Die vorangegangenen Kapitel haben einen Überblick über einige Möglichkeiten besserer Energienutzung und die Verwendung regenerativer Energiequellen vermittelt. Die Feststellung der technischen Durchführbarkeit eines Prozesses allein genügt nun aber nicht. Soll eine energietechnische Lösung einen Beitrag zur Energieversorgung leisten, so muß der mögliche Beitrag im Rahmen des gesamten Energieversorgungssystems gesehen werden. Dieses wieder muß eine Reihe von gesellschaftlichen Anforderungen erfüllen, die die einfache Wirtschaftlichkeit einschließen, aber darüber hinausgehen: vertretbare Investitionskosten, günstige Betriebskosten, Anpassung des Energieangebots nach Art und Menge an die unterschiedlichen Bedürfnisse der verschiedenen Verbrauchergruppen, geringe Umweltbelastung, Vermeidung außenpolitischer und wirtschaftlicher Abhängigkeit, Sicherung vor Sabotage und Katastrophenanfälligkeit, besonders bei großtechnischen Lösungen, usw. Das erfordert eine umfassende systematische Untersuchung. Im folgenden Kapitel werden die Konsequenzen dreier möglicher energiepolitischer Alternativen mit Hilfe eines umfassenden Rechenprogrammes für die Bundesrepublik Deutschland untersucht. Das Ergebnis ist einigermaßen überraschend: Selbst relativ bescheidenen Verbesserungen bei der Energienutzung würden erhebliche Einsparungen beim Ausbau des Energiesystems zur Folge haben, für den Verbraucher eine wesentliche Verminderung der Energiekosten bedeuten und weit weniger Umweltbeeinträchtigungen mit sich bringen als die offiziellen Energieprogramme.

Energie-Alternativen für die Bundesrepublik Deutschland: Drei Szenarien

Richard V. Denton und Hartmut Bossel

EINFÜHRUNG

Nach landläufiger Meinung ist Wirtschaftswachstum direkt vom Anstieg des Primärenergieverbrauchs abhängig. Fast alle Energiebedarfsprognosen beruhen — bei vorgegebenem Wirtschaftswachstum — auf dieser Beziehung. Der Ansatz hat sich in der Vergangenheit über Jahrzehnte bewährt — in einer Zeit billiger Energie, in der möglichen Umweltproblemen, die sich aus der Energieumwandlung ergeben, relativ wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Entwicklungen der jüngsten Zeit — wie die erheblichen Erhöhungen des realen Energiepreises — werden beim Verbraucher Bemühungen zur Energieeinsparung hervorrufen, weil die Kosten dieser Bemühungen oft niedriger sind als die Finanzierung höherer Energiekosten. Soweit in der Praxis zur Energieeinsparung Maßnahmen durchgeführt werden können, wird sich das Wachstum des Primärenergieverbrauchs entsprechend verlangsamen. Die Folge ist für einen gewissen Zeitraum (etwa 25 Jahre) eine Verringerung der Kopplung zwischen Wirtschaftswachstum und Wachstum des Energieverbrauchs.

Im vorliegenden Kapitel sollen der Primärenergiebedarf und die Struktur der Energieversorgung in der Bundesrepublik Deutschland untersucht werden, unter besonderer Berücksichtigung des Zeitraums bis zum Jahre 2000. Zu diesem Zweck wird

die angenommene Verbrauchernachfrage nach Endenergie in Industrie, Verkehr und im Haushalt und Kleinverbrauch vorgegeben, unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Energieeinsparung. Drei Szenarien werden beschrieben:

- Ein »Standardszenario« (WGER 10), das dem offiziellen Energieprogramm der Bundesregierung entspricht;
- Ein Szenario »Starke Einsparung« (WGER 12), das die allmähliche Einführung weit besserer Energienutzung vorsieht und bei dem außerdem die Energiedienstleistung nach dem Jahr 1985 konstant gehalten wird (dieser Ausdruck wird später erklärt);
- Ein Szenario »Mittlere Einsparung« (WGER 11), das einen Mittelweg zwischen den beiden anderen Szenarien beschreitet, und heute sowohl technisch als auch wirtschaftlich durchführbar ist.

Das Standardszenario berücksichtigt nur bescheidene Energieeinsparungen auf der Verbraucherseite und dient als Bezugsszenario für die beiden anderen Szenarien, in denen wesentlich größere Einsparungen [1] vorausgesetzt werden. Die Frage, in welcher Höhe Einsparungen erzielt werden können, und welche Annahmen für die Rechnungen angemessen sind, ist für sich eine Untersuchung wert. Sie wird hier nicht in Einzelheiten besprochen werden, obwohl auf eine Anzahl plausibler Abschätzungen hingewiesen wird. In diesem Bericht wird die Ansicht vertreten, daß unter Berücksichtigung der realistischen und relativ großen Möglichkeiten der Energieeinsparung sich Abschätzungen des zukünftigen Wachstums des Energiebedarfs ergeben, die wesentlich unter den gegenwärtig vorliegenden Abschätzungen liegen. Implizit steckt dahinter als treibende Kraft die Annahme, daß der reale Energiepreis weiter steigen wird.

Bei der Durchführung der Berechnungen wurde ein Modell des Energieversorgungssystems verwendet (ESP — Energie-System-Planer), das von Bossel, H. und Mitarbeitern entwickelt wurde und bereits früher beschrieben wurde [1]. Das Modell besteht aus einer detaillierten Darstellung der Energieflüsse [2]. Es beginnt mit der Verteilung der Primärenergieeinsätze, stellt die Verteilung der verschiedenen Primärenergien auf die verschiedenen Umwandlungsprozesse dar, und endet schließlich mit der Übertragung und Verteilung der Endenergien auf die verschiedenen Endverbraucher. Zusätzlich werden die Gesamtkosten für Investitionen und für die verschiedenen jährlichen Energiemengen im Modell berechnet. Alle Parameter — wie die Wirkungsgrade der Energieumwandlung, die spezifischen Investitionskosten je Leistungseinheit (unter Berücksichtigung möglicher Verringerung der spezifischen Kosten bei Erhöhung der Anlagengröße) usw., werden als Zeitreihen vorgegeben; das Modell selbst enthält keine Eigendynamik zur Beschreibung von Entwicklungen in der Energieversorgungsstruktur. Das Modell stellt somit ein umfangreiches Buchhaltungssystem dar, das die Analyse gegenwärtiger und zukünftiger Entwicklungen im Energieversorgungssystem ermöglicht.

[1] Es muß deutlich gesagt werden, daß wir hier über Einsparung durch bessere Energieausnutzung, nicht durch Absenken der Energiedienstleistung beim Verbraucher reden, die kaum erwünscht und deshalb auch kaum durchführbar wäre.

[2] In diesem Zusammenhang muß eine kürzliche Kontroverse zwischen Bossel, H., und Mitarbeitern der Kernforschungsanlage Jülich bezüglich der Gültigkeit des Modells erwähnt werden. Die unterschiedlichen Auffassungen sind inzwischen in einem gemeinsamen Papier beigelegt worden (Bossel, H., Rath-Nagel, St., Voss, A.: »Gemeinsame Erklärung zu der wissenschaftlichen Kontroverse über einige von Bossel, H. veröffentlichte Ergebnisse von Energiemodellrechnungen«, Karlsruhe und Jülich, August 1975). Darin wurde u. a. festgestellt: »Unter den gleichen Voraussetzungen liefern die entsprechenden Modellteile der Energieumwandlung und -verteilung der Rechenprogramme der KFA Jülich und des ISI (ESP bzw. ESPINT) die gleichen Ergebnisse«. Das überrascht kaum, da beide Modellteile lediglich die Energieflüsse wiedergeben. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind vor allem auf die Annahmen über mögliche Energieeinsparungen und auf den bei Bossel, H. angenommenen etwas langsameren Ausbau der Elektrizitätserzeugung zurückzuführen.

DAS STANDARDSZENARIO

Die Grundlage für dieses Szenario bilden das Vierte Atomprogramm der Bundesregierung [2] sowie zwei neuere Untersuchungen, die für das Bundesministerium für Forschung und Technologie angefertigt wurden [3], [4].

Es muß hier angemerkt werden, daß in einigen Fällen zwischen den verschiedenen Unterlagen recht starke Unterschiede bestehen, so in den Vorausschätzungen der Anteile der verschiedenen Primärenergien am Gesamtbedarf an Primärenergie im Jahre 2000. Bei der Vorbereitung des Standardszenarios war aus diesem Grund z. T. erhebliche Interpolation erforderlich. Im folgenden werden die Hauptaspekte dieses Szenarios umrissen. Der nicht an Details interessierte Leser sollte evtl. die nächsten Seiten überspringen und beim Abschnitt »Szenario Starke Energieeinsparung« weiterlesen.

