Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 23

Artikel: Die weltweiten Energieperspektiven

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915092

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.07.2025

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

Die weltweiten Energieperspektiven

1. Einleitung

Die Jahre der Hochkonjunktur mit den Wachstumsraten der sechziger Jahre haben bei der weltweiten Energieversorgung Verhältnisse geschaffen, die Anlass zur Sorge über die zukünftige Entwicklung unseres Planeten geben. Der breiten Öffentlichkeit sind diese Probleme erstmals durch die Ölkrise des Jahres 1973 ins Bewusstsein gerufen worden.

In der Zwischenzeit sind auf internationaler Ebene verschiedene Anstrengungen unternommen worden, um einen Überblick über die langfristigen Entwicklungstendenzen der Energieversorgung zu gewinnen. Die Welt-Energie-Konferenz (WEK) 1977, die am 23. September in Istanbul zu Ende ging, hat in dieser Hinsicht zweifellos Resultate von grösstem Interesse – auch für unser Land – gebracht.

Die *weltweiten Energieperspektiven,* die von der «Conservation Commission» der WEK vorbereitet werden, beziehen sich erstmals auf den Zeithorizont bis zum Jahre 2020; wirtschaftliche Umschichtungen und Substitutionsprozesse, die erst nach dem Jahre 2000 voll zum Tragen kommen, werden zu diesem Zeitpunkt in grösserem Ausmass in Gang gekommen sein.

Was ergeben sich daraus nun für Schlussfolgerungen? Die wichtigste *Botschaft* lautet wie folgt:

1. Der Weltenergieverbrauch wird weiterhin ansteigen, auch wenn die verantwortlichen Regierungen alles unternehmen, um Energie zu sparen. In den westlichen Industrieländern dürfte dafür in erster Linie das weitere Wirtschaftswachstum und in den Entwicklungsländern der grosse Nachholbedarf verantwortlich sein.

2. Die Ölversorgung wird nicht mehr in der Lage sein, den steigenden Bedarf (zwischen 3 und 4 % jährlich) wie bis anhin allein zu decken. Zwischen 1985 und 1995 wird aufgrund verschiedener Faktoren mit einer «Nivellierung» der Ölproduktionskapazität gerechnet. Darnach wird die weltweite Ölproduktion langsam, aber sicher abnehmen. Die dadurch entstehende Lücke wird durch Ersatzenergien gedeckt werden müssen. Diese Entwicklung gilt auch für den Fall eines weiteren Anstiegs der Ölpreise.

3. Als Ersatzenergien kommen in Frage: das Erdgas, die Kohle, die Kernenergie und die neuen Energietechnologien. Auf keine dieser Ersatzenergien kann verzichtet werden. Ihre grossmaßstäbliche Einführung braucht Zeit und gewaltige Anstrengungen. Nur beim Einsatz aller Kräfte kann das auf uns zukommende Energieproblem gemeistert werden.

Es stellt sich heute die Frage, was bis im Jahre 2020 die Energieeinsparungen, das Erdöl und die Ersatzenergien beitragen können. Auf diese Frage sollen die nachfolgenden Beiträge des Schweizerischen Nationalkomitees der Welt-Energie-Konferenz Antwort geben.

2. Weltenergiebedarf

Wie bereits erwähnt, hat die WEK eine Prognose über den zukünftigen Weltenergiebedarf bis im Jahre 2020 ausgearbeitet, die in Istanbul zum erstenmal der Öffentlichkeit vorgestellt wurde.

Aus Fig. 1 wird ersichtlich, dass der *Weltenergieverbrauch* weiterhin ansteigen wird, auch wenn die verantwortlichen Regierungen alles unternehmen, um Energie zu sparen und die Umwandlungswirkungsgrade zu verbessern. In den westlichen Industrieländern dürfte dafür in erster Linie das weitere Wirtschaftswachstum, in den Entwicklungsländern der grosse Nachholbedarf verantwortlich sein. Für das Jahr 2020 wird unter Berücksichtigung der Sparmassnahmen und der Energiepreiserhöhungen mit einer weiteren Verdrei- bis Vervierfachung des Weltenergieverbrauchs gerechnet.

Diese Voraussage beruht auf einer Reihe von Verbrauchsperspektiven, bei denen die Welt in drei Hauptgruppen (OECD-Länder, Ostblockländer und Entwicklungsländer) und darüber hinaus in 11 Regionen eingeteilt wurde. Ausgehend von der bisherigen Entwicklung des Bevölkerungswachstums, des Wirtschaftswachstums bzw. des Energiebedarfs sowie den weltweit verfügbaren Energievorräten wurde ein *Weltenergiemodell* aufgestellt, das der weiteren Wirtschaftsentwicklung, dem Einfluss der Energiepreise, den maximalen Produktionsmöglichkeiten und den Sparmassnahmen und Verbesserungen der Umwandlungswirkungsgrade Rechnung trägt (Fig. 2). Eingebaut sind ferner Annahmen für die Darstellung der Substitutionsvorgänge und für die verschiedenen Möglichkeiten der Verknappung des Erdöl- und Gesamtenergieangebotes.

Bezüglich des weiteren *Wirtschaftswachstums* sind folgende beiden Annahmen getroffen worden:

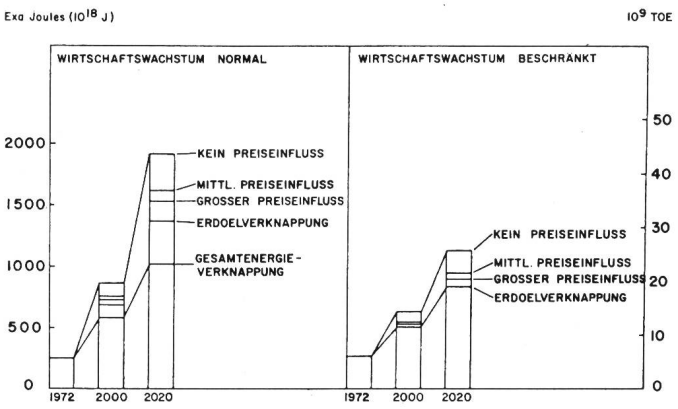

Fig. 1
Prognosen des Welt-Primärenergieverbrauches
1 Exajoule = 1 EJ = 10^{18} Joule = 23,9 Mio Tonnen Erdölaequivalent (TOE)

– Ein «beschränkter» Zuwachs des realen Bruttosozialproduktes von 3 % im Jahr. Damit würde sich bis im Jahre 2020 das durchschnittliche Bruttosozialprodukt pro Einwohner weltweit verdoppeln.

