Die Gefahr der Umweltgifte tritt aber auch bei der Nukleartechnik auf, selbst wenn diese ohne größere Unfälle abläuft. Probleme gibt es auch bei der Rückhaltung von Jod, Krypton, Tritium und anderen radioaktiven Stoffen, vor allem bei der noch in der Entwicklung befindlichen Lagerung und Wiederaufbereitung der Abfälle. Dies ist eine noch zu lösende große Aufgabe.

Ob eine Null-Emission, wie sie Häfele in einem Vortrag im November 1981 in Stuttgart für Kohle und Kohleveredelungsprozesse vortrug, möglich ist, ist – neben technischen Fragen – eine wirtschaftliche Frage. Wenn überhaupt, dann ist so etwas nur in einem Zeitraum von 50–60 Jahren, eingebaut in eine Gesamtlösung, in nennenswertem Umfang möglich. Diese Gesamtlösung muß technische, wirtschaftliche, insbesondere aber raumordnerische und außenpolitische Gesichtspunkte umfassen.

Wir haben in der Bundesrepublik leider eine absolute Mittellage, wo wir – selbst wenn wir bei uns alles rein hielten – mit den Schmutzstoffen der anderen leben müssen.

4.1.4 Energierohstoffe

Für die Deckungsmöglichkeiten des Energiebedarfs müssen wir bei langfristigen Betrachtungen unbedingt angesichts des übersehbaren Verbrauchs auch bei einer sich mit der Zeit sicher durchsetzenden rationelleren Energienutzung und durch geringere Energieanforderungen die Endlichkeit der Vorräte berücksichtigen.

Der Restbestand der in der Erdkruste lange für unerschöpflich gehaltenen Primärenergieträger Uran und Thorium auf der einen Seite sowie Kohle, Erdöl, Gas – in allen ihren Formen – auf der anderen Seite nimmt beschleunigt ab.

Auch jede neue Meldung über neue Funde kann die Tatsache der Endlichkeit der Lagerstätten nicht aus der Welt schaffen.

4.1.5 Werkstoffe

Kohle, Öl und Gas sind für die Chemie und für die Technik wesentliche Werkstoffe der Zukunft. Zunehmend wird dies auf dem Konstruktionsgebiet der Fall sein, wenn die Metalle knapper werden oder sich nicht mehr für anspruchsvolle Qualitätsanforderungen an Gewicht, Korrosion und ähnlichem als geeignet erweisen.

Die Verarbeitung dieser heute im wesentlichen zur Wärmeerzeugung eingesetzten Stoffe zu Kunststoffen, und dieser zu Werkstücken ist bei geringem wirtschaftlichen zusätzlichen Aufwand mit keiner Belastung unserer Umwelt verbunden. Kunststoffe können außerdem „recycled“ oder am Ende ihrer Lebensdauer noch als Brennstoffe verwendet werden.

4.1.6 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Es tut mir leid, daß ich Ihnen trotz des Studiums vieler Berichte verschiedenster Institute und trotz der Verfolgung von Kostenmitteilungen aus Medien, Verbandsveröffentlichungen und anderen kein klares Kostenbild geben kann, das heute als Bewertungsgrundlage dienen könnte. Jedoch werde ich Kostentrends durchaus in die Bewertung einbeziehen.

4.2 Deckungsmöglichkeiten

Die verschiedenen Primärenergiequellen können nach ihrer Entstehung im Laufe der Geschichte unseres Erdballs gegliedert werden:

4.2.1 Energie aus dem physikalischen Werden der Erde

- Uran, Thorium
 - Wasserstoff
 - Erdwärme
 - Gezeitenbewegung
- Alter: Milliarden Jahre

4.2.2 Energie aus der Einwirkung der Sonne auf die Erde

Reste des biologischen Lebens der Vergangenheit. Es handelt sich um die fossilen Stoffe wie

- Kohle
- Öl, Ölschiefer, Ölsand
- Gas

Alter: Ein paar 100 Millionen Jahre

4.2.3 Energie aus der täglichen Sonnenstrahlung

Diese Energie tritt in einer solchen Fülle von Erscheinungsformen auf, daß ihre Zusammenfassung unter dem Begriff „Solarenergie“ oft schon zu einiger Verwirrung geführt hat.

Das Energieministerium der USA hat die Solarenergie einmal nach folgenden Kategorien zusammengefaßt:

Thermale Anwendung

Heizen und Kühlen von Gebäuden, Warmwasser, Bereitstellung landwirtschaftlicher und industrieller Prozeßwärme.

Brennstoffe aus Biomasse

Direktverbrennung pflanzlicher Stoffe, pyrotechnische Brenngaserzeugung aus pflanzlichen Stoffen, Biogas aus Exkrementen, pflanzlichen Abfällen, Papier usw., Alkohol aus Biostoffen, z. B. Zuckerrohr.

Sonnenelektrizität

Über Thermoprozesse (zum Beispiel Sonnenofen), über Fotoelektrizität mit Hilfe von Solarzellen, über Wind, Windräder, über Meereswärme, über Wasserkraft aus Laufwasser und aus Meeresbewegungen.

4.3 Bewertung

Zur abwägenden Bewertung der verschiedenen Energiequellen bedarf es nun einer sorgfältigen Prüfung ihrer Möglichkeiten nach den genannten Randbedingungen (Abb. 27).

4.3.1 Kernbrennstoffe

Es handelt sich um einige elementare Stoffe am oberen und unteren Ende der Atomgewichtsskala: Die schweren Elemente Uran und Thorium sind die Ausgangsbasis für die sogenannten Kernspaltungsprozesse (Fission), die leichten Elemente Wasserstoff und Lithium die Ausgangsbasis für die Kernverschmelzungsprozesse (Fusion).

Wärmegleichgewicht

Im Verlauf eines Kernprozesses wird Kernenergie in Wärme umgewandelt. Die Wärmebilanz der Erde wird also gestört.

CO₂-Haushalt

Der CO₂-Haushalt wird nicht beeinflusst, was von den Kernenergiebefürwortern zu Recht als großer Vorteil der Kernenergie gegenüber den fossilen Brennstoffen hervorgehoben wird.

Verschmutzung

Wenn man nur den Normalbetrieb der derzeit vor allem eingesetzten Reaktortypen betrachtet, so ist die Verschmutzung mit radioaktiven Stoffen sehr

Primärenergieträger Randbedingungen	Kohle Erdöl Erdgas	Uran Thorium	Sonne			
			direkt zentral	direkt dezentral	Wind Wasser	Biomasse
Klimabeeinflussung durch Freisetzung von Wärme und Veränderung des Albedo	mittel	mittel bis stark	sehr schwach	sehr schwach	sehr schwach	
Klimabeeinflussung durch Kohlendioxid	stark					
Emission von Schadstoffen	sehr stark	sehr schwach bis sehr stark				sehr schwach bis schwach
Beitrag zur Erschöpfung der Energie-Rohstoffe	stark	mittel				
Konkurrenz mit Werkstoffen und Nahrungsmitteln	stark					stark

Abb. 27 Auswirkungen der verschiedenen Primärenergiequellen auf Umwelt und Ressourcen

EAT

gering. Betrachtet man die sogenannten „fortgeschrittenen“ Reaktortypen (schneller Brüter, Hochtemperaturreaktor, Fusionsreaktor), den ganzen Brennstoffzyklus bis zur Abfallbeseitigung sowie mögliche Zufälle und Störungen, so besteht andererseits nach meiner Meinung ein ganz beträchtliches Verschmutzungspotential. Wir werden darauf noch in Kapitel 5.2 zurückkommen.

Energierohstoffe

Tatsächlich gibt es nur einen Stoff, der auf der Erde in nennenswerter Menge vorhanden ist und dessen Kernenergienutzung technisch eindeutig beherrscht wird. Es handelt sich um das Uranisotop U-235. Es findet sich mit einer Konzentration von 0,7 % im natürlichen Uran. Geht man von den geschätzten, wirtschaftlich gewinnbaren Vorräten aus und nimmt an, daß nur dieses U-235 zur Deckung der Energielücke eingesetzt wird, so wären in ca. 30 Jahren die Vorräte verbraucht.

Die fortgeschrittenen Reaktortypen erlauben jedoch, diesen Erschöpfungszeitraum weit hinauszuschieben. Der schnelle Brüter, der sich, vereinfacht ausgedrückt, seinen Brennstoff selbst herstellt, würde eine 50–60fache Streckung der Vorräte ermöglichen. Für den Fusionsreaktor schließlich, der als Ausgangsstoff das Wasserstoffisotop Deuterium, das im Wasser vorhanden ist, und Lithium verwendet, gibt es keine Brennstoffverfügbarkeitsprobleme.

Werkstoffe

Die Kernbrennstoffe stehen nicht in Konkurrenz zu Werkstoffen, so daß hier kein Einfluß vorhanden ist. Jedoch werden beim Reaktorbau und -betrieb zahlreiche seltene, hochwertige Materialien benötigt, die am Ende der Lebensdauer radioaktiv und daher nicht wiedergewinnbar sind.

Wirtschaftlichkeit

Den Fusionsreaktor wollen wir von vornherein außer acht lassen, da seine technische Machbarkeit insgesamt noch bezweifelt werden muß und daher Wirtschaftlichkeitsaussagen noch nicht getroffen werden können. Jedoch auch für die anderen fortschrittlichen Reaktortypen läßt sich bisher, insbesondere wenn man den ganzen Brennstoffkreislauf in die Kalkulation einbezieht, die Konkurrenzfähigkeit mit der Kohle nicht nachweisen. Nur der Leichtwasserreaktor läßt sich derzeit wirtschaftlich einsetzen.

Bedenklich scheint mir die Eskalation der Kosten. Denken Sie zum Beispiel nur an die Entwicklung der Kosten der im Bau befindlichen Kernkraftwerke im Staate Washington, veröffentlicht in der ZEIT vom 5. Februar 1982 mit dem Titel: „Teurer Traum vom billigen Strom.“ Denken Sie weiter zum Beispiel bei uns in der Bundesrepublik an die Kostenentwicklung bei den Kernkraftwerken, bei dem Brüter in Kalkar sowie bei der Wiederaufbereitung, aber auch an die Diskussion um die Frage, was die Beseitigung von Kernkraftwerken nach ihrem Betrieb und die Endlagerung der strahlenden Abfälle an Kosten verursachen könnte.

4.3.2 Fossile Brennstoffe

Es handelt sich im wesentlichen um Kohle und Kohlenwasserstoffe mit Beimengungen von Schwefel, teilweise giftigen Metallen und auch strahlenden Substanzen. Sie sehen aus Abb. 27, daß die fossilen Brennstoffe alle Randbedingungen verletzen.

Wärmegleichgewicht

Bei der Verbrennung heizt die entstehende Wärme die Atmosphäre auf.

CO₂-Haushalt

Das bei der Verbrennung freiwerdende Kohlendioxid geht in die Atmosphäre, von dort mit dem Regen teilweise in den Boden und in das Wasser. Der Rest verursacht zusammen mit anderen Faktoren die schon gezeigte Zunahme des CO₂-Gehalts der Luft.