Primärenergieangebot

Nach dem Abflachen des Primärenergieverbrauchs während der vergangenen Jahre (342 mio t SKE [3] im Jahre 1975, etwa der gleiche Verbrauch wie 1973), kehrt dieser wieder zu einer Wachstumsrate von etwa 4 % zurück und erreicht 513 mio t SKE in 1985, 806 mio t SKE in 2000 und — nach Verringerung der Wachstumsrate — etwa 1 150 mio t SKE im Jahre 2025. (Letztere Zahl ist eine Extrapolation des allgemeinen Trends; sie soll nicht bedeuten, daß die offizielle Planung sich über einen Zeitraum von 50 Jahren erstreckt.) Die Primärenergieeinsätze sind in Bild 1 gezeigt. Dieses Szenario ist durch den Großeinsatz der Kernenergie gekennzeichnet, die im Jahre 1985 90 mio t SKE beisteuert [4], 350 mio t SKE im Jahre 2000, und schließlich

[3] 1 t SKE (1 Tonne Steinkohleneinheiten) = $7 \cdot 10^6$ kcal; mio = Million;

[4] Für Primärenergien, die hauptsächlich der Elektrizitätserzeugung dienen, wie z. B. Wasser und Kernkraft, wird als Energieeinsatz diejenige Menge fossiler Energie angegeben, die zur Erzeugung einer gleichen Menge elektrischer Energie erforderlich wäre (wobei die heutigen durchschnittlichen Umwandlungswirkungsgrade der Elektrizitätserzeugung berücksichtigt werden); diese beträgt etwa das (1/0,35)-fache der erzeugten Elektrizität. Dieser Berechnungssatz ist sowohl in der Bundesrepublik als auch beim U. S. Bureau of Mines üblich.

800 mio t SKE im Jahre 2025. Im Jahre 2000 entspricht die angegebene Zahl 44 % des gesamten Primärenergieeinsatzes; die Leistung der zur Elektrizitätserzeugung erstellten Kernanlagen würde dann etwa 140 GWe (Gigawatt elektrisch) erreichen.

Der Ölverbrauch (einschließlich von Rohöl und importierten End- oder Vorprodukten) steigt weiterhin zu einem Niveau von etwa 250 mio t SKE an — dieser Wert ist etwas optimistischer als die Abschätzungen kurz nach dem »Ölschock« des Jahres 1973 — und fängt dann etwa um das Jahr 2000 an abzusinken. Um 2025 ist der Ölbeitrag noch etwa 160 mio t SKE und entspricht damit einem 14-%igen Anteil an der Primärenergieversorgung.

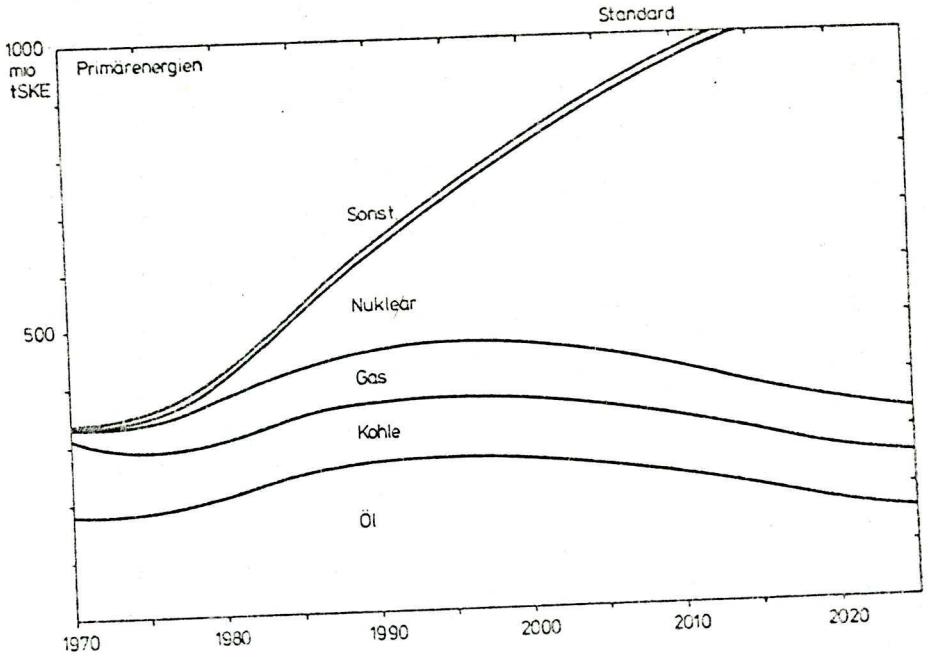

Bild 1 Primärenergieverbrauch, Standardszenarium.

Gleichzeitig steigt der Erdgasverbrauch von 18 mio t SKE (1970) auf 84 mio t SKE (1985), und auf 100 mio t SKE im Jahre 2000, um dann wieder auf 80 mio t SKE im Jahre 2025 abzufallen. Die heutige Inlandsproduktion an Erdgas beträgt etwa 18 mio t SKE pro Jahr und wird wegen der beschränkten Inlandreserven von etwa 380 mio t SKE nicht weiter erhöht werden. Der größte Teil des Verbrauchsanstiegs muß also durch erhöhte Einfuhren gedeckt werden. Das gilt natürlich auch für Öl und Kernenergie.

Gegenwärtig ist der Gesamtverbrauch an Kohle auf 95 mio t SKE zurückgefallen. Es wird angenommen, daß der Kohleanteil auf 100 mio t SKE stabilisiert werden kann. Trotz intensiver Forschung bei den Kohletechnologien (Kohle ist der einzige

Energierohstoff, der in großen Mengen im Inland verfügbar ist — etwa 55 bzw. 25 Milliarden t SKE von Braunkohle bzw. Steinkohle, davon etwa 10 bzw. 5 Milliarden t SKE abbaubar bei den heutigen Verhältnissen), wird im Standardszenario keine »Wiedergeburt« der Kohle vorgesehen.

Andere Energiequellen tragen heute einen Anteil von etwa 2 % am Gesamtverbrauch. Darunter fallen Holz, Wasserkraft und Elektrizitätsimporte.

Umwandlungssektor

Das Standardszenario ist vor allem ein Elektrizitätsszenario; die Kernenergieanlagen werden hauptsächlich zur Elektrizitätserzeugung eingesetzt. Wegen der Annahme eines ausreichenden Kernenergieangebots wird der Einsatz neuer Kohletechnologien (Vergasung und Verflüssigung) bzw. anderer fortgeschrittener Technologien (Magnetohydrodynamik [MHD], Sonnenenergie, Geothermie, usw.) relativ wenig gefördert. Die Hauptgesichtspunkte werden im folgenden umrissen.

Kernenergie: Bis etwa 1990 wird Kernenergie ausschließlich für die Elektrizitätserzeugung verwendet; danach erfolgt eine allmähliche Einführung des Hochtemperatur-Gasreaktors. Um das Jahr 2000 werden etwa 6 % der Kernenergie zur Erzeugung von Prozeßwärme hoher Temperatur verwendet; dieser Anteil vergrößert sich auf 22 % bis zum Jahr 2025. Ein Teil der Wärme wird für Prozesse der Kohlevergasung eingesetzt; es wird weiter angenommen, daß ein Teil der Wärme später zur Erzeugung von Wasserstoff verwendet wird. Für die Wasserstofferzeugung stehen im Prinzip mehrere Verfahren zur Verfügung. Wasserstoff könnte durch Stromüberschüsse vor allem aus Kernkraftwerken außerhalb der Hauptbelastungsspitzen erzeugt werden; der Wirkungsgrad der Wasserstofferzeugung durch Elektroanalyse beträgt bei Großanlagen etwa 80 %. Andere zukünftige Möglichkeiten der Wasserstofferzeugung sind die katalytische Zerlegung von Wasser bei hohen Temperaturen [5], sowie die Elektrolyse von Wasser in der Dampfphase bei hohen, im Hochtemperaturreaktor erzeugten Temperaturen [6]. Die gesamte erzeugte Wasserstoffmenge entspräche im Jahre 2025 einer Energiemenge von etwa 35 mio t SKE pro Jahr.

Kohle: Die dezentrale Verwendung von Kohle sinkt weiter ab, so daß vom angenommenen jährlichen Verbrauch von 100 mio t SKE im Jahr 2000 nur noch etwa 15 mio t SKE für diesen Zweck verwendet werden (verglichen mit etwa 38 mio t SKE im Jahr 1975). Es gibt einen leichten Anstieg im Kohleanteil, der direkt für nicht-energetische Zwecke eingesetzt wird (etwa 8 % an die Chemieindustrie im Jahre 2000), während der Anteil der Kohle zur Elektrizitätserzeugung und Fernwärmeerzeugung etwas absinkt — von 55 mio t SKE (1970) auf 47 mio t SKE im Jahr 2000. Der verbleibende Kohleanteil geht zur Vergasung und in begrenztem Umfang auch in die Verflüssigungsanlagen. Gegenwärtig werden etwa 9 % der Kohle in Gas umgewandelt, aber dieser Anteil steigt auf etwa 25 % um die Jahrhundertwende an. Gleichzeitig fällt der Wirkungsgrad der Umwandlung von Kohle zu Gas allmählich von heute etwa 85 % (zur Erzeugung von Gas minderer Qualität wie z. B. Stadtgas) auf etwa 70 % durch die Einführung des Lurgiverfahrens und anderer fortgeschrittener Verfahren zur Erzeugung hochwertiger Gase aus Kohle [3], [7].