– Ein «normaler» Zuwachs des Bruttosozialproduktes von 4,2 % im Jahr. Dies entspricht einer Erhöhung des durchschnittlichen Bruttosozialproduktes auf das Dreifache.

Diese Zahlen mögen hoch erscheinen. Sie sind aber angesichts der Tatsache, dass die Entwicklungsländer mit einem Bevölkerungsanteil von über 50 % nur mit 18 % am weltweiten Bruttosozialprodukt partizipieren, nicht als besonders hoch einzustufen (Fig. 3a). Aufgrund der extrapolierten *Bevölkerungsstatistik der UNO* wird ferner angenommen, dass die Entwicklungsländer im Jahre 2020 rund 65 % der Weltbevölkerung ausmachen und rund 25 % des Bruttosozialproduktes produzieren werden. Entsprechend wird sich der Anteil der OECD-Länder und der Ostblockländer verringern (Fig. 3b).

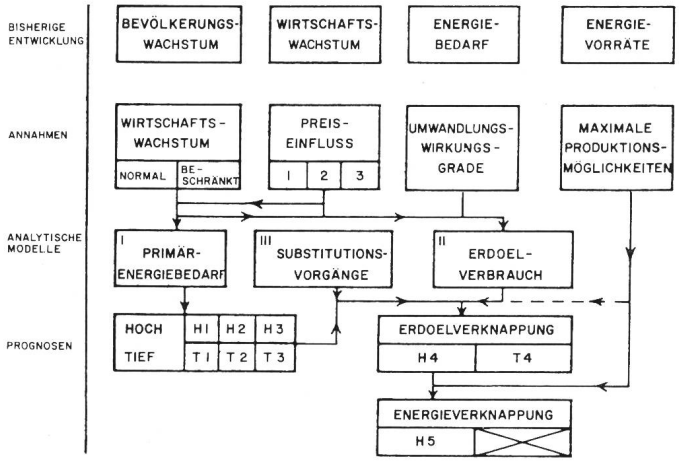

Fig. 2 Methodik der Energieprognose

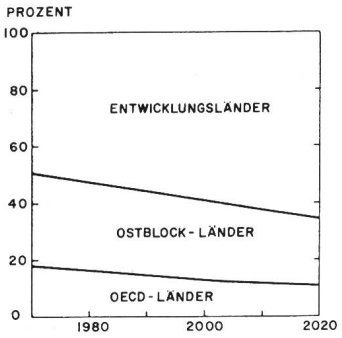

Fig. 3a Prozentualer Anteil der Bevölkerung nach Weltregionen

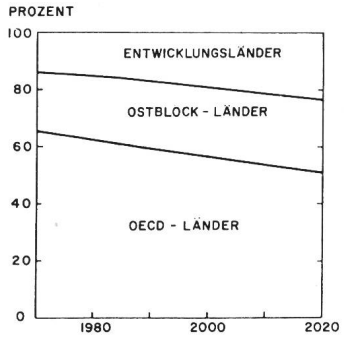

Fig. 3b Prozentualer Anteil der Weltregionen am Bruttosozialprodukt

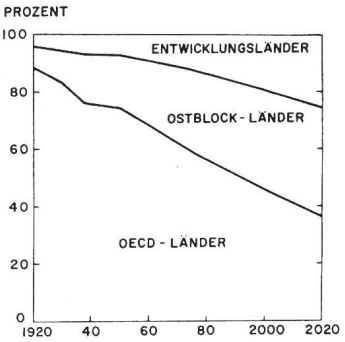

Fig. 4 Prozentualer Anteil von Weltregionen am Weltenergiebedarf

Aus dieser Entwicklung ergibt sich eine Abnahme des *Anteils der OECD-Länder am Weltenergiebedarf* von heute 85 % auf unter 40 % im Jahre 2020 (Fig. 4). Diese Entwicklung wird durch den stark anwachsenden Energiebedarf der Ostblockländer noch akzentuiert. Langfristig rechnet die WEK deshalb mit Verbrauchszuwachsraten des Weltenergieverbrauchs (für ein beschränktes wirtschaftliches Wachstum) von durchschnittlich 3 %. Davon entfallen rund 2 % auf die OECD-Länder, 3,7 % auf die Ostblockländer und 4,4 % auf die Entwicklungsländer.

In bezug auf die *Energiepreise* wurde von der WEK angenommen, dass sich die realen Preise der Energieträger in den nächsten 30 Jahren im Durchschnitt um einen Faktor 2 gegenüber heute erhöhen werden. Eine Differenzierung nach Energieträgern wurde dabei jedoch nicht vorgenommen.

Der Einfluss der Preiserhöhungen und die resultierenden Anstrengungen zum *Energiesparen* werden mit einer Verminderung des Verbrauchs um 15–20 % im Jahre 2020 beziffert (Fig. 1). Ferner lässt sich feststellen, dass nicht jeder Energiebedarf befriedigt werden kann. Faktoren, wie die beschränkten Produktionsmöglichkeiten namentlich im Erdölsektor, zwingen zu einer Verbesserung der Umwandlungswirkungsgrade und zu erhöhten Sparmassnahmen. Energie und Bruttosozialprodukt werden also nicht im gleichen Verhältnis wachsen wie in den letzten 50 Jahren. Wäre das der Fall, so würde der Energiebedarf im Jahre 2020 nicht auf das Drei- bzw. Vierfache, sondern auf das Vier- bis Sechsfache ansteigen. In Anbetracht der zur Verfügung stehenden Weltenergievorräte wäre dies nicht zu verantworten. Es musste deshalb vorausgesetzt werden, dass Energie durch andere Güter und Dienstleistungen ersetzt werden kann, sobald die Energiepreise im Verhältnis zum allgemeinen Preisniveau anwachsen. Diese generelle Veränderung der Wirtschaftsstruktur muss nicht nur in den OECD-Ländern mit dem gegenwärtig grössten Verbrauch in Gang kommen, auch die Ostblockländer und Entwicklungsländer müssen daran teilhaben.