Verschmutzung

Bei der Verbrennung von fossilen Stoffen entstehen Schadstoffe, die mit den Abgasen bzw. der Schlacke ins Freie gelangen. Wie schon unter 4.1.3 erwähnt, stehen die Langzeitauswirkungen der Schadstoffe, auch bei geringsten Dosen, erst am Anfang einer Erforschung. Die bisherigen Ergebnisse sind deprimierend. Krebsauslösende Komponenten, die vor allem über Atemwege und die Nahrungskette zu uns kommen, spielen eine wesentliche Rolle. Wo die Verursacher zu finden sind, zeigt die Abb. 28. Nicht nur Kraft- und Heizwerke, sondern alle sind beteiligt. Bei SO₂ die Industrie mit 50 %.

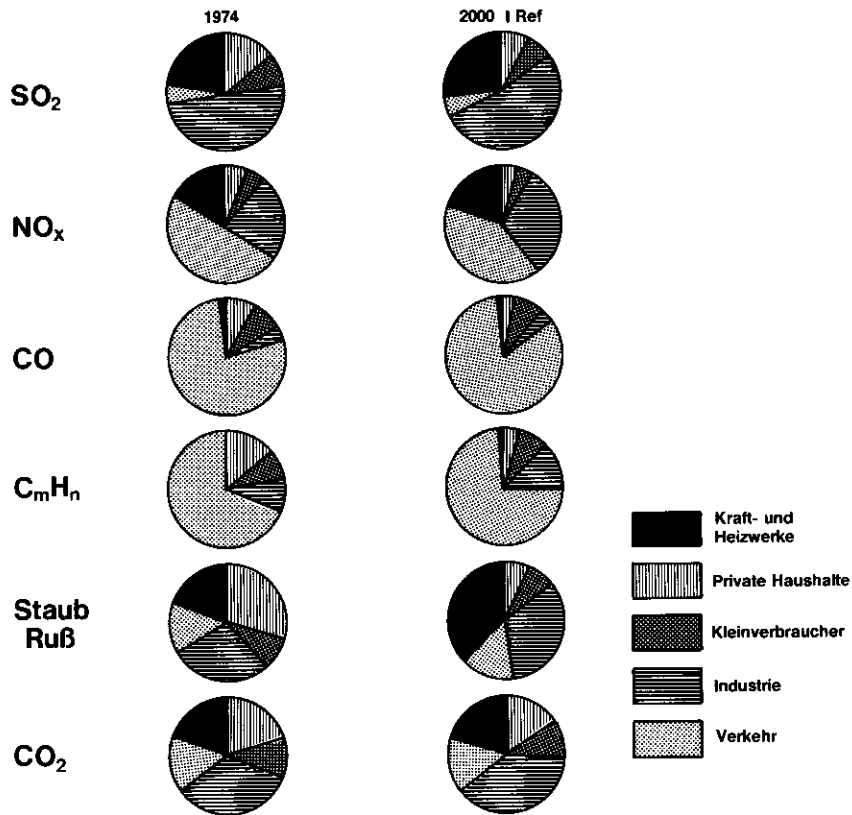


Abb. 28 Beitrag der Verbrauchssektoren zu den einzelnen Schadstoffen

(Quelle: ASA-ZE/26/80)

EAT

Energierohstoffe

In Abb. 29 sind links die nachgewiesenen, nach dem gegenwärtigen Stand der Technik wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte und der gegenwärtige Verbrauch für Öl, Gas und Kohle grafisch dargestellt. Man sieht, daß der Träger mit den geringsten Reserven, das Öl, am stärksten verbraucht wird. Leicht lassen sich folgende Zeiträume ausrechnen, für die die Reserven ausreichen würden, wenn man mit der Förderung so fortfährt wie bisher.

Öl:	31 Jahre
Erdgas:	48 Jahre
Kohle:	237 Jahre

Dies sind zwei verschiedene Größenordnungen. Bedenkt man, daß die Amortisationszeiträume von Großanlagen bei 30–40 Jahren liegen, so kann man sagen, daß für Öl und Gas die Erschöpfungsgefahr bereits so konkret ist, daß sie Investitionsentscheidungen berührt. Diese Gefahr ist aktuell und drängend. Wir können also sagen, daß, unabhängig von der künftigen Preispolitik der OPEC, allein eine einfache Ressourcenberechnung Grund genug ist, uns umgehend nach Substituten für Öl und Erdgas umzusehen. Das heißt aber, daß wir schnellstens Ersatz für mehr als 50 % unseres Primärenergieverbrauchs schaffen müssen. Bei der Kohle ist das Erschöpfungsproblem mehr prinzipieller Natur. 237 Jahre sind ein Zeithorizont, von dem aus Menschen kaum Entscheidungen jetzt fällen können. Bedenkt man aber, daß diese Kohle ja auch den Teil des Öls und des Erdgases substituieren soll und daß der Gesamtverbrauch mit der Bevölkerung steigen muß, so erreichen wir schnell 80 Jahre. Doch auch dies ist eine lange Zeitspanne.

Dies sind wohlgerne die nachgewiesenen Vorräte. Die Schätzungen der überhaupt gewinnbaren fossilen Bodenschätze liegen erheblich höher. Die Gesamtvorräte an, nach derzeitigen Kriterien wirtschaftlich gewinnbarem Öl schätzt man auf 264 TWa; bei Gas liegen die Schätzungen bei 267 TWa. Falls auch unkonventionelle Lager mit entsprechend höheren Kosten ausgebeutet würden, kämen zusätzliche Mengen hinzu: bei Öl 200 TWa (Offshore) + 373 TWa (Ölschiefer, Teersand). Dann wäre die Erdkugel aber mehr oder weniger vollständig entleert. Die finanziellen Aufwendungen für die Gewinnung dieser letzten Vorräte wären gigantisch und die Umweltauswirkungen allein des Gewinnungsprozesses teilweise katastrophal.

Werkstoffe

Nachdem ich 1956 für Professor Hütter und Mitarbeiter den ersten großen Windgeneratorflügel aus einer Verbindung von Glasfaser und Epoxydharz mit Erfolg gebaut hatte, hatten wir den Mut und bauten Segelflugzeuge, Motorflugzeuge, Hubschrauberrotoren und immer mehr, vor allem hochbeanspruchte Teile, bis zu Flugzeugteilen, Autokarosserien, Kardanwellen, Autopleuel und -federungen und vieles andere, aus sogenannten Verbundwerkstoffen, das heißt Kunstfasern mit Harzen.

Diese Verbindungen sind wesentliche Konstruktionswerkstoffe für die zukünftige technische Entwicklung. Hierfür und für die Chemie sollten wir die fossilen Stoffe, vor allem das Öl, in Zukunft benutzen.

Wirtschaftlichkeit

Auch von dieser Seite her ist für die Zeit in 50–70 Jahren eine Grenze für die fossilen Stoffe zu erkennen.

Kohle, aus Tiefen von über 1000 m gefördert, wie jetzt nördlich der Ruhr, kostet ihren Preis. Importkohle wird bei dem rasch ansteigenden Bedarf, ebenso wie heute das Öl, politischen Einflüssen unterliegen.

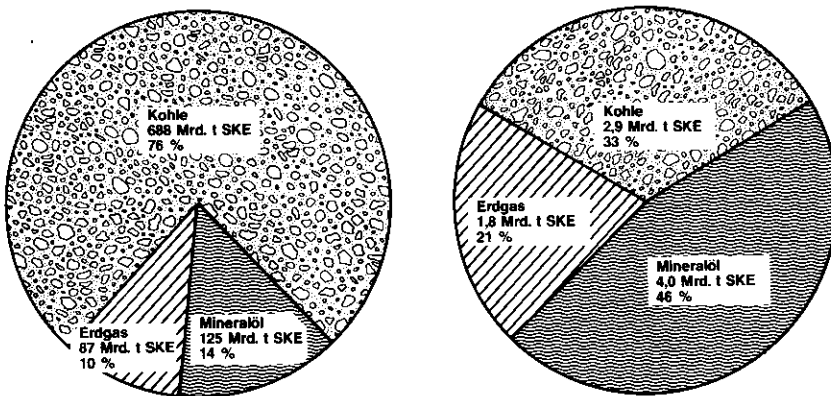
Beim Öl kam die bekannte Entwicklung der Preise. Das Gas folgte nach. Öl aus den unkonventionellen Vorkommen wird noch teurer.

Ab Mitte des nächsten Jahrhunderts werden Kohle, Öl, Gas sowie Kohleveredelung bei notwendigen Vorrichtungen für Null-Emission kaum noch zu bezahlen sein.

4.3.3 Sonnenstrahlungskreislauf

Wir kommen nun zu der dritten Gruppe der möglichen Energiedeckung, zum Sonnenstrahlungskreislauf. Sehen wir uns die Abb. 27 auf Seite 49 noch einmal an: Die Randbedingungen sind praktisch alle bis auf eine erfüllt. In diesem einen Fall handelt es sich um die Frage, inwieweit zum Beispiel die Äthanoltreibstoffgewinnung aus Zuckerrohr als Benzinzusatz bzw. -ersatz – wie zur Zeit in Brasilien – in Konkurrenz zur notwendigen Gewinnung von Nahrungsmitteln steht.

Die Biomassennutzung darf, etwa durch Abholzen der tropischen Regenwälder, nicht zu ökologischem Raubbau führen. Dies könnte ebenfalls den



Vorräte: 900 Mrd. t SKE

Verbrauch 1979: 8,7 Mrd. t SKE

Abb. 29 Weltvorräte und -verbrauch fossiler Brennstoffe

EAT

(Quelle: Weltenergiekonferenz, Oil and Gas Journal)

den CO₂-Anteil in der Atmosphäre erhöhen und schwerwiegende klimatische Auswirkungen haben.

Schadstoffe können in geringem Umfang bei der Verbrennung von Biotreibstoffen entstehen.

Es muß auch beachtet werden, daß, wenn man Land in Kollektorfläche umwandelt, das Rückstrahlvermögen um vielleicht 10 % erniedrigt wird.

Ansonsten zeigt von den Randbedingungen her die Sonnenenergie keinerlei Begrenzungen. Die entscheidenden Fragen bei der Sonnenenergie sind die Kosten und die notwendige Zeit einer Einführung.

An dieser Stelle mag vielleicht eingewendet werden, daß ich offensichtlich bei meinen Überlegungen die in der Tat gewaltigen Materialmengen für die Installation von großflächigen Sonnenanlagen übersehen habe. Mit der Erzeugung von Glas, Stahl und Beton für Kollektoren usw. sind ja zum Beispiel ebenfalls negative Umweltauswirkungen verbunden. Diese Materialien werden dem Wirtschaftskreislauf entzogen und konkurrieren mit den anderen Nutzungen. Ich meine aber, daß das Problem nicht so schwerwiegend ist, wie es von den Sonnenkritikern dargestellt wird. Ich möchte dafür folgende Gründe anführen:

- 1) Die Materialien müssen nur einmal bereitgestellt werden. Selbst alternde Teile wie Kollektorflächen und Solarzellen werden im Regelfall problemlos „recycled“ werden können, so daß vom Material her keine oder kaum Neuproduktion notwendig sein wird.
- 2) Die die Sonnenenergie sammelnden Strukturen werden häufig daneben noch eine andere Funktion haben, so daß auf dieser Seite wieder Einsparungen an Material erzielt werden können. Ein Gebäudekollektor ist zum Beispiel nicht nur Empfänger von Sonnenenergie, sondern auch Außenhaut des Gebäudes.
- 3) Der derzeit noch für Pilotprojekte erforderliche Materialaufwand pro Kollektorfläche wird sich in Zukunft wesentlich reduzieren lassen.