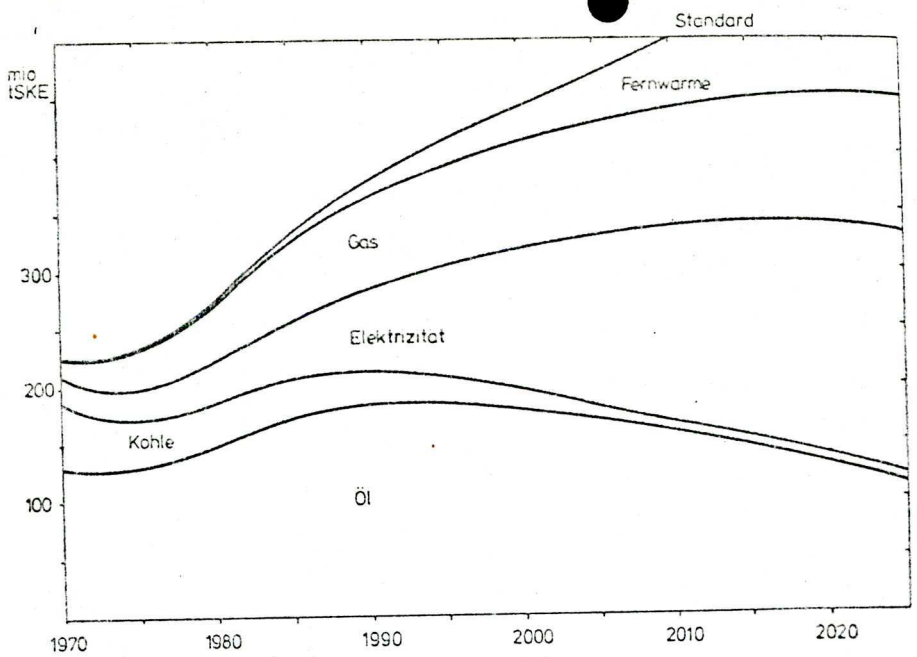

Bild 2 Endenergien an Endverbraucher, Standardszenarium.

Elektrizitätserzeugung: Um das Jahr 2000 werden etwa 80 % der gesamten Elektrizitätserzeugung durch Kernenergie bestritten. Die absoluten Mengen an Gas und Öl, die zur Elektrizitätserzeugung eingesetzt werden, steigen leicht an bis zur Jahrhundertwende, obwohl relativ mehr Gas und Öl dem dezentralen Verbrauch und dem nicht-energetischen Einsatz zufließen. Nach dem Jahr 2000 fällt der Einsatz von Öl und Gas zur Elektrizitätserzeugung rapide. Da der Schwerpunkt dieses Energieprogramms auf der Kernenergie liegt, wird angenommen, daß im Jahr 2000 nur etwa 10 % der Elektrizitätserzeugung durch den Einsatz konventioneller Brennstoffe (Kohle, Gas, Öl) in fortgeschrittenen Verfahren wie MHD bestritten wird, der Rest wird mit heute üblichen Verfahren erzeugt.

Endenergien

Die Aufteilung der Endenergien zeigt Bild 2. Um das Jahr 2000 ist der Elektrizitätsanteil auf 28 % angestiegen, während Flüssigbrennstoffe noch einen Marktanteil von 40 % halten. Festbrennstoffe sinken erheblich ab bis auf einen verbleibenden Marktanteil von 5 %; dies bezieht sich allerdings nur auf Festbrennstoffe an Endverbraucher und berücksichtigt nicht die noch zur Elektrizitätserzeugung eingesetzte Kohle.

Aus Bild 2 ergibt sich, daß die Umstrukturierung in den Energieversorgungssektoren nach dem Jahr 2000 besonders deutlich wird. Zu diesem Zeitpunkt bilden Elektrizität und Fernwärme einen großen Anteil der Sekundärenergien. Beide Energieanteile basieren nach dem Jahr 2000 vor allem auf Kernenergie. Der Gasanteil erfährt eine Sättigung bei etwa 96 mio t SKE (wegen begrenzter globaler Erdgasvorkommen), aber dieses Niveau kann nur durch Wasserstofferzeugung durch Kernenergie nach dem Jahr 2000 gehalten werden. Eine prozentuale Aufteilung der Sekundärenergien im Jahr 2025 ist natürlich spekulativ, sie könnte aber wie folgt aussehen:

Flüssigbrennstoffe	19 %
Festbrennstoffe	3 %
Fernwärme und nukleare Prozeßwärme	22 %
Gas	19 %
Elektrizität	37 %
	100 %

Bevor die Ergebnisse des Standardszenarios weiter betrachtet werden, sollen zunächst die Szenarien der starken und der mittleren Einsparung entwickelt werden.

SZENARIO »STARKE ENERGIEEINSPARUNG«

Das Standardszenario bildet wahrscheinlich eine obere Grenze für den Anstieg des Primärenergieverbrauchs in den nächsten Jahrzehnten. Der Zweck des Szenarios »Starke Energieeinsparung« ist es, eine untere Grenze anzugeben. Zu diesem Zweck werden verhältnismäßig große Möglichkeiten der Energieeinsparung auf der Verbraucherseite angenommen. Außerdem wird angenommen, daß die dem Verbrau-

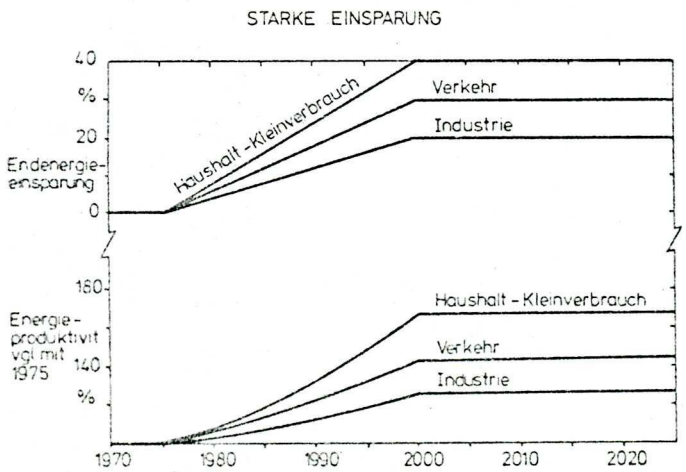

Bild 3 Szenarium „Starke Energieeinsparung", oben: Energieeinsparungen für Haushalt-Kleinverbrauch, Industrie und Verkehr in Bezug auf den für die Verwirklichung einer Energiedienstleistungseinheit notwendigen Energieeinsatz bei Energieverbrauchertechnologien von 1975; unten: die entsprechenden Energieproduktivitäten verglichen mit 1975.

cher zur Verfügung stehende »Energiedienstleistung« abflacht und nach dem Jahr 1985 konstant bleibt.

Das Ausmaß der Energieeinsparungen und die Definition der »Energiedienstleistung« erfordern eine kurze Erklärung. Die Energiedienstleistung bezieht sich auf die tatsächliche Leistung, die der Verbraucher durch den Einsatz von Endenergie erhält. Bei der Raumheizung im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch kann sich Energiedienstleistung zum Beispiel auf die Kubikmeter umbauten Raumes beziehen, die auf einer bestimmten Temperatur gehalten werden. Im Sektor Verkehr ist z. B. Passagierkilometer pro Stunde ein mögliches Maß. Im Sektor Industrie kann die zur Erzeugung einer Produkteinheit erforderliche Energie als Maß gelten. Die Energiedienstleistung wird gewöhnlich auf den direkten, nicht den indirekten Energieeinsatz bezogen. Obwohl das Konzept der Energiedienstleistung nicht immer leicht einsetzbar ist, ist es schlußendlich doch immer die Nachfrage nach Energiedienstleistung, die den Endenergieverbrauch zunächst hervorruft.

In diesem Szenario wird angenommen, daß um das Jahr 2000 [5] zur Erzeugung der gleichen Menge an Energiedienstleistung beim Verbraucher in Industrie, Verkehr und Haushalt und Keinverbrauch weniger Endenergie eingesetzt werden muß und zwar:

Industrie	−20 %
Verkehr	−30 %
Haushalt und Kleinverbrauch	−40 %

Die Einsparungen werden ab dem Jahr 1976 allmählich linear eingeführt (Bild 3) im Jahr 2000 ist der volle Betrag erreicht; danach werden keine weiteren Verbesserungen angenommen. Einsparungen beim nicht-energetischen Einsatz von Energieträgern (vor allem in der Chemieindustrie) werden nicht angenommen. Die entsprechende Energiemenge bleibt also gleich hoch wie im Standardszenario. Die Plausibilität dieserAnnahmen wird weiter unten besprochen werden.

Der vorgegebene Bedarf für Energiedienstleistungen in den einzelnen Sektoren Haushalt und Kleinverbrauch, Industrie und Verkehr bestimmt die Modellrechnungen. Energiedienstleistungen und die dafür erforderliche Endenergie stehen über die angenommene Energieeinsparung wie folgt in Beziehung: In jedem Sektor ist der Kehrwert von 1 − S(t) die entsprechende »Energieproduktivität«, wobei S(t) die spezifische Energieeinsparung pro Energiedienstleistungseinheit im Jahr t bedeutet. Die

5 Wir merken hier an,daß natürlich erhebliche Unterschiede bei den Nutzungswirkungsgraden der verschiedenen Endenergieträger bestehen. Die elektrische Widerstandsheizung zum Beispiel hat einen Wirkungsgrad von fast 100 %, während bei der Gasheizung der Wirkungsgrad etwa 75 % beträgt. Verschiebungen der relativen Endenergieanteile haben deshalb einen Einfluß auf den Gesamtbedarf an Endenergie. In allen hier besprochenen Szenarien steigt der Endverbrauch an Elektrizität sowohl absolut als auch relativ. Die hier angegebenen prozentualen Einsparungen berücksichtigen diese Überlegungen implizit. Im Szenario »Starke Einsparung« bedeutet diese Verschiebung von heute 11 % Endenergieanteil bei der Elektrizität auf 19 % im Jahre 2000 einen Einsparungseffekt von etwa 2 % beim Endverbrauch.