Für die *Substitution des Erdöls* wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

– Die Bevorzugung gewisser Energieträger im Rahmen der einzelnen Verbraucherkategorien aufgrund ihrer Eigenschaften und Preise wird weiter andauern.

– Bei der Einführung neuer Energieträger kann eine gewisse Geschwindigkeit der Marktdurchdringung nicht überschritten werden. Die Einrichtungen für die Energieverteilung weisen noch grössere Zeitkonstanten auf, als sie für die Errichtung neuer Produktionsanlagen notwendig sind.

– Die Kernenergie kann aus «technischen» Gründen nicht mehr als 50 % der benötigten Elektrizität erzeugen.

– Die synthetischen Brennstoffe werden so lange keinen grösseren Marktanteil erobern, als bei der Versorgung mit natürlichen Brennstoffen (Erdöl und Erdgas) kein Manko eintritt.

Aus all diesen Annahmen ergibt sich ein *«wahrscheinliches» Gesamtbild* für die Prognose des zukünftigen Weltenergiebedarfes und seine Deckung. Um das Gleichgewicht der Energiesituation im Jahre 2020 zu gewährleisten, sind eine massive Entwicklung der inländischen Energievorräte und ein stark anwachsender Export in Länder mit einem Energiedefizit notwendig.

Nur mit grösster *Anstrengung* wird es gelingen, mit Ersatzenergien die Lücke zu schliessen, die durch eine Begrenzung der Produktion von Erdölprodukten entsteht. Auch dann wird es nur beim Zusammentreffen aller günstigen Annahmen möglich sein, den Energiebedarf, der einem beschränkten Wirtschaftswachstum entspricht, im Jahre 2020 zu decken.

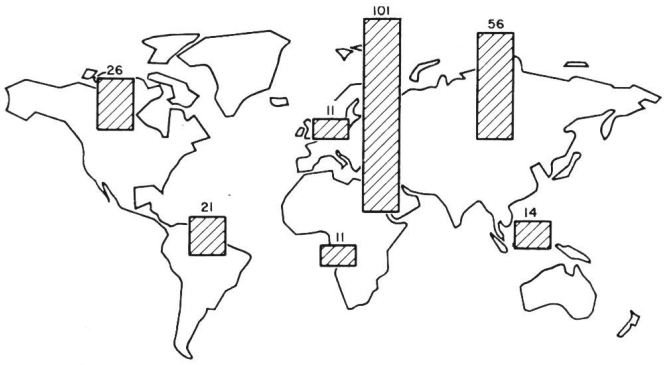

Fig. 5 Gewinnbare Erdölvorräte der Welt
in Milliarden Tonnen Erdölaequivalent
(weltweit bestehen 240 Mia. Tonnen Erdölaequivalent an gewinnbaren Vorräten)

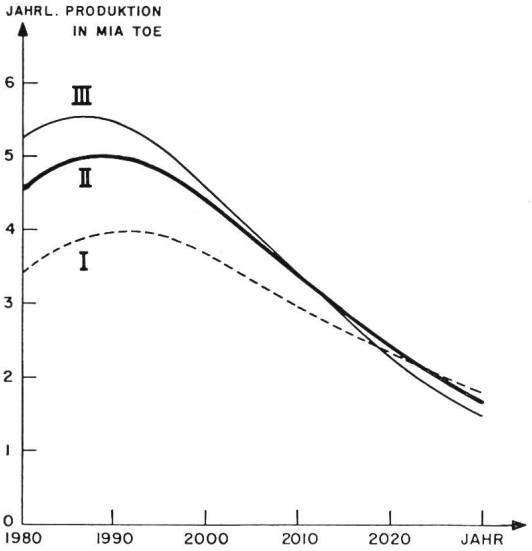

Fig. 6 Maximale Erdölproduktionskapazität
in Milliarden Tonnen Erdölaequivalent (TOE)
Kurve I Reserven/Produktion-Relation des Jahres 1975
Kurve II Mittlere Reserven/Produktion-Relation
Kurve III Erhöhte Reserven/Produktion-Relation

3. Erdöl

Die Frage, wieviel Öl unsere Erde birgt bzw. wieviel ihr entnommen werden kann, hat immer ein weites Interesse gefunden. Die Welt-Energie-Konferenz hat zur Abklärung dieser Frage 1977 einen neuen Weg mit einem sogenannten Delphi-Pool beschritten.

42 Gesellschaften, Fachleuten oder Institutionen wurde ein Fragebogen vorgelegt; 29 Antworten gingen ein. Leider – aber typisch – haben weder die kommunistischen Staaten noch die OPEC-Länder mitgearbeitet. Die erarbeiteten Zahlen beruhen daher hauptsächlich auf den Angaben der grossen Erdölgesellschaften. Aber deshalb sind die folgenden Resultate nicht etwa grundsätzlich in Frage zu stellen, denn über die Situation in den Förderstaaten wissen die internationalen Gesellschaften Bescheid. Lücken bestehen hingegen bezüglich der Lage in den Oststaaten.

Die bedeutendsten Ergebnisse sind:

– Die förderbaren Erdölmengen werden auf rund 240 Milliarden Tonnen geschätzt; die Mehrzahl der Antworten liegt relativ nahe bei diesem Durchschnitt. Die optimistischsten Schätzungen erreichen 500 Milliarden Tonnen, die tiefsten liegen bei 175 Milliarden Tonnen.

Darin sind enthalten: die sicheren Reserven von etwa 90 Milliarden Tonnen, die wahrscheinlichen und möglichen, die mit weniger als 20 Dollar pro Fass gefördert werden können. Ausgeschlossen ist also die Förderung aus den schwierigsten Gebieten, dem Meer mit einer Tiefe von mehr als 200 m und den Polargegenden. Die Reserven in diesen Gebieten werden mit zusätzlich 20–30 Milliarden Tonnen zu den 240 Milliarden Tonnen angegeben. Fig. 5 zeigt die regionale Verteilung der Reserven, wobei das Gewicht des Mittleren Ostens und Nordafrikas mit geschätzten 42 % der gewinnbaren Erdölvorräte ins Auge sticht.