5. Wege

5.1 „Klassische“ Versorgung

Schauen wir uns noch einmal einen extremen prognostischen Fall an, das „High Scenario“ der IIASA-Studie sowie dessen Deckungsidee (Abb. 13 auf Seite 25).

Sie sehen, daß bis weit ins nächste Jahrhundert hinein Kohle, Öl und Gas die wesentlichen Energieträger sein werden. Es zeigt für 2030 immer noch einen fossilen Anteil von über 50 %; dazu bereits einen 30%igen Kernenergieanteil (entspricht ungefähr 10000 Kernkraftwerken) und den Beginn der Solarenergie.

Übertragen wir dies auf unsere Verhältnisse in der Bundesrepublik, so würde das heißen, daß wir uns bis ins nächste Jahrhundert in erster Linie einmal um die Schadstoffbekämpfung kümmern müssen. Das bedeutet Investitionen von vielen Milliarden für Haus, Industrie und öffentliche Kraftwerke. Einigermaßen verlässliche Zahlen konnte ich hierfür bisher nicht finden. Auf jeden Fall ist auch dies ein notwendigerweise Jahrzehnte dauernder Vorgang.

Alle diese Aufwendungen würden Mittel, die ja auch endlich sind, binden, die dann letztlich angesichts der beschränkten Vorräte für eine nachhaltige Versorgung verloren sind.

Lassen wir daher für wirklich langfristige, das heißt, für die Mitte des nächsten Jahrhunderts und später geltende Energieentscheidungen die fossilen Stoffe in jeder Form, das heißt auch veredelt, vergast, verflüssigt, außer Betracht.

Versetzen wir uns mit einem Blick nach vorne in die Zeit, in der die Endlichkeit der fossilen Vorräte oder deren ungenügende Wirtschaftlichkeit eine Abkehr von ihnen sowieso erzwingt. Lassen wir hier ein Zitat aus dem Schlußbericht der IIASA in der zusammenfassenden Darstellung von Gerwin sprechen:

„Das beständige Energiesystem der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird sich primärseitig, also auf der Seite der Einspeisung, gleichermaßen auf Kernkraft wie auf Solarenergie stützen und sekundärseitig durch den universellen Einsatz von elektrischem Strom und Wasserstoffgas als den eigentlichen Energieträgern geprägt sein.“

Beschäftigen wir uns also im folgenden mit Kernkraft, Solarenergie und Wasserstoff.

5.2 Kernkraft

Bei aller persönlicher Zurückhaltung und Versuch einer Objektivierung ergibt sich für mich folgendes Bild in Thesen:

Energie aus Kernkraft in jeder Form heizt, wie schon dargestellt, die Atmosphäre auf, sie greift so stetig zunehmend in ihr Gleichgewicht ein.

Leichtwasserkernkraftwerke in Siedewasser- sowie Druckwasserform sind meiner Ansicht nach bei gewissenhafter Ingenieursarbeit von der Uranerzeugung über Anreicherung, Brennstabherstellung, Wärmeprozess- und Energieerzeugung und Herausnahme der abgebrannten Brennstäbe technisch zuverlässig beherrschbar.

Ob man durch Herstellung – wie geschehen – einer größeren Anzahl von ähnlichen Reaktoren (zum Beispiel von 4 Siedewasser-Reaktoren) mit großem Reparaturaufwand von zweiziffrigen Milliardenbeträgen, durch Ersatz ganzer Teilsysteme (KKW Ohu), die Zuverlässigkeit „erproben“ (Zitat) mußte, möchte ich persönlich aus meiner Ingenieurserfahrung heraus bezweifeln. Stellen Sie sich vor, wenn wir so etwas (trial and error) bei Luft- und Raumfahrzeugen machen würden oder gemacht hätten!

Was mit den ausgebrannten Reaktoren zu tun ist, sollte eine rücksichtslose offene Untersuchung der schon seit Jahren stillgelegten US- und der ersten europäischen Anlagen bringen.

Häfele betont zwar, daß die Wiederaufbereitung nur im Zusammenhang mit den schnellen Brütern einen wirtschaftlichen Sinn hat. Die Auffassung, die zum Beispiel das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen vertritt, daß nämlich die Wiederaufbereitung als notwendig für die Schadstoffbehandlung und Beseitigung zu betrachten ist, sollte aber genauso ernst genommen werden.

Meine Meinung hierzu ist, daß man eine Wiederaufbereitungsanlage in der Bundesrepublik, aber wirklich nur eine, planen, beantragen und in Stufen beginnen sollte. Vorher müssen anhand eines Generalplans für jeden Prozess heiße Versuche erfolgreich gefahren werden. Ebenso müssen kleine Pilotanlagen im Technikumsmaßstab betrieben werden. Notfalls, wenn in Karlsruhe und Jülich nicht genügend Platz vorhanden ist, sollten Technikumsversuche in dem ausgewählten Gelände durchgeführt werden. Die

Rückhaltung, Verarbeitung und Verpackung von Krypton, Tritium, Jod 129 und anderen Stoffen müssen klar beherrscht werden.

Bei der Durchführung dieser Aufgaben sollte man sich jedoch endlich anerkannter, ursprünglich in großen Raumfahrtprojekten entwickelten Projektmanagement-Methoden bedienen. Hier besteht ein bemerkenswertes, unnötiges Defizit bei den Kraftwerkbauern.

Die Kompaktlager von heute sollte man dringend abbauen und zu einer Zwischenlagerung im Trockenlager übergehen. Wir werden solche so oder so mit oder ohne Wiederaufbereitung brauchen. Notwendig ist meiner Ansicht nach auch – neben Gorleben, soweit es noch zur Diskussion steht – Ort, Platz und Eignung eines zweiten Endlagers für Brennstäbe, auch wenn sie einmal nicht aufbereitet würden, zu suchen.

Die Diskussion um Brüter und Hochtemperaturreaktoren sollte man im Augenblick erst einmal den Spezialisten überlassen. Die Brüttersicherheit in der Kalkar-Version beschäftigt zur Zeit die Enquete-Kommission und ihre Gutachter. Glücklicherweise verläuft der Meinungsbildungsprozess bisher leider nicht. Der HTR hat meiner Ansicht nach physikalisch und technisch, zumindest auf der Spaltstoffseite, noch Probleme mit dem Tritium.

Wenn schnelle Brüter im Jahre 2000 nicht Spaltstoff erbrüten, brauchen wir uns bei dem Bau der geplanten Leichtwasserreaktoren um die sogenannte „Plutonium-Welt“ keine Sorgen zu machen. Das für die Initialzündung notwendige U-235 wird dann verbraucht oder unbezahlbar geworden sein.

Sie werden nach der Fusion fragen, von der man vor Jahren noch die Lösung aller Energieprobleme erwartete: Tritium, hergestellt aus Lithium, verschmilzt bei Temperaturen von Millionen von Graden mit Deuterium zu Helium unter Abgabe einer Neutronenstrahlung höchster Energie (14 MEV). Die technische Realisierung steht vor riesigen Problemen. Ob ein Fusionsreaktor mit 1200 MW installierte Leistung nach heutigem Geld 6 oder 30 Mrd. kosten wird, kann keiner sagen. Abb. 30 gibt Ihnen einen Eindruck von der Textor-Laboranlage in Jülich. Abb. 31 zeigt die Funktionsweise eines Fusionsreaktors. Das Auswechseln sehr schnell hochaktiv gewordener Apparateile wird möglicherweise alle zwei bis drei Jahre notwendig sein. Damit taucht das Problem auf: Wohin mit den langstrahlenden großen Bauteilen aus bestem Edelstahl?

Für eine realistische Zukunftsbetrachtung angesichts der völlig ungelösten Probleme muß man die Fusion erst einmal außer acht lassen, was auch bei der IASA-Studie der Fall ist.



Abb. 30 Versuchsanlage TEXTOR

(Quelle: bild der wissenschaft)

EAT

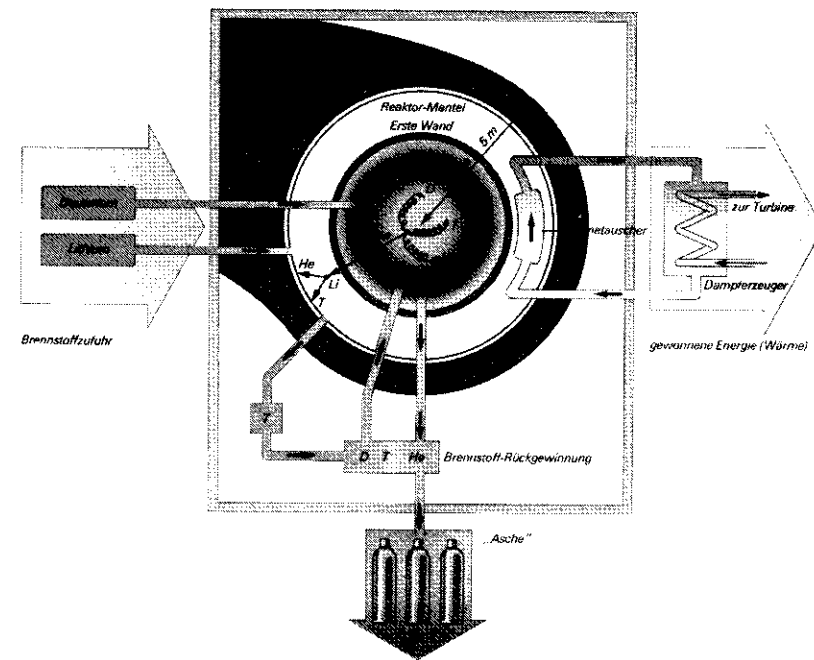


Abb. 31 Funktionsweise des Fusionsreaktors

(Quelle: bild der wissenschaft)

EAT

Zu der Frage: „Wohin mit den Spaltprodukten?“ gebe ich Ihnen mit Abb. 32 einen kleinen Blick auf meine früheren Arbeiten. Wir Raumfahrer in Otto-brunn haben nicht nur die erste funktionierende Zentrifuge der Welt für die Uranisotopen-Anreicherung gebaut, sondern wir haben uns schon Mitte der 60er Jahre Gedanken über den Transport des hochradioaktiven Abfalls gemacht.

5.3 Sonnenenergie, eine sich laufend erneuernde Energieform

Die Abb. 33 zeigt mögliche Formen der Nutzung der Sonnenstrahlung. Man unterscheidet zwischen direkter (solarthermisch, solarelektrisch) und indirekter (Windkraft, Wasserkraft, Biomasse) Nutzung.

Vorweg ein interessantes geschichtliches Bild von einer Weltausstellung im vorigen Jahrhundert in Paris: Eine sonnenbeheizte Dampfmaschine betreibt eine Druckanlage (Abb. 34).