Produktivitäten des Szenarios »Starke Einsparung« sind in Bild 3 gezeigt. Wird die Energieproduktivität eines Sektors mit der in den Sektor einfließenden Endenergie multipliziert, so ergibt sich daraus die zur Verfügung stehende Energiedienstleistung (bezogen auf das Jahr 1975). Die Gesamt-Energiedienstleistung in Bild 4 ist die Summe der Energiedienstleistungen der einzelnen Sektoren. (Da im Standardszenario keine weiteren Energieeinsparungen angenommen wurden — bescheidene Annahmen darüber stecken bereits in den verschiedenen Angaben — sind dort die Endenergiebeträge gleich den entsprechenden Energiedienstleistungen.)

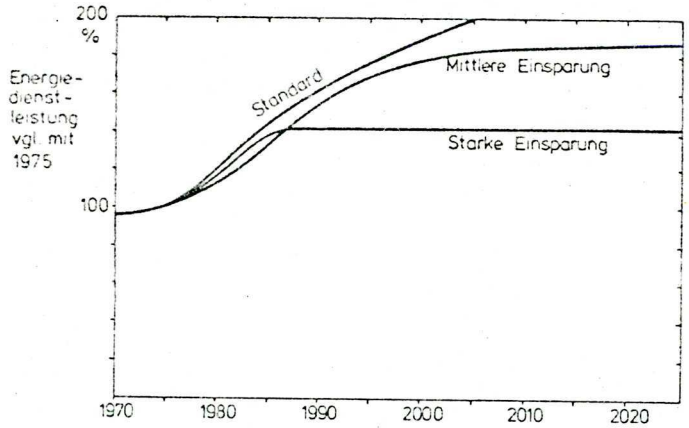

Bild 4 Gesamte Energiedienstleistungen an Haushalt-Kleinverbrauch, Industrie und Verkehr für jedes Szenarium, normiert zu den Werten von 1975.

Wie bereits angedeutet, wurden die Primärenergieeinsätze und die Struktur des Energieversorgungssystems so angepaßt, daß sich ein glatter Übergang zu einem konstanten Energiedienstleistungsniveau im Jahr 1985 ergab. Diese (extreme) Annahme ergibt eine **Abnahme** des Primärenergieverbrauchs zwischen den Jahren 1985 und 2000.

Ist die für dieses Szenario angenommene Höhe der Energieeinsparungen erreichbar? Hier muß unterschieden werden zwischen technischer und wirtschaftlicher Machbarkeit. Die äußerste physikalische Grenze ist durch den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik gegeben. Interessant ist, daß die angenommene Höhe der Energieeinsparungen sich bequem innerhalb der thermodynamischen Grenzen hält — wenn uns diese Feststellung auch nicht direkt weiterhilft. Tab. 1 zeigt den Gesamtwirkungsgrad nach dem zweiten Hauptsatz, wie er sich für verschiedene Energieanwendungen in den USA ergibt [8]. (Der Wirkungsgrad nach dem zweiten Hauptsatz ist definiert als die kleinste nach dem zweiten Hauptsatz erforderliche Arbeit dividiert durch die tatsächlich für eine bestimmte Anwendung eingesetzte Energie.) Es läßt sich übrigens auch feststellen, daß die Rangordnung der im Szenario angenommenen Energieeinsparungsmöglichkeiten (am größten in Haushalten, am geringsten bei der Industrie) mit den in der Tabelle gezeigten Verbesserungsmöglichkeiten übereinstimmt.

Tabelle 1 Gesamtwirkungsgrade nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik

Kategorie	in v. H. des 1968 U.S. Energieverbrauchs	Geschätzter Gesamtwirkungsgrad
Raumheizung	18	0,06
Warmwasserbereitung	4	0,03
Kochen	1,3	–
Raumklimatisierung	2,5	0,05
Kühlen	2	0,04
Industrie:		
Prozeßdampf	17	~0,25
direkte Wärme	11	0,3
Kraft aus Elektrizität	8	0,3
elektrolytische Prozesse	1,2	–
Verkehr:		
Auto	13	0,1
Lastkraftwagen	5	0,1
Bus	0,2	–
Zug	1	–
Flugzeug	2	–
Militär und sonst.	4	–
Nicht-energetischer Verbrauch	5	–
Sonstiges	5	–
	100	

Bei der Betrachtung der angenommenen Energieeinsparungen hat natürlich die wirtschaftliche Durchführbarkeit weit größere Bedeutung. Obwohl manche Energieeinsparungen fast ohne Unkosten erreichbar sind – wie die Einführung oder Herabsetzung von Geschwindigkeitsbegrenzungen auf Straßen und Autobahnen zur Verringerung des Kraftstoffverbrauchs – so ist doch allgemein ein Kapitaleinsatz erforderlich, um eine bestimmte Energieeinsparung zu erreichen. Es gibt praktisch keine systematischen Untersuchungen der Kostenwirksamkeit von Investitionen zur Energieeinsparung. Weiter ist vorläufig noch die Frage ungeklärt, ob ein Nachweis der Wirtschaftlichkeit ausreichen wird, um den einzelnen Verbraucher zu einer Investition zu veranlassen, die nur gerade eben wirtschaftlich erscheint.

Ein Beispiel dazu für einen Haushalt: Eine vor kurzem in der Schweiz durchgeführte Untersuchung [9] zeigt, daß eine Kapitalinvestition von DM 9 100 für bessere Isolierung und Doppelfenster in einem mittleren Einfamilienhaus den Energieverbrauch von 66 MWh jährlich auf 37 herabsenken könnte – eine Energieeinsparung von 44 % im Jahr. Die jährlichen Kapitalkosten (einschließlich Finanzierung über 25 Jahre) betrügen DM 750,– und wären damit nur etwas niedriger als die Einsparungen an Heizölkosten, die gegenwärtig etwa DM 1 100,– betragen würden. Der einzelne Hauseigentümer würde wahrscheinlich eine solche Investition nicht ins Auge fassen, solange Energiepreise nicht auf eine Höhe steigen, bei der seine Investition sich durch Einsparung bei den Energiekosten in 5 bis 10 Jahren auszahlt – eine striktere Rentabilitätsforderung als einfache Wirtschaftlichkeit. Bei Betrachtungen über mögliche Energieeinsparungen im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher muß auch berücksichtigt werden, daß 67 % aller Häuser und Wohnungen, die im Jahr 2000 in derBundesrepublik stehen werden, bereits heute bestehen. Um also ei-

Tabelle 2 Vergleich von Schätzungen zur Energieeinsparung
(Einsparungen bei gleicher Energiedienstleistung, in Prozent der Endenergie)

	bis 1985	bis 2000
Industrie		
Fichtner[1]		14,1
ISI[2]		20
Niels Bohr Inst.[3]	7	13
OECD[4]	15	
Verkehr		
Fichtner		9
ISI		30
BDI[5]		10–30
Niels Bohr Inst.	15	25
OECD	15–25	
Haushalte und Kleinverbraucher		
Fichtner		23,5
ISI		40
BDI	20	
Niels Bohr Inst.	33	56
OECD	20–25	
Insgesamt		
Fichtner		17,5
ISI		32
Niels Bohr Inst.	22	
OECD	15–20	

1 Abschätzung der Energieeinsparungsmöglichkeiten innerhalb der BRD, Fichtner Beratende Ingenieure, Stuttgart, Februar 1975.
2 Dialogprogramm zur Entwicklung und Überprüfung von Langfristkonzepten für das Energieversorgungssystem und Anwendung auf die Bundesrepublik Deutschland, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, Dezember 1974.
3 Energy Choices in Denmark, Niels Bohr Institute, September 1974.
4 Energy Prospects to 1985, OECD, Paris, 1974.
5 Sinnvoller Energieeinsatz, Bundesverband der Deutschen Industrie, Köln, Juni 1975.

ne durchschnittliche Energieeinsparung von 40 % zu erreichen, müßten erhebliche Umrüstungen durchgeführt werden. Tendenziell entstehen hierbei höhere Kosten als bei der Durchführung energiesparender Maßnahmen bei Neubauten. Ausführliche Berechnungen für die Bundesrepublik sowie Untersuchungen in anderen Ländern [8], [10] scheinen die Annahme zu stützen, daß Energieeinsparungen der Größenordnung von 20 % in Haushalten sich heute wirtschaftlich rechtfertigen lassen (Auszahlung in 8—12 Jahren), daß Einsparungen bis etwa 30 % im nächsten Jahrzehnt wirtschaftlich werden könnten und daß 40 %ige Einsparung vorläufig eine obere Grenze der Wirtschaftlichkeit darstellt. Ob eine 40 %ige Energieeinsparung im Jahr 2000 tatsächlich erreicht werden kann, hängt von einer ganzen Reihe von Faktoren ab — wie weiterem Anstieg der realen Energiepreise, staatlicher Unterstützung von Investitionen zur Energieeinsparung in Haushalten (Subventionen oder Kredite), Kooperation mit geldgebenden Instituten für die günstige Finanzierung von Krediten, Übergang auf Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf der Grundlage von Anschaffungskosten und laufenden Kosten (nicht wie heute vor allem Minimierung der Anschaffungskosten) bei maßgebenden Institutionen wie auch der breiten Öffentlichkeit, usw.