Ebenfalls nicht eingeschlossen sind die sogenannten unkonventionellen Öle, also die Teersande, Ölschiefer und das sehr schwere Öl, zum Beispiel in Venezuela. Sie werden zusammen auf rund 300 Milliarden Tonnen geschätzt. Ausgeschlossen sind auch flüssige Kohlenwasserstoffe, die aus Kohle hergestellt werden.

– Die Fundquote neuen Öls, die im Schnitt in den Jahren 1950–1975 um 3 Milliarden Tonnen pro Jahr lag, sollte bis 1985 auf 4 Milliarden Tonnen pro Jahr steigen und bis zum Jahr 2000 wieder auf 3 Milliarden Tonnen pro Jahr fallen (die Jahresproduktion liegt heute bei diesem Wert).

– Die Erwartung, dass von diesem neuen Öl 55 % durch verbesserte Fördertechnik in bekannten Feldern und nur 45 % durch eigentliche Neuentdeckungen aufgebracht werden sollen, erstaunt auf den ersten Blick. Es wird jedoch angenommen, dass der mittlere Entölungsgrad der heutigen Primärförderung von 25 auf 40 % mit Sekundärmassnahmen ansteigt, mit den neuesten Spezialmethoden, den Tertiärfördermassnahmen, zum Teil noch höher. Bei diesen Massnahmen handelt es sich insbesondere um Techniken, mit denen die Fliessfähigkeit des Öls im Gestein erhöht werden soll, sei es durch In-situ-Verbrennung, also Wärmezuführung, chemische oder physikalische Mittel.

– Weil der Entölungsgrad in den OPEC-Staaten heute schon schlechter ist als in den Ölfeldern der Industrieländer – und es trotz der eben genannten Steigerung der Entölung auch bleiben wird –, sinken die relativen Anteile an den

Reserven im Mittleren Osten und Nordafrika von heute zusammen 60 % auf 42 %.

– Die heutige Produktionsrate von 3 Milliarden Tonnen kann, technisch betrachtet, auf 4–5 Milliarden Tonnen pro Jahr um die neunziger Jahre herum erhöht werden (Fig. 6). Die Entwicklungsinvestitionen werden nicht wesentlich ansteigen. Die Schätzungen lauten auf 5000 US-Dollar durchschnittlich pro Fass und Tag auf dem Festland, also etwa entsprechend dem heutigen Niveau in den USA, und auf 10 000 US-Dollar für die Offshore-Förderung, also entsprechend dem heutigen Niveau in schwierigen Offshore-Gebieten.

– Höher zu stehen kommen die Investitionskosten für die unkonventionellen Öle mit durchschnittlich 20 000 US-Dollar pro Fass und Tag, wobei die Produktionskosten allein 20 Dollar pro Fass betragen dürften. Eine Kostensenkung ist nicht ausgeschlossen. Die Zukunft dieser Öle wird aber trotzdem erst im nächsten Jahrhundert liegen, hauptsächlich als Treibstoffe und für den petrochemischen Einsatz.

Folgerungen dieser Ergebnisse sind:

– Das Öl kann einen zusätzlichen Energiebedarf in den nächsten 10–20 Jahren technisch und ressourcenmässig decken, was auch aus Fig. 6 hervorgeht.

Nach dieser Steigerung wird um die Jahrtausendwende herum nur etwa gleich viel Erdöl gefördert werden können wie heute.

– Die genannte Zeitperiode dürfte die letzte Möglichkeit bieten, für Ersatzenergien zu sorgen.

– Der Bedarf darf höchstenfalls zwischen 5 und 6 Milliarden Tonnen pro Jahr erreichen. Die maximale Förderrate hängt von der Entdeckung neuer Felder und verbesserter Fördertechnik ab. Je höher der Bedarf, desto schneller erschöpfen sich nicht nur die Reserven, sondern sind auch Versorgungsengpässe aus politisch-ökonomischen Gründen zu erwarten. Der Kulminationspunkt der Förderung verschiebt sich dabei um etwa 10 Jahre von 1985 auf 1995 (siehe auch Fig. 6). Wesentlich ist dabei die Produktionsrate im Mittleren Osten, Entölung in 54 Jahren (= Förderrate 1975) als Variante I, in 35 Jahren (Variante II) und in 25 Jahren (Variante III). Technisch gesehen ist diese letzte Variante wohl möglich, aber politisch unwahrscheinlich.

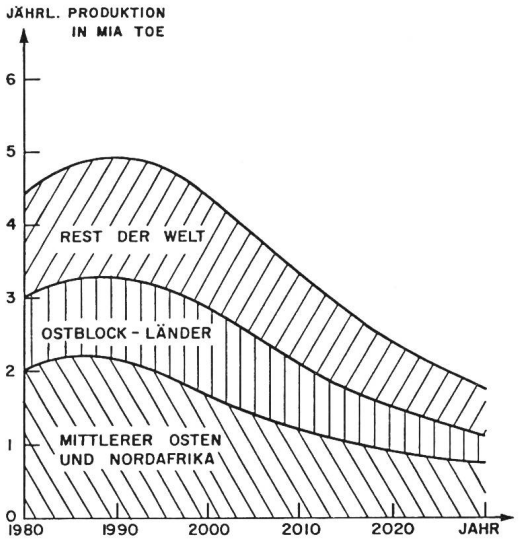

Fig. 7 Erdölproduktion nach Weltregionen

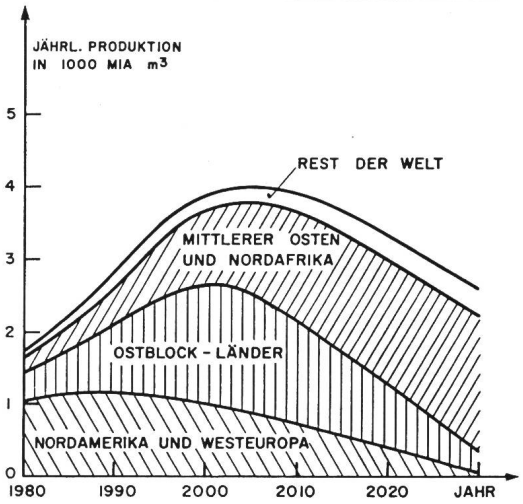

Fig. 8 Erdgasproduktion nach Weltregionen

– Die Reserven des Mittleren Ostens und Nordafrikas nehmen zwar relativ zu den gesamten Weltreserven ab, die Bedeutung dieser Zone bleibt aber bestehen, da die maximale mittlere Jahresproduktion zwischen 1985 und 1990 um 1,2–1,3 Milliarden Tonnen angehoben werden kann, ohne dass die Produktionsrate der Welt bis 2020 geändert werden müsste (Fig. 7).