Nun zu der Darstellung einiger Möglichkeiten: Abb. 35 zeigt eines der zahlreichen Experimentalhäuser mit Sonnenkollektoren zur Hausheizung und Warmwassererzeugung.

Die Abb. 36 und 37 verdeutlichen die prinzipielle Funktionsweise und die technische Realisierung der Methangas-(Biogas-)Erzeugung aus Tierexkrementen und landwirtschaftlichen Abfällen.

Die Abb. 38 und 39 zeigen zwei fortgeschrittene Windmotorsysteme: Der Einblatt-Rotor und der Vertikal-Rotor nach dem Schornsteinprinzip. Bei letzterem wird Luft unter einer Dachkonstruktion von der Sonne erwärmt und entweicht mit großer Geschwindigkeit durch einen Turm, in dem sich der Rotor befindet.

Fotovoltaiken zur Erzeugung elektrischen Stroms direkt aus Sonnenlicht sind möglicherweise die aussichtsreichste Solartechnologie (Abb. 40).

Die Abb. 41 bis 43 zeigen solarthermische Kraftwerke. Das Sonnenlicht wird mit Hilfe von Spiegeln auf einen Punkt konzentriert und erhitzt dort ein Arbeitsmedium (Wasser, Helium), das eine Turbine antreibt. Die Spiegel müssen der Sonne nachgeführt werden. Ob sich derartige Systeme in Konkurrenz zur Fotovoltaik durchsetzen, wird die Zukunft zeigen.

Diese wenigen Beispiele belegen die Aussage von Gerwin: „Ein nicht unerheblicher Unterschied zu den anderen Energie-Optionen besteht eben

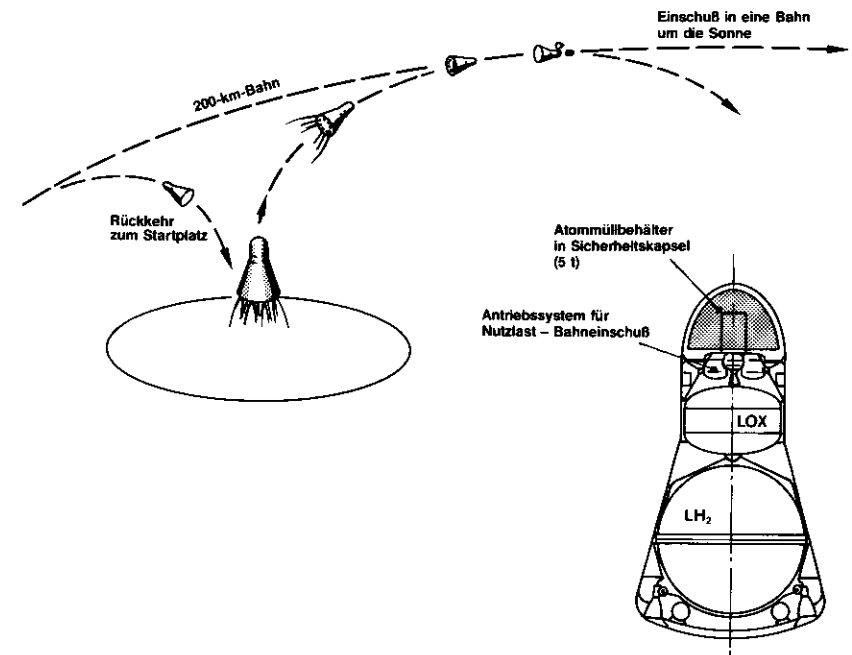


Abb. 32 Atommüllbeseitigung in den Weltraum

EAT

(Quelle: MBB)

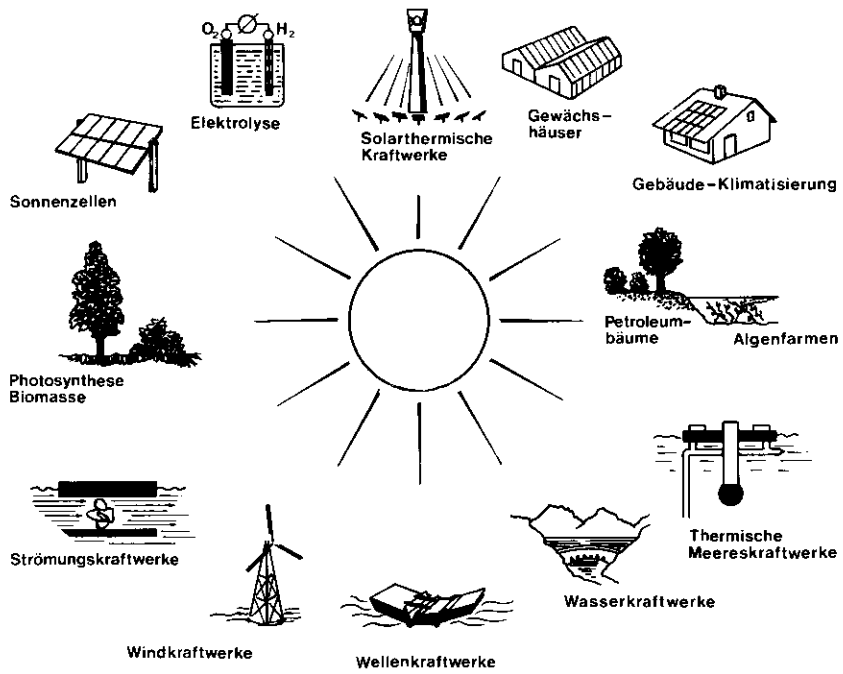


Abb. 33 Von der Sonne gespeiste Energiequellen

(Quelle: Tributsch)

EAT

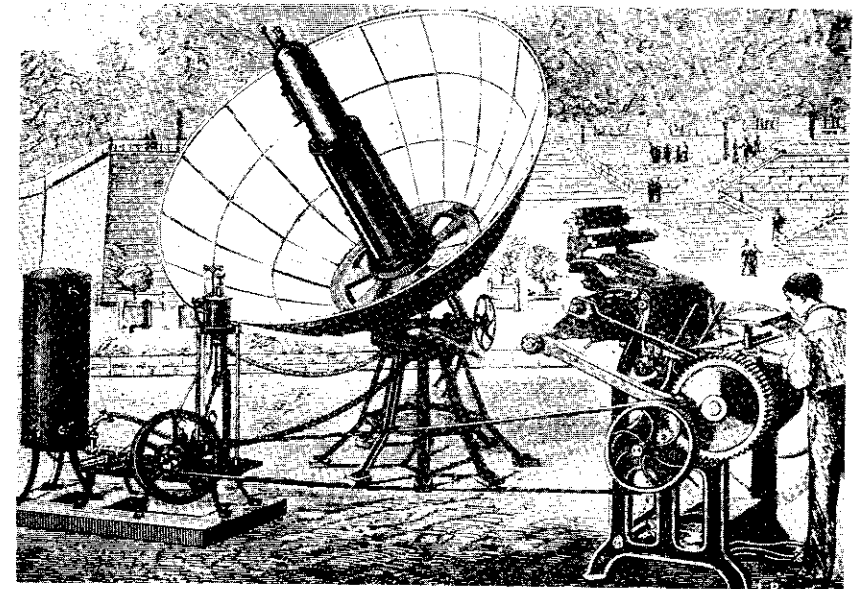


Abb. 34 Historisches Bild einer sonnenbeheizten Dampfmaschine

EAT

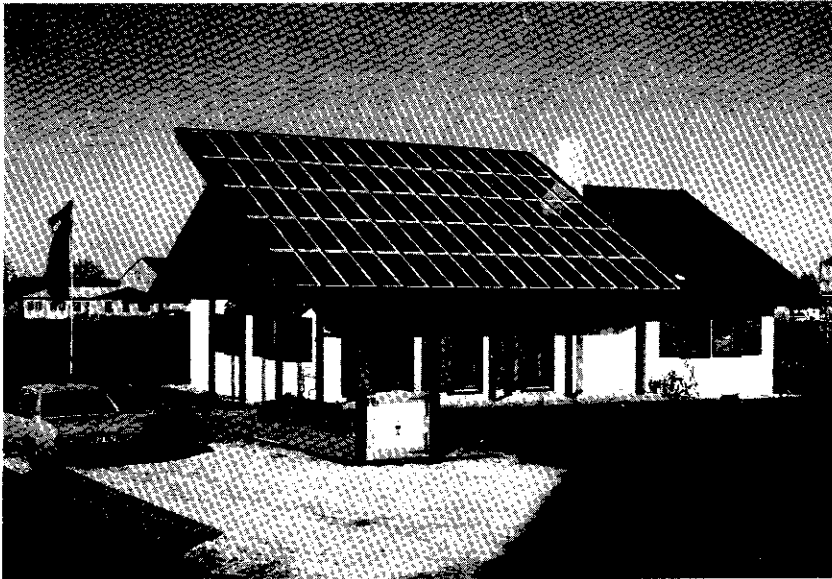


Abb. 35 Experimentalhaus mit Sonnenkollektoren

(Quelle: MBB)

EAT

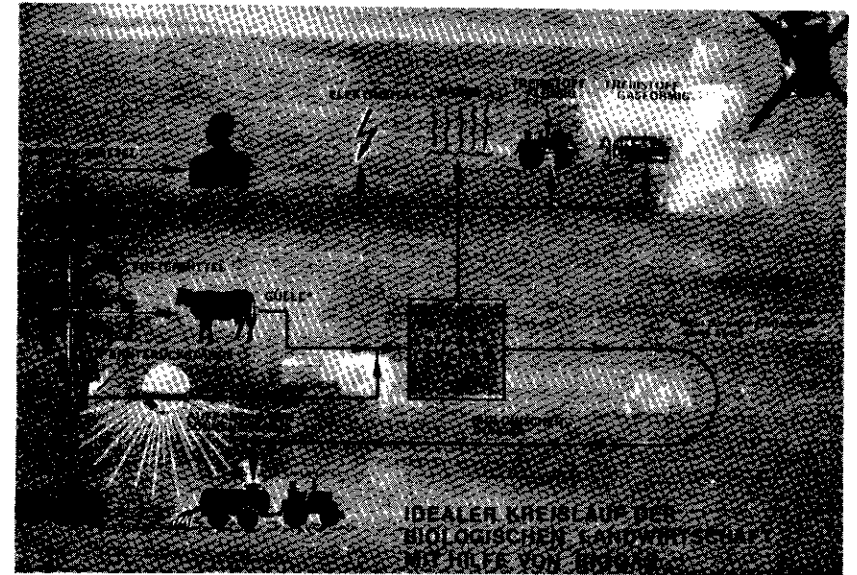


Abb. 36 Idealer Kreislauf der biologischen Landwirtschaft mit Hilfe von Biogas

(Quelle: Scala)