Ähnliche Überlegungen gelten für die Energieeinsparungen im Verkehrssektor und in der Industrie. Tab. 2 zeigt Schätzungen der möglichen Energieeinsparungen, die verschiedenen Quellen entnommen wurden. Diese Abschätzungen berücksichtigen keine Sekundäreffekte, wie z. B. den mit der Einführung verschiedener Einsparungsmaßnahmen u. U. verbundenen direkten oder indirekten Energieverbrauch. (Verglichen mit den Energieeinsparungen sind diese Sekundäreffekte im allgemeinen nicht hoch.) Die Quellen machen ebenfalls keine genauen Angaben über die zur Erreichung von Einsparungen erforderlichen Investitionen. Diese Fragestellungen werden in dieser Arbeit nicht besprochen werden, obwohl implizit angenommen wird, daß die notwendigen Investitionen unter gegenwärtigen Bedingungen vertretbar sind, zumindest für das Szenario »Mittlere Einsparungen«.

Nach diesem Diskurs nun wieder zurück zum Szenario »Starke Einsparung«.

Primärenergien

Absolut gesehen wurden alle Primärenergieeinsätze außer Kohle im Vergleich zum Standardszenario herabgesetzt, um die Einsätze der niedrigeren Endenergie-Nachfrage anzupassen. Die Primärenergieeinsätze zeigt Bild 5. Der Druck, neue Primärenergiequellen zu entwickeln, ist jetzt wesentlich kleiner geworden, und die ohne Kernenergie im Standardszenario zu erwartende Energielücke gibt es jetzt nicht mehr. Entsprechend wurde in diesem Szenario der Kernenergieanteil auf diejenigen Kraftwerke beschränkt, die bereits heute im Betrieb, im Bau oder in der Planung sind.

Kernenergie: Der Primärenergieanteil der Kernenergie entspricht dem Wert von 35 mio t SKE im Jahr (1980) und erreicht eine Sättigung um 50 mio t SKE ums Jahr 1990; dies entspricht etwa 25 GWe installierter Leistung.

Kohle: Der Kohleanteil — Kohle stellt die einzige größere Energiequelle im Inland dar — steigt langsam an von 100 mio t SKE im Jahre 1975 auf 120 mio t SKE im Jahr 2000 und 160 mio t SKE im Jahr 2025.

Öl und Gas: Beide Einsätze sind niedriger als im Standardszenario, wobei die Verringerung bei Gas am ausgeprägtesten ist (40 mio t SKE im Jahr 2000, verglichen mit 83 mio t SKE im Standardszenario).

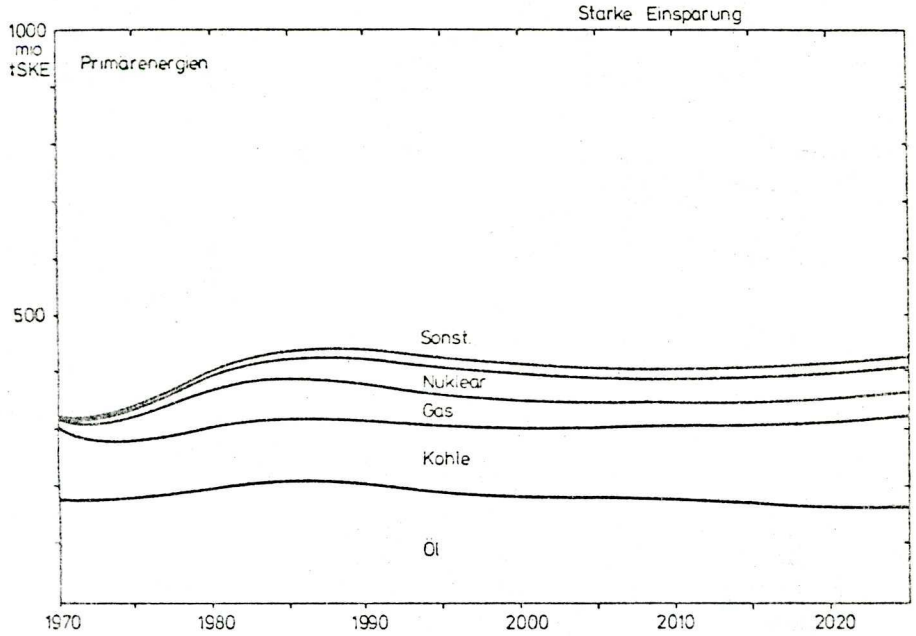

Bild 5 Primärenergieverbrauch, Szenario „Starke Energieeinsparung".

Umwandlungssektor

Die verschiedenen technischen Parameter wurden fast unverändert vom Standardszenario übernommen; sie werden deshalb nicht weiter besprochen. Etwas mehr Kohle wird dem dezentralen Verbrauch zugeführt; die der Verflüssigung zugeführte Kohlemenge ist etwas kleiner, während ein hoher Anteil der Kohle im Elektrizitätssektor verbraucht wird (60 % im Jahr 2000, oder 72 mio t SKE verglichen mit 53 mio t SKE im Standardszenario). Der niedrige und gleichbleibende Betrag der Kernenergie von 50 mio t SKE nach 1990 geht fast ausschließlich in die Elektrizitätserzeugung.

Endenergien

Diese sind in Bild 6 aufgetragen. Das Absinken der Gesamtsumme der Endenergie zwischen 1985 und 2000 ist die Folge der nach dem Jahr 1985 nicht weiter steigen-

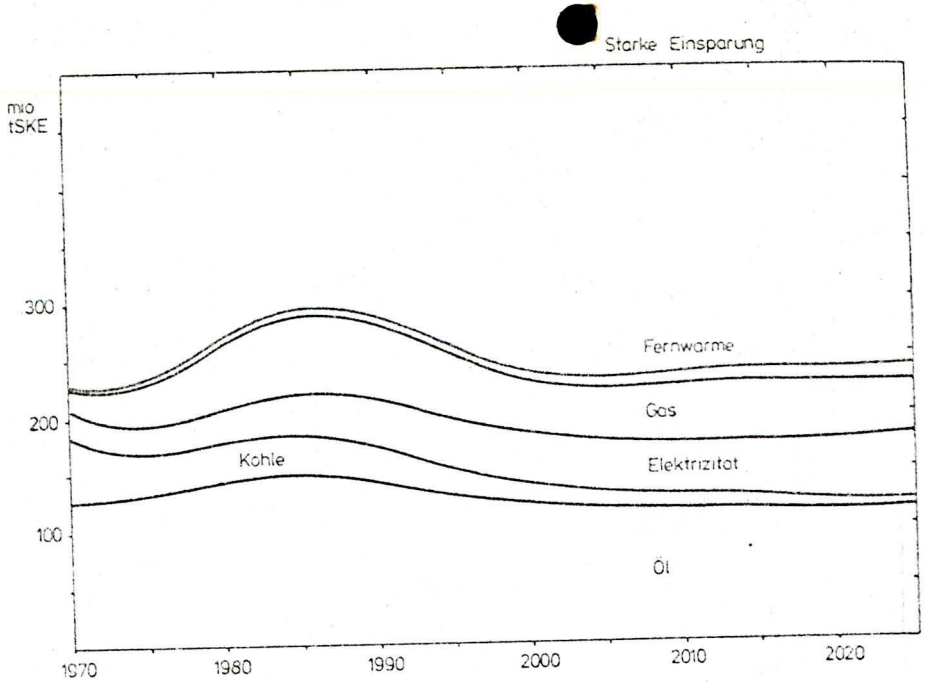

Bild 6 Endenergien an Endverbraucher, Szenario „Starke Energieeinsparung".

den Energiedienstleistung beim Verbraucher (s. Bild 4), wobei durch die sich weiter verbessernde Energieproduktivität weiterhin mehr Energie eingespart werden kann. Um das Jahr 2000 sind diese Einsparungsmöglichkeiten erschöpft (Bild 3); bei weiter gleichbleibender Energiedienstleistung bedeutet das, daß die Gesamtsumme der Endenergien nach dem Jahr 2000 auch konstant bleibt.

SZENARIO »MITTLERE EINSPARUNG«

Im Gegensatz zum Standardszenario stellt das Szenario »Starke Einsparung« wahrscheinlich eine untere Grenze für den Primär- und Endenergieverbrauch dar. Beim Szenario »Mittlere Einsparung« werden weniger strenge Annahmen zur Energieeinsparung gemacht, während gleichzeitig bis zum Jahr 2000 fast die gleiche Steigerung der Energiedienstleistungen angenommen wird wie im Standardszenario. Es wird angenommen, daß bis zum Jahr 2000 die folgenden Energieeinsparungen (bezogen auf gleiche Energiedienstleistung) durchführbar sind:

Industrie	– 15 %
Verkehr	– 20 %
Haushalte und Kleinverbrauch	– 30 %

Diese Energieeinsparungen sind in Bild 7 aufgetragen. Die entsprechenden Energiedienstleistungen sind aus Bild 4 ersichtlich. In diesem Zusammenhang ist ein Vergleich mit Bild 8 interessant, das den gesamten Endenergieverbrauch der Sektoren

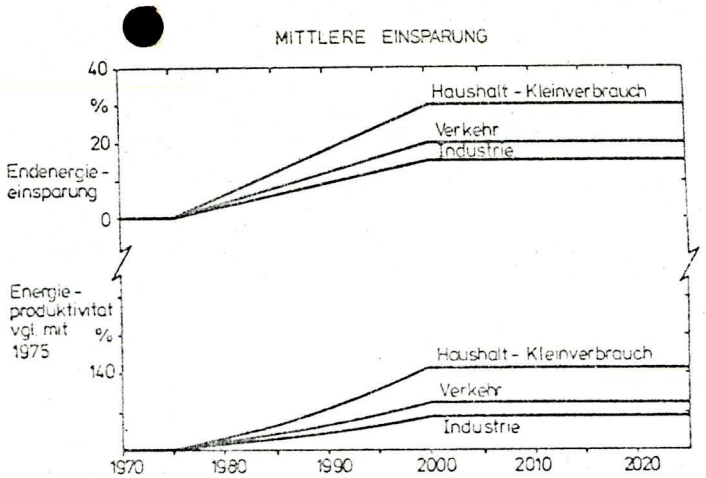

Bild 7 Szenario „Mittlere Energieeinsparung", oben: Energieeinsparungen, unten: Energieproduktivitäten verglichen mit 1975.