Zum Schluss sei nüchtern festgestellt, dass das wohl grösste Hindernis, die technischen Voraussetzungen zur Ölproduktion zu schaffen, die mangelnde Einsicht ist, dass diese Hindernisse überhaupt existieren.

4. Erdgas

Obwohl Erdgas als Energieträger schon seit Jahrzehnten bekannt ist, wurden die grossen Lagerstätten bis in die fünfziger Jahre praktisch nicht ausgenutzt. Die gasförmige Konsistenz galt lange Zeit als Handikap gegenüber dem flüssigen Erdöl, in dessen Schatten die Vorzüge des Erdgases zu wenig klar erkannt wurden. Noch heute wird bei der Erdölförderung ein Teil des Erdgases abgefackelt oder in den Boden zurückgepumpt, um den Druck des austretenden Erdöls zu erhöhen. Ein historischer Überblick über die *Erdgas- und Erdölanteile* an der Primärenergieproduktion der Welt zeigt dies deutlich:

1913 betrug der Erdgasanteil 1,4 %, der Erdölanteil 4,5 %
1929 betrug der Erdgasanteil 3,5 %, der Erdölanteil 13,9 %
1935 betrug der Erdgasanteil 3,8 %, der Erdölanteil 16,5 %
1976 betrug der Erdgasanteil 17,8 %, der Erdölanteil 44,7 %

Die *Produktion* an Erdgas des Jahres 1976 betrug, absolut gesehen, rund 1350 Milliarden m³.

Die USA gehörten zu den ersten Ländern, die Erdgas zur Wärmeerzeugung einsetzten. In Europa fand der Aufschwung mit der Erschliessung des Erdgasfeldes im holländischen Groningen zu Beginn des Jahres 1960 statt. Über die Hälfte der heutigen Produktion stammt aus den nordamerikanischen und westeuropäischen Ländern (Fig. 8). Diese Tendenz wird nach Ansicht der Experten der WEK bis 1985 andauern, und dies trotz einer steigenden russischen Erdgasförderung. Auf Grund des Fünfjahresplanes 1976–1980 wird sich die Erdgasproduktion der UdSSR von 289 Milliarden m³

im Jahre 1975 auf 400–435 Milliarden m³ im Jahre 1980 erhöhen. Im Jahre 2000 sollen 2400 Milliarden m³ in den USA, in Westeuropa und der UdSSR gefördert werden, wobei die UdSSR mit einem Anteil von 391 % den grössten Beitrag an die Weltproduktion liefern wird. Der *Kulminationspunkt der Erdgasförderung* wird um das Jahr 2010 erwartet, wobei der steigende Bedarf in den Industrieländern durch vermehrte Erdgasimporte gedeckt werden muss. Erdgaslieferanten sind dann die UdSSR, Nordafrika und zur Hauptsache der Nahe und der Mittlere Osten. Diese Entwicklung bahnt sich heute schon an, wenn man die Lieferungen aus Algerien und Libyen an verschiedene westeuropäische Staaten in Betracht zieht, zum Beispiel Italien und Spanien.

Seit der Entdeckung der holländischen Erdgasvorkommen und dem Aufbau eines internationalen Transportsystems vollzog sich in Westeuropa beim Erdgas eine dynamische Aufwärtsentwicklung. Im Jahre 1976 deckte das Erdgas 16 % des westeuropäischen Primärenergieverbrauchs. Aufgrund der vorhandenen Vorkommen und als Folge der Situation auf dem Erdölmarkt soll der Erdgasanteil bis im Jahre 1985 in Westeuropa auf rund 18 % angehoben werden. Die Zunahme des Erdgasanteils am Primärenergieverbrauch im Zeitraum 1975 bis 1985 ist unterschiedlich. Der prozentuale Anteil wird voraussichtlich wie folgt ansteigen:

Bundesrepublik Deutschland	von 14	auf 17 %
Frankreich	von 10	auf 16 %
Italien	von 14	auf 18 %
Schweiz	*von 3,8*	*auf 10 %*
Belgien	von 20	auf 25 %
Österreich	von 16	auf 19 %
Grossbritannien	von 17	auf 24 %

Trotz verschiedenen Zielsetzungen in den Energiekonzeptionen der verschiedenen Länder zeigt sich allgemein ein grosses Interesse an einer weiteren Nutzung von Erdgas.

Bei dieser Ausgangslage stellt sich mit Recht die Frage nach den vorhandenen *Reserven* (Fig. 9). Erdgasvorkommen sind weltweit zu finden. Nimmt man den gegenwärtigen Weltverbrauch als Maßstab, so reichen die sicheren Reserven mit rund 66 000 Milliarden m³ für rund 50 Jahre. Als gesicherte Reserven werden Vorkommen bezeichnet, die geologisch erforscht und durch Bohrungen nachgewiesen sind.