EAT

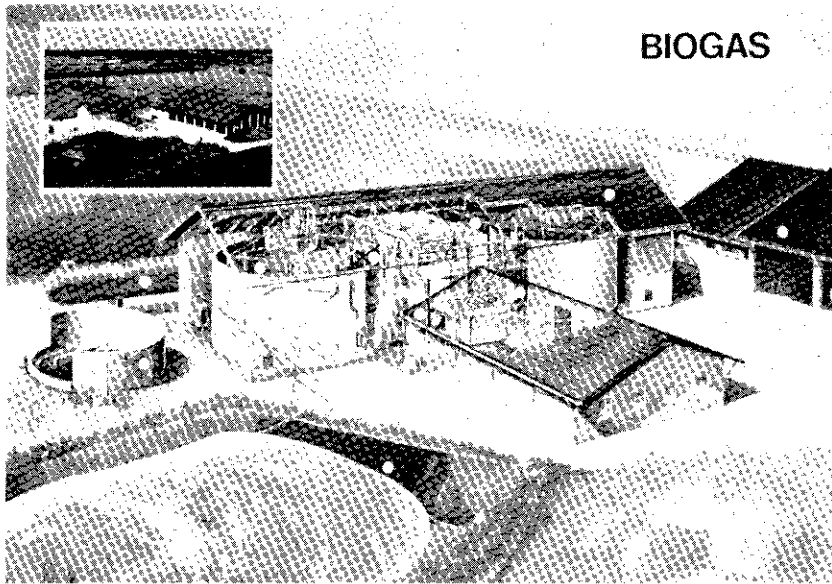


Abb. 37 Biogasanlage in Ismaning bei München

(Quelle: Scala)

EAT



Abb. 38 Einflügliger Windmotor

(Quelle: MBB)

EAT



Abb. 39 „Windturm“

EAT

(Quelle: DFVLR)

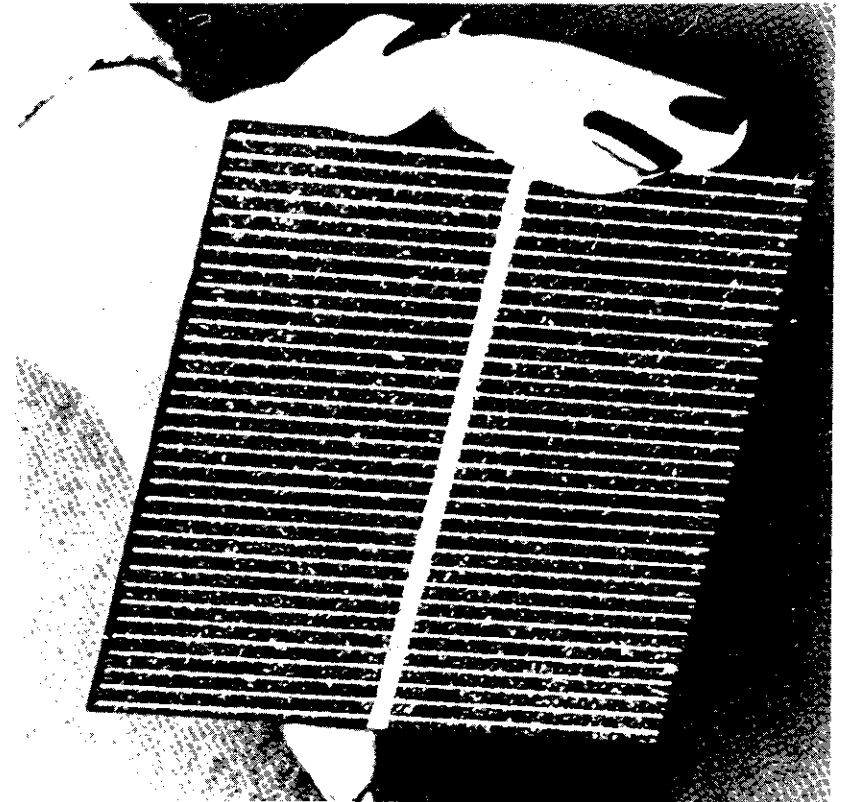


Abb. 40 Polykristalline Siliziumzelle

EAT

(Quelle: AEG)

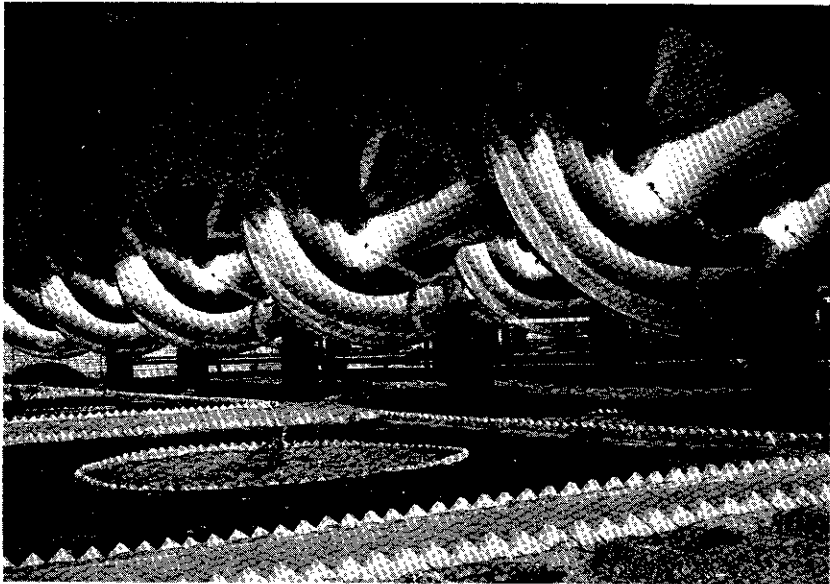


Abb. 41 Sonnenfarm in Kuwait

EAT

(Quelle: MBB)

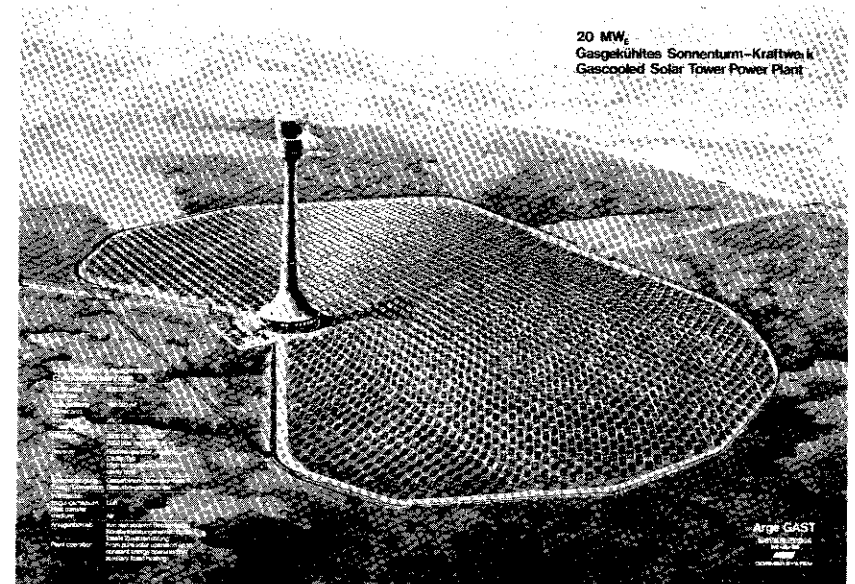


Abb. 42 Sonnenkraftwerk in Spanien

EAT

(Quelle: MBB)

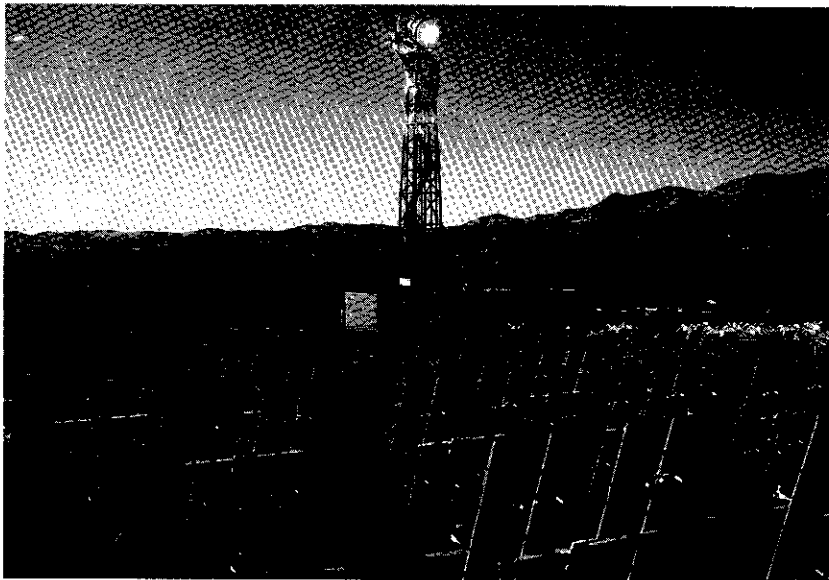


Abb. 43: Sonnenkraftwerk in Sizilien

(Quelle: MBB)

EAT

darin, daß die regenerativen Energiequellen nicht eine einzige Quelle mit einer einheitlichen Technik sind, sondern ein ganzes Bündel mit ganz verschiedenen Techniken auf einem unterschiedlichen Entwicklungsstand.“

Nehmen wir zu der möglichen Größenordnung der regenerativen Energien durch die Einstrahlung der Sonne, durch die Bewegung der Erde in unserem Planetensystem sowie durch die Erdwärme wiederum ein Bild aus dem Laxenburg-Bericht (Abb. 44).

Sie sehen links oben die jährliche Energiemenge, die von der Sonne in Form von Licht auf die Erde fällt. Es sind 178000 TWa/a. Erinnert man sich, daß wir gegenwärtig 9,5 TWa/a verbrauchen, so erkennt man die Größenordnung dieses Energiestroms. Etwa ein Drittel wird davon allerdings sofort wieder in das Weltall reflektiert. Der Rest wird absorbiert und erwärmt Luft, Boden und Ozeane bzw. verdampft das Wasser der Ozeane und treibt so den globalen Wasserkreislauf. Die absorbierte Energie verläßt die Erde am Ende als langwellige Wärmestrahlung.

Kleinere Teile dieses großen Energiestroms werden in konzentrierte Energieformen transformiert, die vom Menschen nutzbar sind. In dem von den Kontinenten abfließenden Wasser steckt zum Beispiel ein Energiepotential von 5 TWa/a, im Wind sowie in den Wellen und Strömungen der Ozeane zusammen 370 TWa/a. Schließlich werden etwa 100 TWa/a über den Photosyntheseprozess in Bioenergie verwandelt.

Neben der Sonnenenergie gibt es noch zwei weitere, allerdings wesentlich kleinere natürliche Energiequellen: Die Planetenbewegung verursacht die Gezeiten, in denen ein Potential von etwa 3 TWa/a steckt, und die radioaktiven Zerfallsprozesse speisen die Erdwärme, die einen Wärmefluß in der Größenordnung von 35 TWa/a an die Erdoberfläche bewirkt.

Was ist nun davon technisch realisierbar? Die Abb. 45 zeigt eine Abschätzung aus der gleichen Quelle. Hier ist ein realisierbares Potential von ca. 10 TWa aufgelistet. Dies bedeutet, da es sich zum großen Teil um Sekundärenergie handelt, ein Primärenergiepotential von ca. 15 TWa. Die Zahl stammt, wie gesagt, nicht von mir und auch nicht von einem der Software-Autoren.