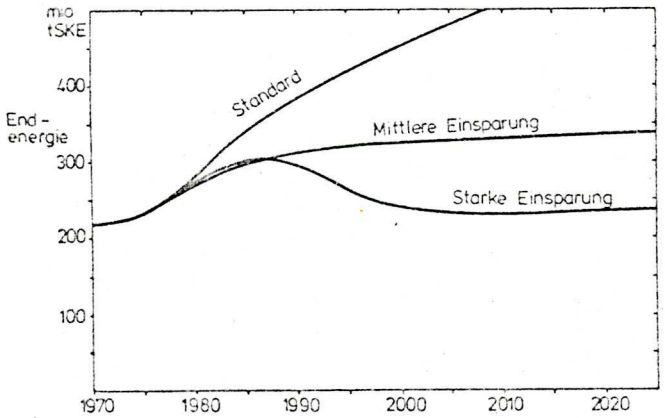

Bild 8 Gesamte Endenergien an Haushalt-Kleinverbrauch, Industrie und Verkehr für jedes Szenario.

Haushalt und Kleinverbraucher, Verkehr und Industrie darstellt. Die Energiedienstleistungen des Szenarios »Mittlere Einsparungen« sind etwa die gleichen wie die des Standardszenarios (bevor sie im Jahr 2000 abfallen), trotzdem sind die erforderlichen Endenergiemengen im Jahr 2000 wesentlich niedriger, als Folge der noch relativ bescheidenen Annahmen über Energieeinsparungen (Bild 7).

Um die angegebene Menge der — über die Energiedienstleistung bestimmten — Endenergien bereitzustellen, bleiben die meisten technischen Parameter des Energieversorgungsmodells etwa gleich mit denen im vorangegangenen Szenario. Dies bedeutet, daß die Primärenergieeinsätze im Vergleich zum Szenario »Starke Einspa-

rung« höher sein müssen. Bild 9 zeigt die Primärenergieeinsätze; außer bei der Kohle liegen sie alle unter den Werten des Standardszenarios. Der Kernenergieanteil steigt z. B. nur langsam auf 105 mio t SKE im Jahr 2000, was weniger als einem Drittel des Wertes im Standardszenario entspricht.

Es wird außerdem angenommen, daß Sonnenenergie zur Warmwassererzeugung und in begrenztem Maße auch zur Raumheizung eingesetzt wird. Der Anteil erreicht 13 mio t SKE im Jahr 2000 und 28 mio t SKE im Jahr 2025. In den Jahren 2000 und 2025 entspräche das etwa 10 % bzw. 18 % der im Sektor Haushalt und Kleinverbrauch eingesetzten Energie. (Heute werden etwa 10 % der gesamten im Sektor Haushalte und Kleinverbrauch eingesetzten Energie zur Warmwassererzeugung verbraucht, während 80 % zur Raumheizung erforderlich sind.) Vom Standpunkt des Energieverbrauchs sollte eine solche Höhe der Sonnenenergienutzung statt der Verschwendung hochwertiger elektrischer Energie zur Raumheizung sicherlich gefördert werden. Das in diesem Szenario angesetzte Ausmaß der Marktdurchdringung solarer Anlagen ist eher bescheiden angesetzt; mehrere Untersuchungen bezüglich der Marktchancen solarer Anlagen sind hier wesentlich optimistischer [11].

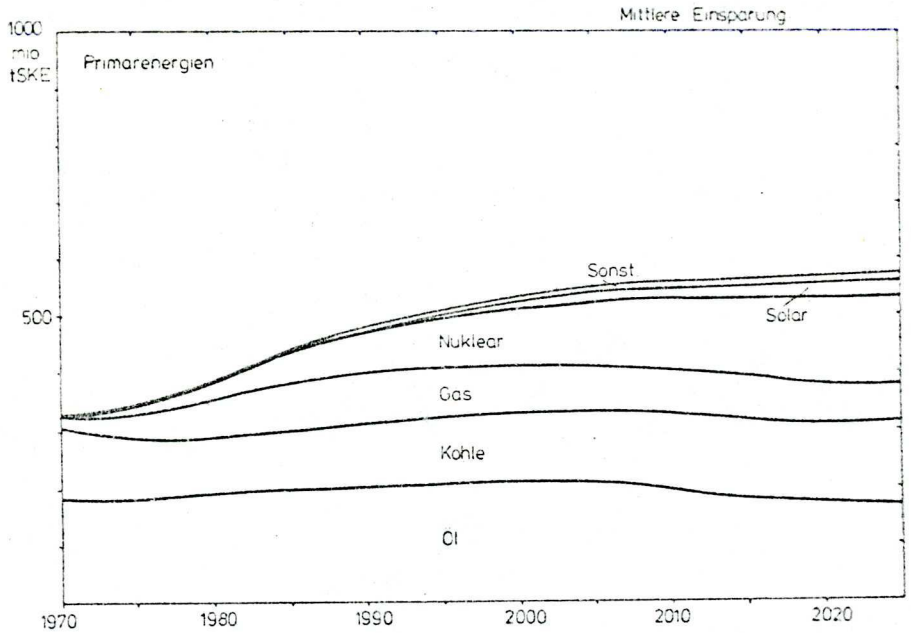

Bild 9 Primärenergieverbrauch, Szenario „Mittlere Einsparung".

Die später tatsächlich erreichte Höhe hängt von vielen Faktoren ab [12], von denen ein wichtiger die Annahme weiterer Anstiege der realen Energiepreise ist. Auf der anderen Seite werden in den zwei kürzlich vorgelegten Untersuchungen, die hier zur Erstellung des Standardszenarios benutzt wurden [3] [4], trotz der relativ hohen staatlichen Aufwendungen [13] zur Förderung der Solarenergie (etwa $30 \cdot 10^6$ DM bis heute) die Chancen ihres Einsatzes praktisch mit Null veranschlagt.

Die Endenergieeinsätze des Szenarios »Mittlere Einsparung« sind in Bild 10 gezeigt. In den Bildern 11, 12 und 13 wird außerdem eine Aufteilung der Endenergien auf die verschiedenen Sektoren für jedes der drei Szenarien gezeigt. In diesen drei Bildern ist auch der Verbrauch für den nicht-energetischen Einsatz (z. B. Chemierohstoffe) gezeigt.

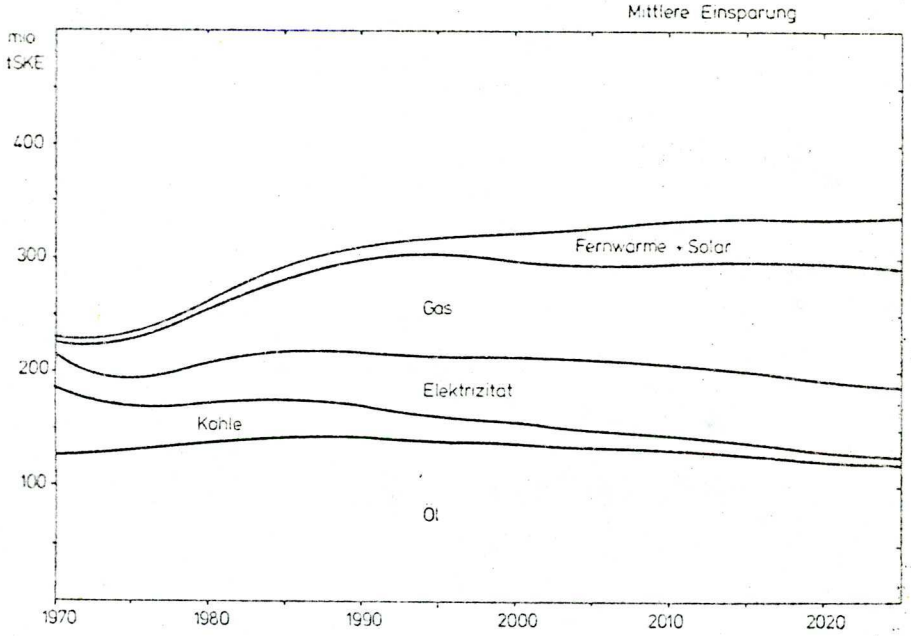

Bild 10 Endenergien an Endverbraucher, Szenario „Mittlere Einsparung".

DIE WICHTIGSTEN ERGEBNISSE

Die wichtigsten Daten der drei Szenarien werden in den folgenden Tabellen zusammengefaßt. Zur Berechnung der gesamten Investitionskosten und der Energiekosten wurden bezogene Kosten als Zeitreihen vorgegeben. Diese Kosten sind für die Jahre 1975, 2000 und 2025 in den Tabellen 3 und 4 gezeigt; wobei die Geldwerte in Realpreisen von 1975 ausgedrückt sind. Die in Tab. 3 aufgeführten Kosten spiegeln die Annahme eines allgemeinen Preisanstiegs bei der Energie wieder, obwohl natürlich die für die Jahre 2000 und 2025 eingesetzten Werte nur spekulativ sein können. Die Daten für die spezifischen Investitionskosten in Tab. 4 wurden einer Reihe von Quellen entnommen [3], [4], [7], [14], [15] wobei eine Verringerung der spezifischen Kosten bei Großanlagen (economies of scale) bereits berücksichtigt wurden.