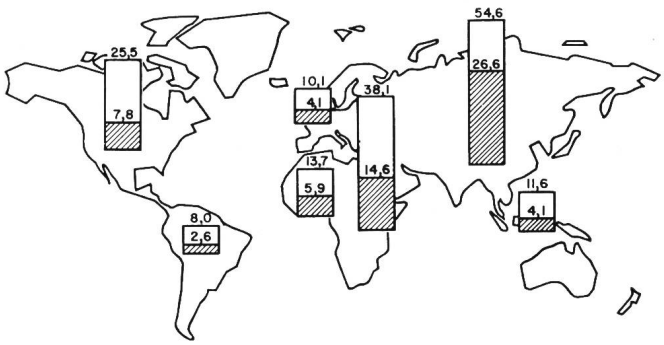

Fig. 9 Welt-Erdgasreserven (in 1000 Mia. m³)
▨ Gesicherte Vorräte
▭ Mögliche Vorräte
(insgesamt bestehen weltweit 161,6 · 10^{12} m³ Erdgasreserven, davon sind 65,6 · 10^{12} m³ gesicherte Vorräte)

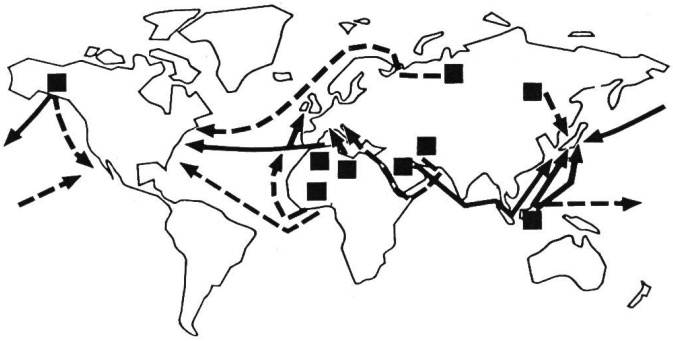

Fig. 10 Transport von flüssigem Erdgas (LNG) über grosse Transportstrecken
■ Erdgasvorkommen
▬ In Betrieb oder Vorbereitung
━ Mögliche Transporte

Dazu kommen die möglichen Erdgasvorräte, die aufgrund geologischer Untersuchungen geschätzt wurden. Hier reichen die Schätzungen von 96 000 Milliarden m³ als Mindestmenge bis 215 000 Milliarden m³. Mehr als 70 % der gesamten Erdgasreserven befinden sich im nordwesteuropäischen Gebiet, in Afrika, im Mittleren Osten und in der UdSSR, das heisst in Gebieten, die «liefertechnisch» für eine Versorgung Westeuropas entfernungsmässig zum grossen Teil günstig liegen.

Weite Gebiete der Erde – zum Beispiel der grösste Teil der wahrscheinlich erdgas- und erdölhaltigen Kontinentalsockel – sind geologisch noch gar nicht untersucht. Die Fachleute erwarten daher, dass auch in den nächsten Jahren bei intensiver Suche und stets verfeinerter Entwicklung der Explorationstechnik noch grosse Erdgasmengen gefunden werden können. Erdgas benötigt keine Aufbereitung; es ist ein vorzüglicher Energieträger und gewinnt als internationale Handelsware zunehmend an Bedeutung.

Normalerweise wird Erdgas in gasförmigem Zustand von den Fundstätten über ein weiträumiges und verzweigtes Netz von Pipelines bis zu den Verbrauchern transportiert. In Westeuropa sind Pipelinedurchmesser bis zu einem Meter üblich. Für die neuesten Leitungsprojekte, die Erdgas aus der UdSSR nach Westeuropa transportieren sollen, sind Durchmesser bis zu 2,5 m vorgesehen. Wenn die Erschliessung von weit entfernten Erdgaslagerstätten durch Pipelines schwierig oder unwirtschaftlich ist, verflüssigt man das Erdgas durch Abkühlung auf —162 °C und verkleinert damit das Volumen gegenüber dem gasförmigen Zustand auf den sechshundertsten Teil. Das *LNG (Liquefied Natural Gas)* wird dann in einem Flüssigerdgas-Schiff zum Anladehafen des Verbraucherlandes transportiert, um dort wieder verdampft zu werden.

Verflüssigtes Erdgas kommt heute vorwiegend aus Nordafrika (Algerien, Libyen) und wird von dort aus nach den USA, England, Frankreich, Spanien und Italien transportiert (Fig. 10). Ebenso existieren Flüssigerdgas-Ketten von Alaska, Abu Dhabi und Brunei nach Japan. Die derzeit grössten Tanker fassen rund 125 000 m³ LNG. Mit einer solchen Ladung kann der Jahresbedarf von rund 30 000 Haushaltungen gedeckt werden. Gegenwärtig wird auf 11 Seerouten Erdgas von den Produktions- in die Verbraucherländer transportiert. Diese Zahl wird sich sehr bald erhöhen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Erdgas bis weit über das Jahr 2000 hinaus in ausreichendem Masse vorhanden sein wird. Die Perspektiven im Hinblick auf die Herstellung von synthetischem Erdgas aus Kohle sind gut. Forschungsanstrengungen in Ost und West werden mit Elan vorangetrieben, und bis zum Jahre 2020 wird aller Wahrscheinlichkeit nach auch das synthetische Erdgas zum Einsatz gelangen.

5. Kohle

Mit der Kohle stand im Verlaufe des letzten Jahrhunderts erstmals ein Energieträger zur Verfügung, der im reichen Masse genutzt werden konnte und damit die Industrialisierung unserer Gesellschaft erlaubte. Bis zur Mitte dieses Jahrhunderts war, wie aus Fig. 11 hervorgeht, die Kohle vorherrschende Primärenergie, hat aber seither laufend an Bedeutung verloren. Viel konsumfreundlichere Endenergien führten zu einem Raubbau sondergleichen bei den flüssigen und neuerdings auch gasförmigen Brennstoffen und verdrängten die Kohle. Heute ist der Kohleanteil auf rund 24 % zurückgefallen, und es scheint, dass er, kurzfristig gesehen, noch weiter absinkt.

Der Hauptgrund dieser Entwicklung liegt darin, dass Kohle *ein unbequemer Geselle* ist. Die Probleme beginnen bei der Förderung, beim Transport und der Lagerung und enden bei den aufwendigen und umweltfeindlichen Umwandlungsprozessen.