Hierbei ist zu betonen, daß eine Energiequelle noch nicht berücksichtigt worden ist: Die direkte zentrale Nutzung des Sonnenlichts zum Beispiel mit Hilfe von Fotozellen zur Stromerzeugung. Dieses Potential ist naturgemäß praktisch unendlich groß. Die limitierenden Faktoren sind die benötigten Flächen und die Kosten. Ein Quadratmeter Solarzelle in der Wüste bringt,

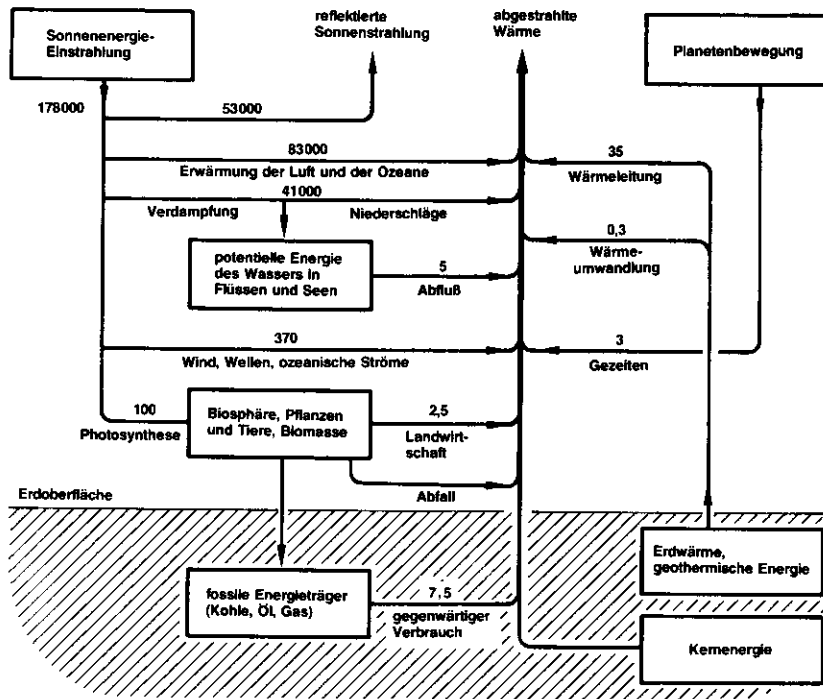


Abb. 44 Energieströme in der Natur (Zahlenwerte in TWa/a)

(Quelle: IIASA)

EAT

Energiequelle	Technisches Potential (TWa/a)	Realisierbares Potential (TWa/a)	Begrenzungen	Anmerkungen
Biomasse	6	5,1	verfügbarer Boden	einzigste Kohlenstoffquelle
Wasserkraft	3	1,5	ökologische Veränderungen	hochqualitatives Produkt (Elektrizität)
Windenergie	3	1,0	verfügbarer Boden, Wirtschaftlichkeit	hochqualitatives Produkt (Elektrizität), doch schwankendes Angebot
Erdwärme (naß)	2	1,0	Unsicherheit der Ressourcen	niedriges Temperaturniveau
Sonnenenergie (weich)	5	0,9	Wirtschaftlichkeit	überwiegend Warmwasser
OTEC	1	0,5	Wirtschaftlichkeit	spekulative Technik
Gezeiten	0,04	0	geeignete Küsten	schwankendes Angebot
Wellenenergie, Ozeanströmung	0,005	0	geeignete Technik	reine Spekulation
Summe	ca. 20	ca. 10		

Abb. 45 Potential der regenerativen Energiequellen und ihre Begrenzung

(Quelle: IIASA)

EAT

gekoppelt mit einer Elektrolyseanlage, 56 m³ Wasserstoff pro Jahr. In unserer Gegend – Stuttgart – wurden bei längeren Laborversuchen mit heutigen Zellen 23 m³ nachgewiesen. Das heißt, daß in der Wüste ungefähr 50 qm und bei uns ungefähr 100 qm Zellenfläche benötigt werden, um das Energieäquivalent von 1 Tonne Steinkohle oder 1 kWa zu erzeugen.

Um die „Ungeheuerlichkeit“ des Flächenbedarfs, die immer kolportiert wird, ein wenig zurechtzurücken, noch ein kleines Rechenbeispiel: In der Bundesrepublik gingen 1980 nach neuester Statistik der VDEW rund 320 Mrd. kWh an das Netz. Bei einer mittleren Sonneneinstrahlung in Bayern von 110 Watt pro qm und einem Zellenwirkungsgrad von rund 8 % benötigte man eine Fläche von ca. 3300 qkm, um diese Elektrizitätsmenge im Jahr mit Solarzellen zu erzeugen.

Das sind ca. 1,3 % der Gesamtfläche der Bundesrepublik. Sie entsprechen laut statistischem Jahrbuch in ihrer Größenordnung der landwirtschaftlichen Sozialbranche 1979 von 3100 qkm. Außerdem könnte man unter aufgestellten Sonnenpanelen Landwirtschaft betreiben. So „erschreckend“ klingt dies also wirklich nicht. Es wird nicht notwendig sein, mit Solarzellen historische Stadtkerne zu verschandeln, wir haben genug Industrie- und Verkehrsflächen für diese Zwecke. Ich erwähne dies nur, um die Diskussion über den Flächenbedarf weg von der Utopie zu führen.

Die technischen, wirtschaftlichen und raumordnerischen Aspekte dieses Problems werden überall in der Welt, in Deutschland vor allem von Dahlberg (AEG), durchgearbeitet und abgeschätzt.

5.4 Die Wasserstoffwelt

Das größte Problem bei der Anwendung des Sonnenlichts ist seine ungleichmäßige geographische, jahreszeitliche und tägliche Verteilung. Voraussetzung für die Nutzung dieses Potentials sind daher Energiespeicherung und -transport mit Hilfe eines Zwischenträgers (siehe Abb. 46).

Schon in den 50er Jahren hat Justi bei seinen Studien zur Energiedirektumwandlung auf eine mögliche Wasserstoffwirtschaft hingewiesen. Wasserstoff eignet sich als:

- Energiespeicher
- Energieträger für den Transport durch Rohrleitungen
- chemischer Rohstoff
- Brennstoff ohne Umweltprobleme

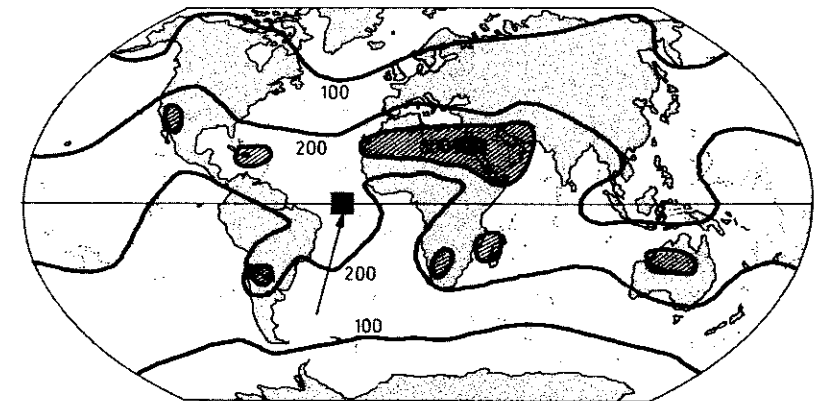


Abb. 46 Linien gleicher Sonnenintensität (W)

(Quelle: AEG)

EAT

Erfahrungen im Umgang und in der Nutzung von flüssigem Wasserstoff liegen seit 30 Jahren, von gasförmigem Wasserstoff seit 60–80 Jahren vor (zum Beispiel Stadtgas).

Beim Umgang mit Wasserstoff haben sich keine größeren Sicherheitsprobleme als beim Umgang mit anderen brennbaren Flüssigkeiten und Gasen, wie zum Beispiel Benzin und Erdgas, ergeben.

Die Erzeugung von Wasserstoff kann auf solarelektrolytischem, auf solar-katalytischem (Direkterzeugung aus Wasser und Licht, Forschungsstadium), auf nuklearthermischem und auf biologischem Weg erfolgen.

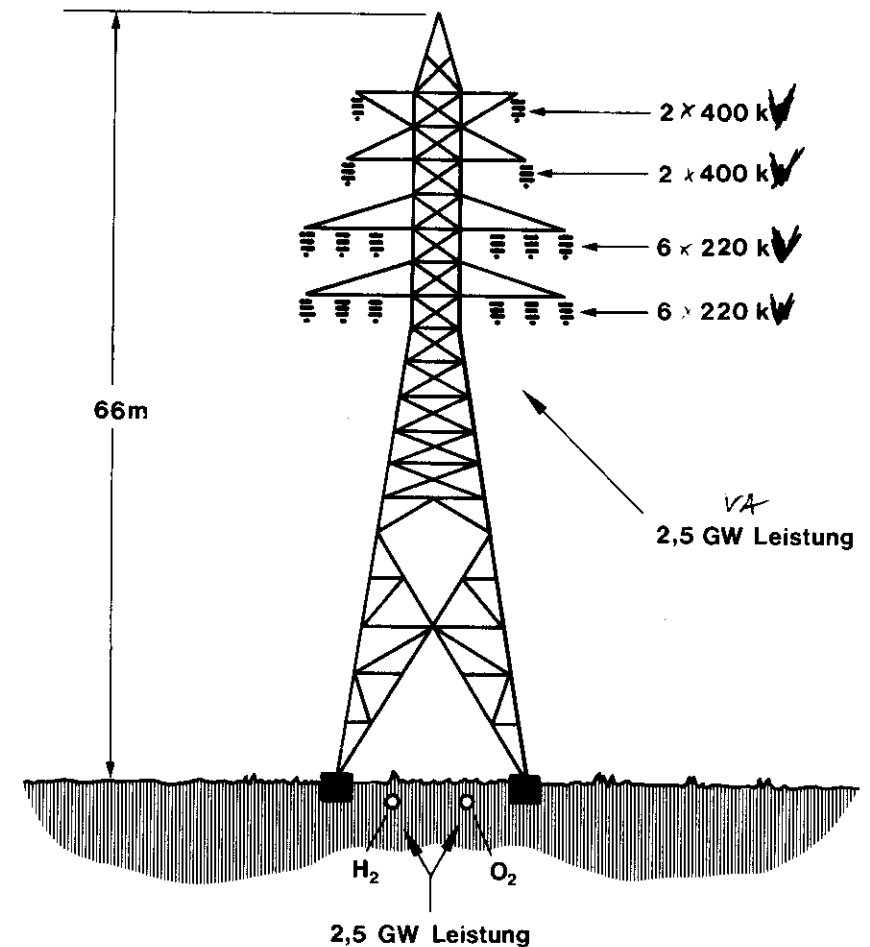
Der Energietransport von auf elektrolytischem Wege hergestellten Wasserstoff ist ab rund 400 km Entfernung billiger als der Transport von Strom via Hochspannungsleitungen, die uns in zunehmendem Maß wegen ihrer landschaftlichen Verunstaltungen Probleme bringen (Abb. 47).

Der Transport von verflüssigtem Wasserstoff per Schiff bietet sich zum Beispiel an, wenn der Wasserstoff in Gletscherkraftwerken in Grönland (Abb. 48) hergestellt würde. Anschließend würde dieser Wasserstoff in Emden in die vorhandenen Gasnetze eingespeist werden.