Die Investitionskosten für die Energieverteilung und -übertragung (Tab. 4) wurden aus durchschnittlichen Werten für die Bundesrepublik ermittelt. (Die Investitionskosten pro Leistungseinheit und Entfernung wurden über für die Bundesrepublik typische Entfernungen gemittelt, woraus sich die in der Tabelle gezeigten Angaben in DM je Kilowatt übertragener Leistung ergeben.)

Tabelle 3 Primärenergiepreise in DM/t SKE

Energie	1975	2000[1]	2025[1]
Kernbrennstoffe	30	63	63
Importierte Elektrizität	750	750	750
Rohöl	125	225	225
Importierte Ölprodukte	138	248	248
Kohle und Braunkohle	125	225	225
Gas	125	225	225

1 Szenarioannahmen

Tabelle 4 Investitionen in Energieumwandlung und -verteilung in DM/kW

Energieumwandlungsart	1975	2000[1]	2025[1]
Elektrizität aus Kernenergie (LWR)	1560	2000	1750
Elektrizität aus Wasserkraft	500	500	500
Elektrizität aus konventionellen Wärmekraftwerken	900	900	900
Elektrizität aus „fortgeschrittenen" Wärmekraftwerken	750	750	750
Prozeßwärme aus Kernenergie (HTGR)	500	560	500
Prozeßwärme aus konventionellen Brennstoffen	500	500	500
Mineralöl-Raffinerien	70	70	70
Wasserstoff aus Elektrolyse	500	500	500
Wasserstoff aus Prozeßwärme	500	500	500
Energieverteilung			
Elektrizität	1250	1250	1250
Fernwärme	1200	1200	1200
Kohle	88	88	88
Öl	30	30	30
Gas	60	60	60

1 Szenarioannahmen

Die vom Verbraucher zu bezahlenden Endenergiepreise (Tab. 5) wurden bei den Modellrechnungen exogen vorgegeben, aber sie müssen natürlich mit den Daten der Tabellen 3 und 4 im Einklang sein.

Aus der Zusammenfassung in Tabelle 6 ergeben sich folgende Schlüsse:

- Die Gesamtkosten des Primärenergieeinsatzes sind im Szenario »Starke Einsparung« am niedrigsten, wie anzunehmen. Die durchschnittlichen Kosten je Energieeinheit sind allerdings höher wegen des relativ höheren Anteils an fossilen Energien verglichen mit billigeren Kernbrennstoffen.

Tabelle 5 Endenergiepreise beim Verbraucher in DM/t SKE

Energieart	1975	2000[1]	2025[1]
Elektrizität	925	1500	1500
Fernwärme	400	725	750
Kohle	130	130	130
Flüssigbrennstoffe	225	350	375
Gas	150	350	375

1 Szenarioannahmen

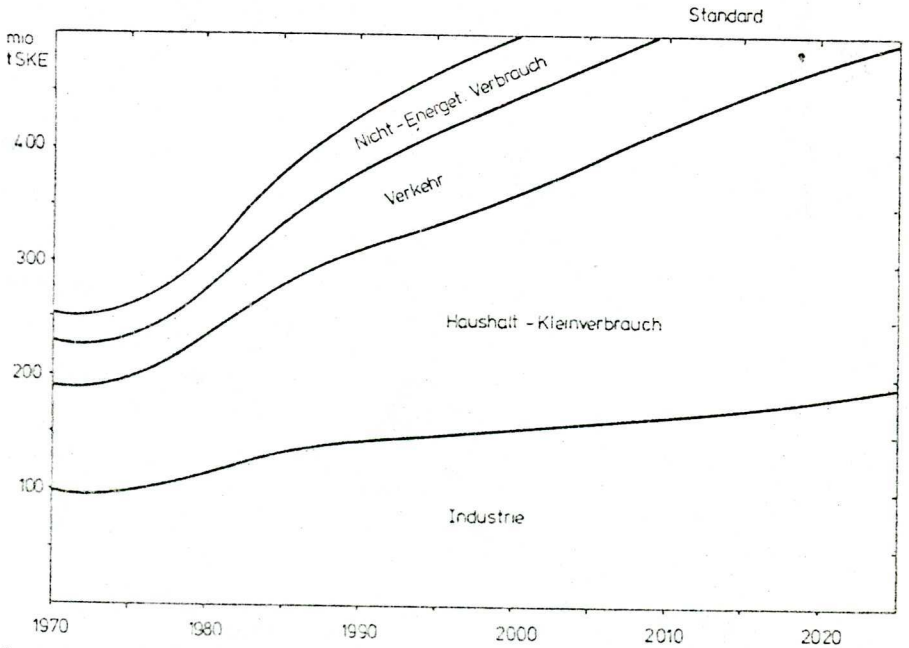

Bild 11 Gesamte Endenergien an jeden Endverbrauchersektor einschließlich nicht-energetischem Verbrauch, Standardszenario.

Tabelle 6 Zusammenfassung der Ergebnisse:
Energieversorgungssystem der Bundesrepublik Deutschland

ESP - ISI April 1976

	Jahr	Standard-szenarium (WGER 10)	Mittleres Einsparungsszenarium (WGER 11)	Starkes Einsparungsszenarium (WGER 12)	Einheit
Primärenergieeinsatz	1975	340	340	340	Millionen t SKE
	2000	810	540	400	Millionen t SKE
	2025	1160	580	430	Millionen t SKE
Kosten der Primärenergien	1975	40	40	40	Milliarden DM
	2000	112	88	68	Milliarden DM
	2025	120	82	70	Milliarden DM
durchschnittliche Kosten je Einheit Primärenergie	1975	120	120	120	DM/t SKE
	2000	142	162	172	DM/t SKE
	2025	102	145	165	DM/t SKE
Kosten der importierten Energien	1975	25	25	25	Milliarden DM
	2000	98	70	52	Milliarden DM
	2025	110	65	50	Milliarden DM
Äquivalente Anzahl von 1000 MW Kraftwerken bzw. Umwandlungswerken elektr. (54% Lastfaktor[1])	1975	66	66	66	Anzahl
	2000	263	131	95	Anzahl
	2025	449	135	110	Anzahl
sonstige (Raffinerien usw.) (75% Lastfaktor)	1975	182	182	182	Anzahl
	2000	257	228	189	Anzahl
	2025	472	236	182	Anzahl
Netto-Anlagevermögen in Energieumwandlung	1975	78	78	78	Milliarden DM
	2000	510	220	132	Milliarden DM
	2025	898	252	145	Milliarden DM
in Verteilung	1975	58	58	58	Milliarden DM
	2000	275	132	92	Milliarden DM
	2025	605	142	118	Milliarden DM
Gesamtenergie an Endverbraucher	1975	240	240	240	Millionen t SKE
	2000	450	330	240	Millionen t SKE
	2025	580	340	240	Millionen t SKE
Energiedienstleistungen beim Endverbraucher (1975 = 100%)	1975	100	100	100	Prozent
	2000	188	179	145	Prozent
	2025	242	188	145	Prozent
Anteile der verschiedenen Endenergien El./Kohle/Gas/flüssig/Wärme	1975	11/24/8/56/1	11/24/8/56/1	11/24/8/56/1	Prozent
	2000	28/3/22/40/7	19/5/26/42/8	19/7/19/51/4	Prozent
	2025	37/1/19/19/24	19/4/29/39/8	22/5/23/45/5	Prozent
Energiekosten beim Endverbraucher	1975	65	65	65	Milliarden DM
	2000	312	188	138	Milliarden DM
	2025	498	200	152	Milliarden DM
durchschnittliche Endenergiekosten pro Energieeinheit	1975	270	270	270	DM/t SKE
	2000	695	568	572	DM/t SKE
	2025	858	588	635	DM/t SKE
Gesamtwirkungsgrad in Umwandlung und Verteilung	1975	71	71	71	Prozent
	2000	56	61	60	Prozent
	2025	50	59	56	Prozent

1 In der Bundesrepublik ist der durchschnittliche Lastfaktor bei der Elektrizitätserzeugung etwa 54% (d. h. nach Mittelung über alle Kraftwerkstypen). Diese Zahl wurde hier eingesetzt, um einen ungefähren Vergleich der erforderlichen Anzahl an Kraftwerken zu bekommen.