Aus den bereits erwähnten Gründen wird nun allerdings in den nächsten 50 Jahren eine Tendenzumkehr erwartet. Die Welt-Energie-Konferenz rechnet damit, dass im Jahre 2020 die Kohle wieder 36 % des dannzumal viel höheren Energieverbrauchs decken könnte. Dazu ist allerdings eine erhebliche *Steigerung der Kohleproduktion* notwendig (Fig. 12). Obschon seit 1860 bereits 130 Milliarden Tonnen Kohle gefördert wurden, erreichte der jährliche Ausstoss Mitte der sechziger Jahre nur etwa 2,5 Milliarden Tonnen und stagniert seither (1976: 2,7 Milliarden Tonnen). Will man im Jahre 2020 die vorgesehene Fördermenge von 8,7 Milliarden Tonnen erreichen, so ist ein durchtchnittliches Wachstum von fast 3% jährlich erforderlich. Dies bedeutet beispielsweise für die nächsten zehn Jahre, dass jede Woche zwei neue Kohlegruben mit einem jährlichen Ausstoss von je 1 Million Tonnen Kohle neu in Betrieb genommen werden. Die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur für die Erschliessung der heute schon mangelnden Arbeitskräfte, der Transporteinrichtungen und der notwendigen finanziellen Mittel beleuchten die Schwierigkeiten eines solchen Unterfangens.

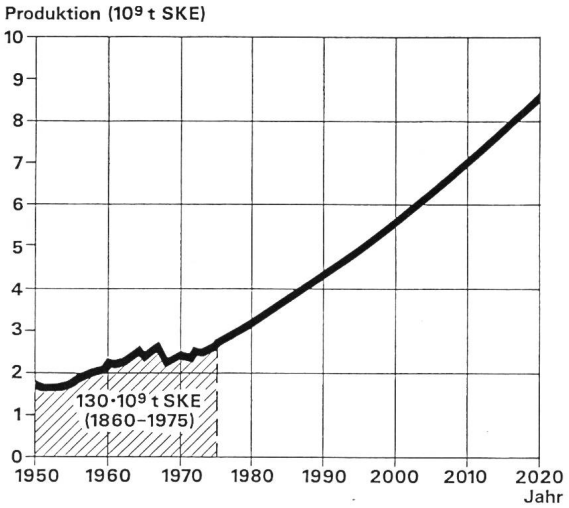

Fig. 12 Entwicklung der Kohleproduktion
in Milliarden Tonnen Steinkohleeinheiten (SKE)

Man darf mit *neuen Fördertechniken* rechnen: Die hydraulische Förderung hat das Versuchsstadium überschritten. Die Förderleistung beträgt hier 40–45 Tonnen pro Mannschicht und beträgt damit das Dreifache des Herkömmlichen. Ausserdem steigt damit der Förderwirkungsgrad von rund 50 auf 60 %.

Die *Hauptproduzenten* sind gemäss Fig. 13 Russland (24 %), die USA (23 %) und China (13 %) mit zusammen rund 60 % der Produktion. Nimmt man noch die nächstfolgenden Länder Polen (7 %), die BRD (5 %) und Grossbritannien (5 %) dazu, so steigt der Anteil dieser sechs Staaten auf 77 %. Bis zum Jahre 2020 werden sich die Verhältnisse nur insofern ändern, als die USA eindeutig die Spitze übernehmen (30 %), vor Russland und China (mit je 23 %), Indien mit einem ambitiösen Programm zum viertgrössten Produzenten (6 %) aufsteigen wird und Polen (4 %) von

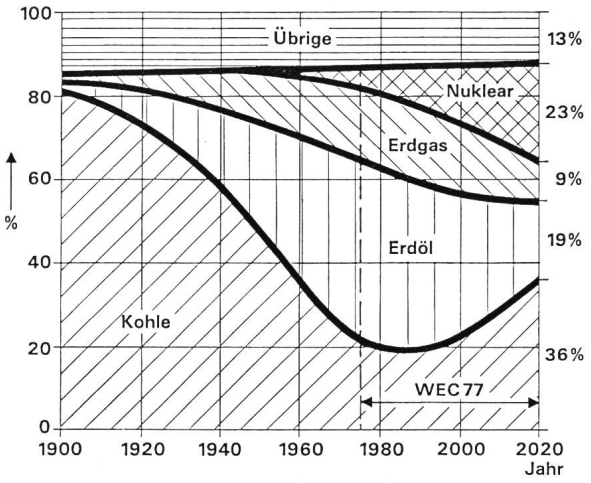

Fig. 11 Anteile der Primärenergien am Weltenergieverbrauch

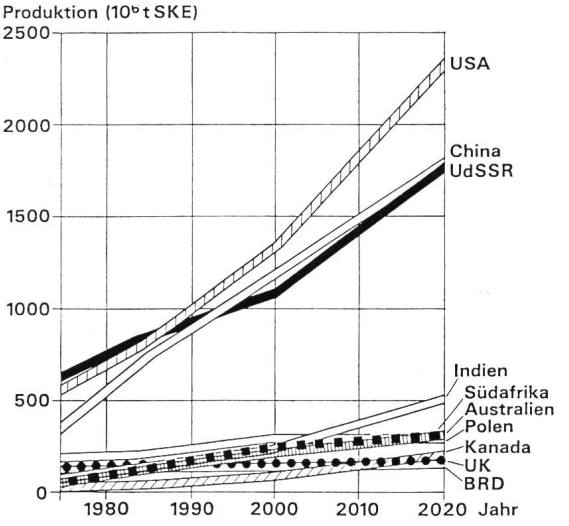

Fig. 13 Entwicklung der Kohleproduktion in einzelnen Ländern

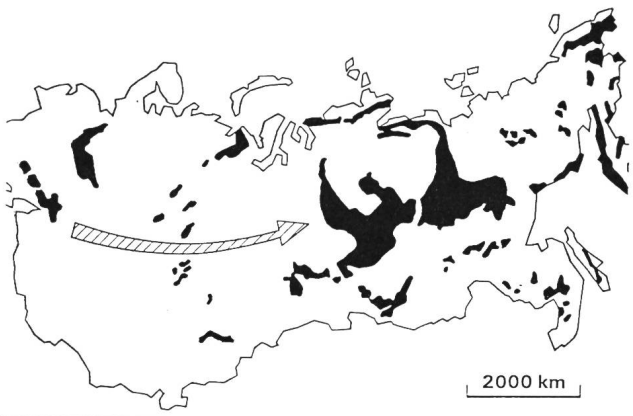

Fig. 14 Verlagerung der sowjetrussischen Kohleproduktion

Südafrika und Australien (mit je 4 %) eingeholt werden wird.