1932 hat Messer-Griesheim für einige chemische Werke der Rhein-Ruhr-Region eine mehrere 100 km lange 15-bar-Leitung mit vielen Einspeisungen und Zapfstellen gebaut. Die Anlage wird seit fast 50 Jahren problemlos betrieben. Man beabsichtigt, diese Leitungen rheinaufwärts über Hoechst nach Ludwigshafen zu verlängern und dann mit einem französischen Netz zu verbinden (Abb. 49).

Ausgebeutete Gas- und Öllagerstätten werden seit Jahren als Speicher für ein sehr wasserstoffreiches (60 %) Stadtgas in England ohne Probleme benutzt. Darüber hinaus bieten sich Hochdruck- und Absorptionsspeicher an. Außerdem stellt ein großes Netz bereits einen gewissen Speicher dar.

Es gibt Veröffentlichungen aus verschiedenen Ländern zur Frage der Nutzung bisheriger Erdgasleitungen für Wasserstoff. Grundsätzlich ist dies ohne große Probleme möglich. Selbstverständlich müssen auf der Verbraucherseite zum Beispiel Gasbrenner, wie in den letzten 20 Jahren schon vielerorts bei der Umstellung von stark wasserstoffhaltigem Stadtgas auf Erdgas geschehen, umgestellt werden.



**Abb. 47 Größenvergleich:
Hochspannungsmast/Druckgasrohrleitungen**

(Quelle: Isting und Thier 1975)

EAT

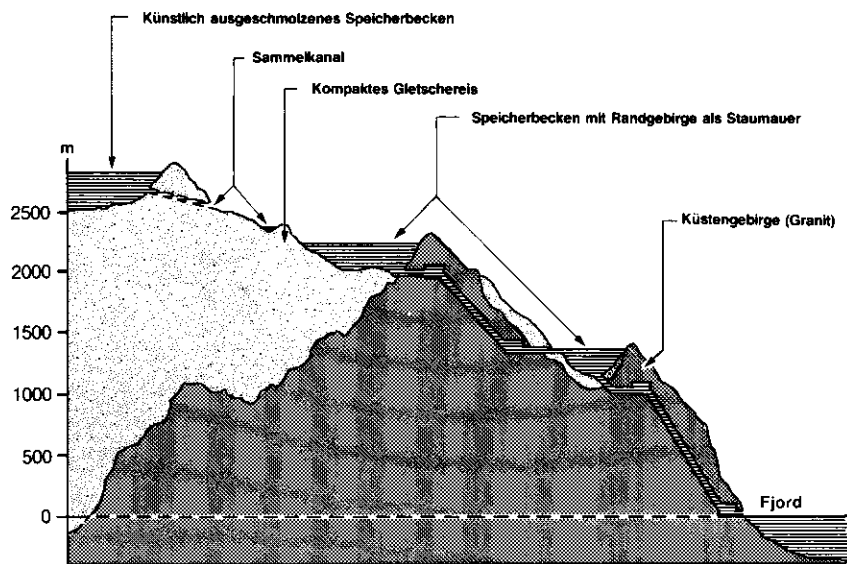


Abb. 48 Schematische Darstellung von Gletscherkraftwerken in Grönland

EAT

(Quelle: Kohlbrunner, „Gletscherkraftwerke in Grönland“)

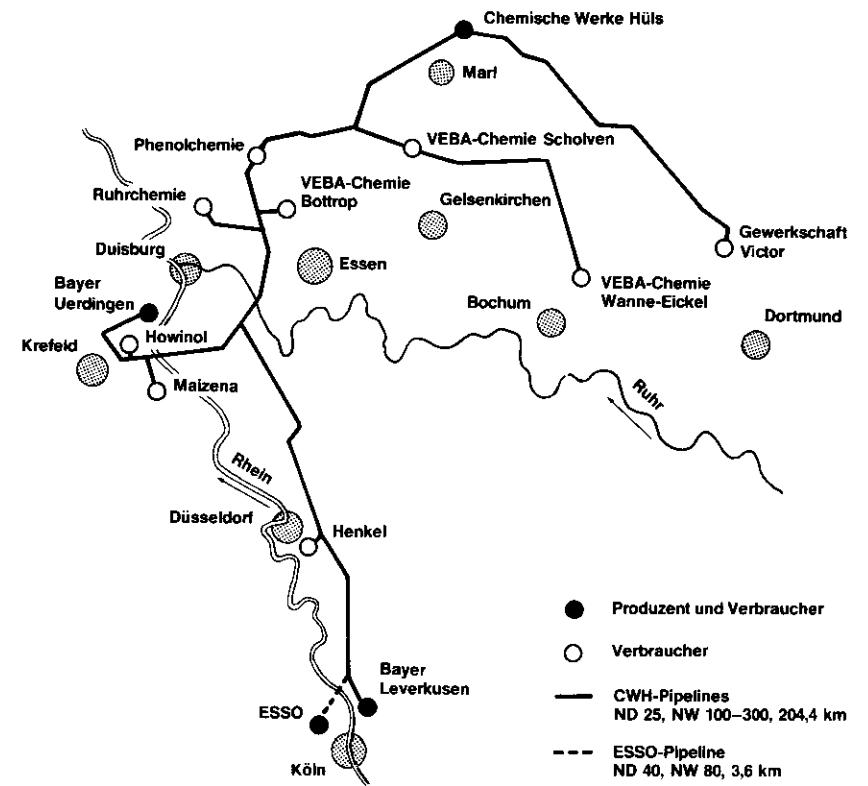


Abb. 49 CWH-Wasserstoff-Verbundnetz

EAT

(Quelle: Isting und Thier 1975)

Man kann und sollte aber heute schon alle neuen Fern- und Regionalnetze wasserstoffest machen, wenn man langfristig denkt und plant. Die Mehrkosten sind gering.

Unter dem Gesichtspunkt eines späteren Übergangs zum Wasserstoff kann man den Ausbau des europäischen Gasverbundnetzes (siehe Abb. 50) nur befürworten. Man bereitet so eine Solar-Wasserstoffwirtschaft für das nächste Jahrhundert vor. Diese wird vermutlich von einer Mischung aus dezentralen einheimischen Kleinanlagen und zentralen Großanlagen in den Sonnenländern gespeist werden. In diesem Sinne wäre es natürlich heute besser, jetzt schon nutzlos abgefackeltes Gas aus Nahost und auch aus Afrika zu uns zu leiten. Nach Versiegen der Lagerstätten könnten diese Sonnenländer Wasserstoff produzieren und mit Hilfe des bereits vorhandenen Netzes nach Zentraleuropa schicken.

Plant man fotovoltaische Großkraftwerke (Abb. 51) nach den Vorstellungen von Dahlberg (AEG) für die Deckung des globalen Energiebedarfs, kommt man zu, auf den ersten Blick, erschreckend hohen Investitionen. Sie liegen jedoch in den gleichen Größenordnungen wie die notwendigen Investitionen für Tausende Kernkraftwerke, wie sie den Kernkraftanhängern für das nächste Jahrhundert vorschweben.

Nach meiner Meinung birgt die Solar-Wasserstofftechnik keine technischen Risiken in sich. Sie funktioniert heute schon im Labor- und Technikumsversuch. Notwendig sind noch Verbesserungen von Wirkungsgraden und apparative Vereinfachungen sowie die Verbilligung durch Massenherstellung.

Planung und Realisierung der Wasserstoffwelt wäre meiner Ansicht nach eine lohnende Aufgabe für Ingenieure und Wirtschaftler in den nächsten 40–80 Jahren. Diese Aufgabe könnte unsere müde gewordene Gesellschaft zu neuen Anstrengungen und Leistungen anspornen. Der Jugend wäre wieder ein Ziel gegeben, sie sähe eine Möglichkeit, die scheinbare Aussichtslosigkeit, vor der sie steht (Global 2000), zu überwinden. Unsere industrielle Gesellschaft hat die Welt in die gegenwärtige mißliche Situation gebracht. Mit unseren technischen Mitteln könnten wir sie auf diese Weise aus der Sackgasse wieder herausführen. Die Wasserstoffwirtschaft ist auf Grund ihrer Flexibilität ideal angepaßt an die Bedingungen der Entwicklungsländer.

Nach dem Zeitalter der Mikroelektronik, der Computer und Roboter, bietet meiner Ansicht nach die Wasserstofftechnologie die Chance für eine dritte

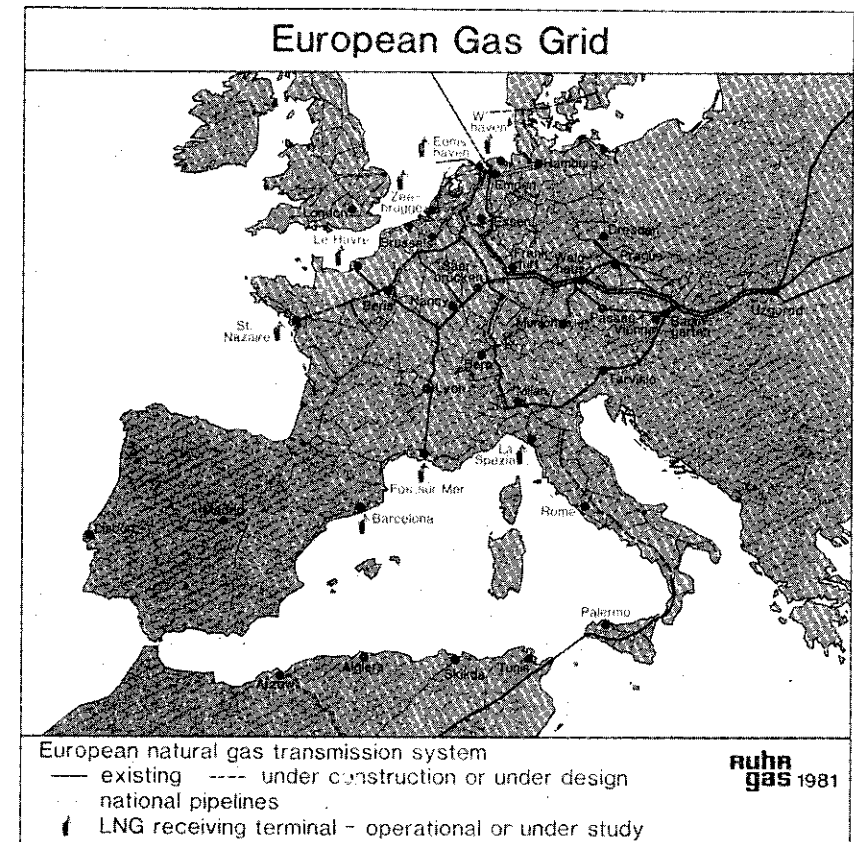


Abb. 50 Das europäische Gasnetz

(Quelle: Ruhrgas)

EAT

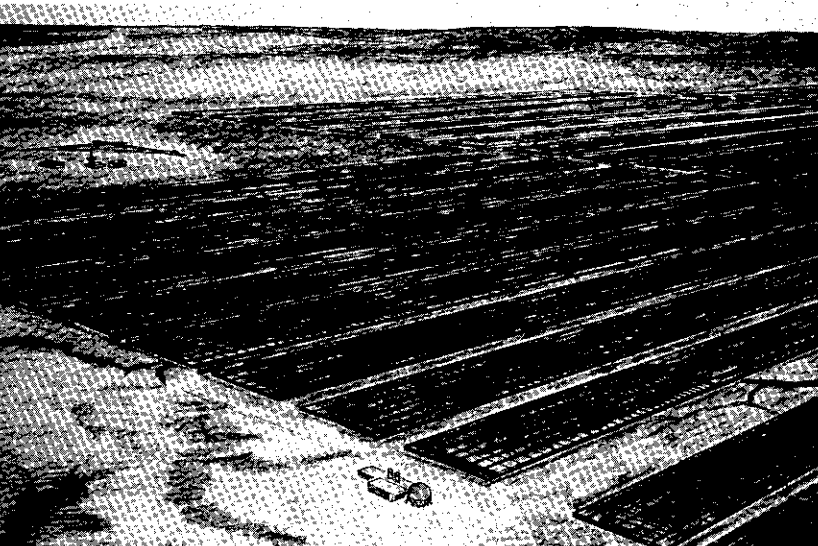


Abb. 51 Vision einer zukünftigen solarelektrischen Wasserstoffanlage

(Quelle: AEG)

EAT

industrielle, vielleicht schon postindustrielle Revolution „durch eine wirklich umweltfreundliche und unerschöpfliche Energiebasis“.