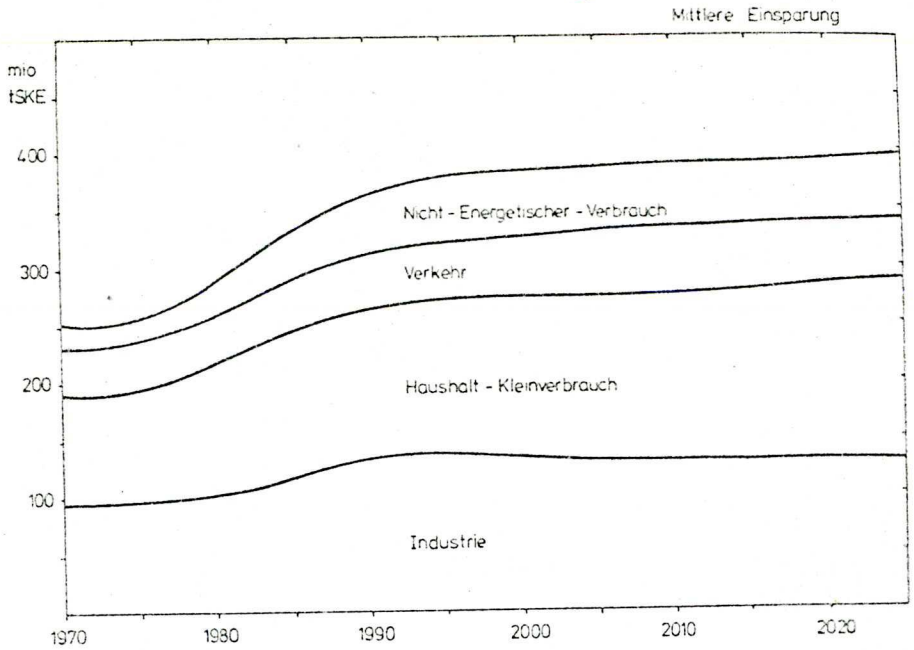

Bild 12 Gesamte Endenergien an jeden Endverbrauchersektor einschließlich nicht-energetischem Verbrauch. Szenario „Mittlere Einsparung".

- Die Belastung der Außenhandelsbilanz um das Jahr 2000 ist im Standardszenario etwa doppelt so hoch wie bei den zwei anderen Szenarien.

- Im Standardszenario ist der Zuwachs an Elektrizitätswerken geradezu immens; das sollte zu Überlegungen darüber führen, wieviel Elektrizität denn nun tatsächlich für die Gesamtwirtschaft erforderlich ist [16]. Der Kapitalbedarf für die im Standardszenario erforderlichen Investitionen übersteigt u. U. die realen Kapitalbeschaffungsmöglichkeiten.

- Die Investitionen für die Energieübertragungssysteme haben etwa die gleiche Höhe wie die für die Umwandlungswerke, wobei die Elektrizitätsverteilung am allerteuersten ist. (Bei einer »Optimierung« des gesamten Energieversorgungssystems muß dies natürlich richtig berücksichtigt werden.)

- Obwohl die an den Verbraucher fließende Endenergiemenge im Szenario »Mittlere Einsparung« im Jahr 2000 etwa 25 % kleiner ist als im Standardszenario, so ist doch die dem Verbraucher zur Verfügung stehende Energiedienstleistung etwa gleich hoch; dies als Resultat der Investitionen für bessere Verbrauchertechnologien (einschließlich z. B. der Isolation von Wohnhäusern und anderen Gebäuden). Nach dem Jahr 2000 fällt die Energiedienstleistung im Szenario »Mittlere Einsparung« im

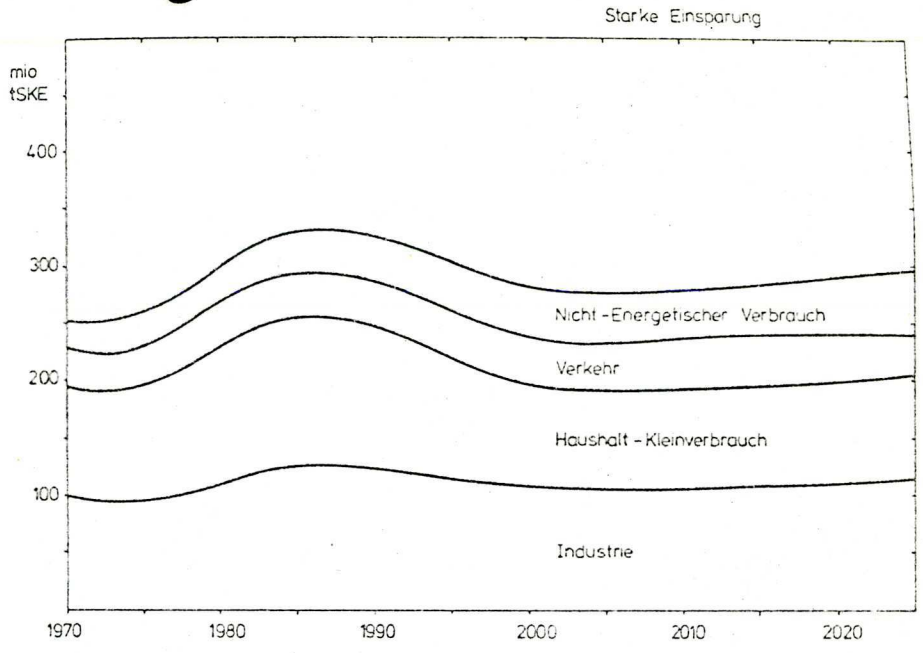

Bild 13 Gesamte Endenergien an jeden Endverbrauchersektor, einschließlich nicht-energetischem Verbrauch. Szenario „Starke Einsparung".

Vergleich zum Standardszenario ab, entsprechend erhält der Verbraucher 41 % weniger Endenergie (nicht Energiedienstleistung!) im Jahr 2025.

- Es wurde oben betont, daß die in den Verbrauchersektoren erforderlichen Investitionen nicht weiter untersucht werden würden. Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die vom Verbraucher zu tragenden Energiekosten beim Standardszenario erheblich höher liegen als bei den beiden anderen Szenarien. Die Kapitalisierung der Kostendifferenzen gibt einen ungefähren Eindruck von der Größenordnung der wirtschaftlich möglichen Investitionen für Energiesparmaßnahmen.

- Der Gesamtwirkungsgrad der Energieumwandlung — die verfügbare Endenergie geteilt durch den gesamten Primärenergieeinsatz — sinkt bei allen drei Szenarien. Der niedrigste Wert ergibt sich im Standardszenario wegen der starken Betonung der Elektrizitätserzeugung.

SCHLUSSBEMERKUNG

Die Szenarien »Mittlere Einsparung« und »Starke Einsparung« stellen nur zwei Alternativmöglichkeiten zum Standardszenario dar. Falls man sich der Annahme anschließen kann, daß reale Energiepreise weiter ansteigen werden, dann ist es außer-

ordentlich fragwürdig, ob die Energienachfrage weiter wie im Standardszenario vorgesehen ansteigen wird, dessen Voraussagen im wesentlichen auf Trendextrapolation beruhen. Insbesondere erkennt man aus dem Vergleich des Primärenergieeinsatzes des Szenarios »Mittlere Einsparung« und des Standardszenarios (Bilder 1 und 9), daß eine 30 %ige Verminderung des Primärenergieeinsatzes im Jahr 2000 (verglichen mit dem Standardszenario) erreicht werden kann — trotz gleichem Energiedienstleistungsangebot beim Verbraucher. Offensichtlich hat dies Konsequenzen für die Geschwindigkeit, mit der neue Energietechnologien auf kommerzieller Basis eingeführt werden müssen, insbesondere im Hinblick auf den forcierten Ausbau der Kernenergie.

Literaturhinweise

[1] Bossel, H., »Energy Supply System: Simulation Model, Results, and Evaluation«, Research Report, Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, March 1974. Auch: Bossel, H., Hijden, P. v. d., Hudetz, W., Denton, R. V., »Dialogprogramm zur Entwicklung und Überprüfung von Langfristkonzepten für das Energieversorgungssystem und Anwendung auf die Bundesrepublik Deutschland«, Kernforschungsanlage Jülich (Conf-15), 1975.

[2] Viertes Atomprogramm der Bundesrepublik Deutschland für die Jahre 1973—1976, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Neue Presse Verlag; Rahmenprogramm Energieforschung 1974—1977, BMFT, E. Gieseking Verlag, 1974.

[3] »Auf dem Wege zu neuen Energiesystemen«, Dornier System im Auftrag des BMFT, Emil Bandell Verlag, Bonn, 1975.

[4] »Einsatzmöglichkeiten neuer Energiesysteme«, Kernforschungsanlage Jülich im Auftrag des BMFT, Weiss Druck + Verlag, Bonn, 1975.

[5] Marchetti, C., »Hydrogen and Energy«, Chemical Economy and Engineering Review 5, 7 (1973).

[6] Dönitz, »Hochtemperatur-Dampfphase-Elektrolyse«, 2. Sitzung des DGLR—Fachausschusses 2B5, 29. April 1976.

[7] Energy Alternatives: A Comparative Analysis, The Science and Public Policy Program, University of Oklahoma, May 1975.

[8] »Efficient Use of Energy«, American Institute of Physics Conference Proceedings No. 25, New York, 1975.

[9] Ginsburg, T., Schneider, B., Woodman, T., »Sonnenenergie — Herausforderung an die Technik«, Neue Züricher Zeitung, 11. März 1974, Nr. 117

[10] Jones, B., »Energy conservation begins at home«, New Scientist, page 226, 29. January 1976.

[11] Bossel U., (Hrsg.), »Heizen mit Sonne«, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Göttinger Dissertationsdruck, Februar 1976.

[12] Die Überwindung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Hemmnisse bei der Einführung von Solartechnologien, Gemeinschaftsprojekt Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) Karlsruhe und International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) Wien, 1976.

[13] Statussem[illegible] »Nutzung Solarer Energie« des Bundesministeriums für Forschung und Technologie am 24./25. September 1975 (Stuttgart).

[14] Hammond, A., Metz, W., Maugh, T., II, »Energy and the Future«, American Association for the Advancement of Science, Washington D. C.,1973.

[15] Mandel, H., »Construction costs of nuclear power stations«, Energy Policy, March 1976.

[16] Häfele W., and Sassin, W., »Applications of Nuclear Power other than for Electricity Generation«, European Nuclear Conference, Paris (April 1975).