Die westliche Welt hat bis heute rund über 100 Mrd. Dollar für die Entwicklung der zivilen Kernkraft ausgegeben. In der Bundesrepublik sind es rund 30 Mrd. DM. Was uns insgesamt noch an Entwicklungsaufwendungen bevorsteht, zeigt die Abb. 52. Hier wurden für Kern- und Sonnenenergie die geschätzten Entwicklungskosten als Funktion des Anteils an der Gesamtenergieproduktion aufgetragen. Diese Darstellung überraschte mich, sagt sie doch aus, daß die Sonnenenergie mit 1/5 bis 1/10 der Entwicklungskosten der Nuklearenergie auskäme.

6. Zusammenfassung

Ich habe versucht, Ihnen folgende Überlegungen näherzubringen:

- 1) Die Komplexität und zahlenmäßige Größenordnung des Energieproblems in unserer „Industriegesellschaft (Nord)“, aber auch in der „Agrar-Gesellschaft (Süd)“, erfordern einen außerordentlich langfristigen, wohl an die 100 Jahre dauernden Prozeß, um zu einer nachhaltigen Lösung zu kommen. (Vgl. Sie hierzu noch einmal Abb. 2 auf Seite 9.)
- 2) Durch die Energieprognosen der letzten 10 Jahre, die bis heute die Entscheidungsgrundlage für die Energiepolitik bildeten, sollen wir uns nicht zu voreiligen Maßnahmen verführen lassen. Sie stimmen nicht in dem Maße, wie man uns glauben machen will.
- 3) Eine Änderung der Einstellung unserer Gesellschaft zur „Dienstleistung Energie“ kündigt sich an. Nicht darben durch Sparen, sondern rationeller Umgang mit der Energie wird den Bedarf nicht nur nicht schwächer machen, sondern sogar senken. Dieses Bewußtsein muß geistig und materiell gefördert werden. Die Öffentlichkeit muß allerdings darauf achten, daß kartellähnliche Antiabsprachen um der Erhaltung der Marktwirtschaft willen vom Staat mit allen Kräften unterbunden werden.
- 4) Fossile Stoffe werden noch auf lange Sicht der wesentliche Energieträger sein. Wegen der mit ihrer Nutzung verbundenen Schadstoffbelastungen und der Begrenztheit der Vorräte haben sie jedoch keine Zukunft.
- 5) Kernenergie kann und wird wahrscheinlich eine Energiequelle der Zukunft werden. Endgültige Aussagen, abgesehen von einem beschränkten Bereich im Gesamtkreislauf, sind heute sowohl von der Technik als von den Kosten her verantwortungsbewußt noch nicht zu machen.
- 6) Die Sonnenenergie in ihrer vielfältigen Form, nicht zuletzt in Verbindung mit einer Wasserstoffwirtschaft, hat keine Umweltprobleme, keine Vorratsprobleme und auch im grundsätzlichen keine nichtbekannten technischen Probleme. Offene Fragen dieser flächenintensiven Technik bilden die Kosten. Diese Fragen müssen von einem Team von allseitig ungebundenen Technikern und Wirtschaftlern, die kreativ und realistisch denken können, untersucht werden. Dies ist meiner Ansicht nach das Gebot der Stunde.

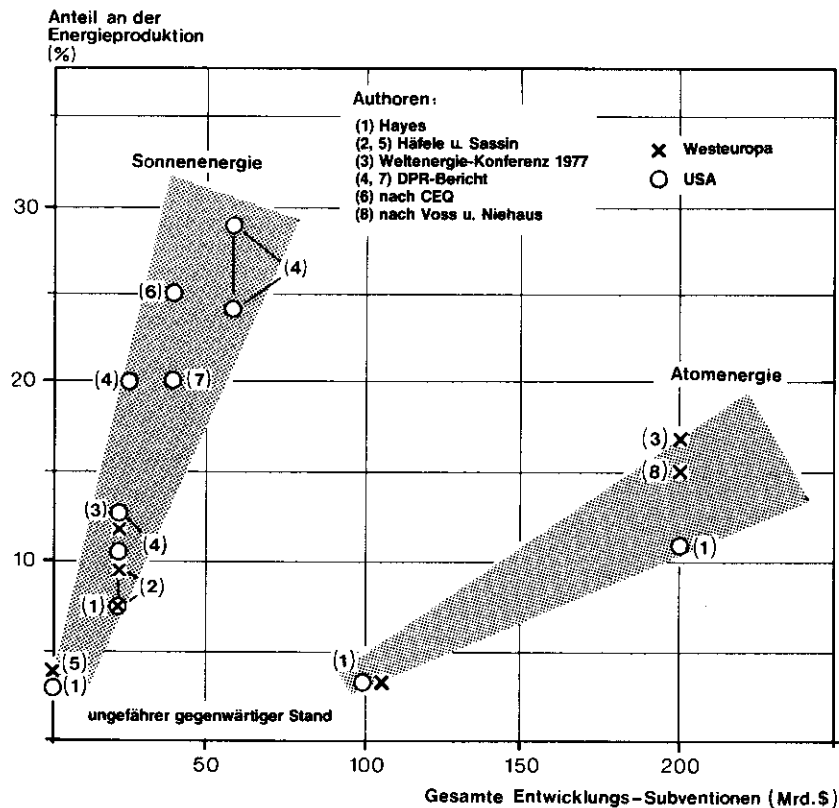


Abb. 52 Prognosen über die Entwicklung von Sonnen- und Kernenergie in den USA und Westeuropa

(Quelle: Tributsch)

EAT

7) In der Abb. 53 finden Sie links die Ausgaben unseres Forschungs- und Technologieministeriums in den letzten Jahren bis 1981 auf dem Gebiet der Energieforschung. Die Mittelaufteilung war 1981 wie folgt: 1,3 Mrd. für Kernenergie, 0,5 Mrd. für Kohle und andere fossilen Brennstoffe und 180 Mio. insgesamt für die erneuerbaren Energiequellen.

Sie werden nach meinen Ausführungen verstehen, daß dies eine nach meiner Auffassung falsche Verteilung ist.

Die von mir in Abb. 53 hypothetisch eingezeichnete relative Mittelaufteilung bis zum Jahr 1990 ist angesichts der vorgetragenen Fakten ein mehr als bescheidener Vorschlag, die meiner Auffassung nach gegenwärtig falsche Verteilung kontinuierlich zu korrigieren. Ich bin allerdings in den letzten Tagen zu der Meinung gelangt, daß die Zahlen der Ordinate 1990 schon 1985/86 erreicht werden sollten.

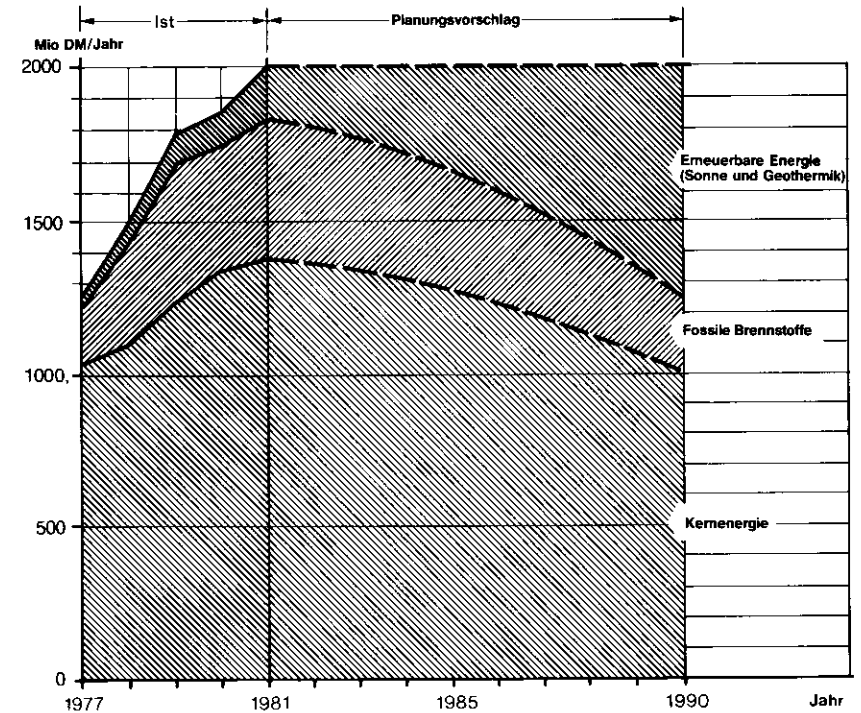


Abb. 53 Gesamtaufwendungen der Bundesregierung für Forschung und Technologie der Primärenergiegewinnung

EAT

7. Schlußbemerkung

Notizen:

Ich habe mich bemüht, einen sachlichen und konstruktiven Beitrag zu leisten. Die meisten Quellen, die ich benutzte, sind unverdächtig. Die Mehrzahl stammt, soweit wie möglich geprüft, aus der Welt der Experten, der breiten Skala der Energiefachleute. Zahlen habe ich, vor allem von der Kostenseite – Sie kennen die fast täglich immer wieder enttäuschenden Meldungen in den Medien –, vermieden, speziell die Zukunftszahlen, die sich auf allen, wirklich allen Seiten nur in Größenordnungen von Tausenden bis Zehntausenden von Milliarden Dollar bewegen.

Eines aber ist sicher für uns, die wir in Mitteleuropa eingebettet sind, umgeben von Kern- und Wärmekraftwerken: Wir können uns nicht allein entscheiden, wir können aber – und das sollten wir dringend tun – ein Beispiel geben, die Energiefragen durch freie und unabhängige Teams langfristig, aber auch mit Zugang zu den Informationen, die heute nicht veröffentlicht werden, studieren zu lassen. Der Plan, den sie erarbeiten, könnte die Jahrhundertaufgabe für unsere Nachfahren werden.