Für die Hauptförderländer ergeben sich dabei Probleme der *Verlagerung der Förderschwerpunkte,* wie sie etwa für die Sowjetunion heute schon typisch sind (Fig. 14). Ähnliche Sorgen haben die Vereinigten Staaten mit einer Ost-West-Verlagerung. Hier wird das Energietransportproblem zu den Industrie- und Wohngebieten besonders offensichtlich, falls man eine Völkerwanderung grossen Ausmasses ausschliesst. Neben dem konventionellen Eisenbahntransport und der Verstromung der Kohle beim Bergwerk bietet sich auch der Pipelinetransport an. Sollte sich die Kohleumwandlung in den flüssigen und gasförmigen Zustand in der Zukunft als wirtschaftlich erweisen, wären auch entsprechend neue Techniken zur Lösung dieses Problems geeignet.

Die *Kohlenexporte* sind im Verhältnis zur Produktion eher bescheiden. Sie betragen heute weltweit im Mittel nur rund 8 %. Am Verhältnis zwischen Export und Produktion wird sich auch bis ins Jahr 2020 nichts Wesentliches ändern. Dies steht in markantem Gegensatz zur Situation auf dem Markt für Erdöl und Naturgas. Eine möglichst weitgehende Erdölsubstitution durch die Kohle dürfte zu einer gewissen Entkoppelung von Produktion und Export führen und damit die Industrieländer mit Kohle von einer wirtschaftspolitischen Hypothek entlasten.

Wie steht es nun mit den *Kohlevorräten?* Reichen diese aus, um das beschriebene Produktionsprogramm auf längere Sicht aufrechtzuerhalten?

Weltweit betragen die gesicherten *Kohlereserven* total 600 Milliarden Tonnen Steinkohleeinheiten (Fig. 15). Dabei sind nur jene Vorräte berücksichtigt, die mit der heutigen Technologie wirtschaftlich gefördert werden können. Die *wahrscheinlichen Vorkommen,* von denen aber nicht feststeht, ob sie abgebaut werden können, sind dagegen rund 15mal grösser und erreichen über 10 000 Milliarden Tonnen. Man kann rechnen wie man will, bei einer Förderung von einigen Milliarden Tonnen pro Jahr werden die Vorräte auf alle Fälle über Jahrhunderte ausreichen. Das Problem der Vorratserschöpfung, wie es sich heute bereits beim Öl und Erdgas abzeichnet, können wir getrost den kommenden Generationen überlassen.

Ein Blick auf die geographische Verteilung der Vorräte zeigt, dass diese in den Industrienationen und vornehmlich auf der nördlichen Hemisphäre gelegen sind, dass heisst, *die Kohlevorräte liegen im Raume der heutigen Grossverbraucher an Energie.*

Wenn es gelingt, die Kohle in *wirtschaftliche* und *umweltfreundliche Gebrauchsenergieträger* umzuwandeln, dürfte ein starker wirtschaftspolitischer Druck auf die Industrieländer wegfallen. Hier liegt jedoch ein Haupthindernis der Reaktivierung dieses Energieträgers. Viele Anwendungsgebiete sind weder umweltfreundlich noch konsumfreundlich und auch nicht wirtschaftlich. Die Hauptanstrengungen müssen sich daher in Zukunft darauf konzentrieren, durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten den Absatz der Kohle wieder zu erleichtern. Dazu gehören die Kohleveredelung, die Rauchgasreinigung, die Fliessbettverbrennung, die Kohleverflüssigung und die Kohlevergasung. Obschon eine stattliche Reihe von vornehmlich staatlichen Entwicklungsprogrammen heute bereits lanciert sind, kann von einem eigentlichen Durchbruch noch nicht die Rede sein. Als positives Beispiel darf erwähnt werden, dass Südafrika heute bereits etwa 10 % des benötigten Kraftfahrzeug-Treibstoffes synthetisch aus Kohle herstellt. In drei Jahren werden es sogar gegen 30 % sein, die entsprechenden Anlagen sind heute im Bau. Dabei dürften allerdings nicht in erster Linie wirtschaftliche, sondern strategische Gründe eine Rolle spielen.

6. Kernenergie und neue Energiequellen

Im Vergleich zur rauhen Wirklichkeit unserer Tage ergeben sich für die *Kernenergie* bei einem Zeithorizont, der bis ins Jahr 2020 reicht, etwas erfreulichere Perspektiven. Es ist anzunehmen, dass spätestens bis zu diesem Zeitpunkt die Menschheit angesichts der knapper werdenden Vorräte an anderen Energieträgern begriffen haben wird, dass sie ohne Kernenergie nicht auskommen kann und dass diese imstande ist, einen echten und umweltfreundlichen Beitrag als Ersatzenergie zu leisten. Die Kernenergie ist denn auch eine der wenigen technischen Alternativen, die uns heute schon in ausgereifter und erprobter Form zur Verfügung steht.

Es wäre jedoch falsch, von der Kernenergie nun die Lösung aller anstehenden Energieprobleme zu erwarten. Wird sie nämlich wie bisher vor allem für die Produktion von Elektrizität eingesetzt, so kann sie zwangsläufig nur einen

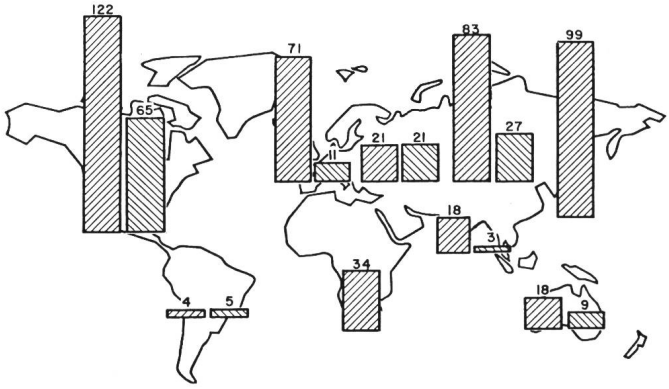

Fig. 15 Gesicherte Kohlevorräte der Welt
[in Milliarden Tonnen Steinkohleeinheiten (SKE)]
Steinkohle
Braunkohle
(insgesamt bestehen weltweit 600 Mia t Kohlereserven, davon 470 Mia t Steinkohle)

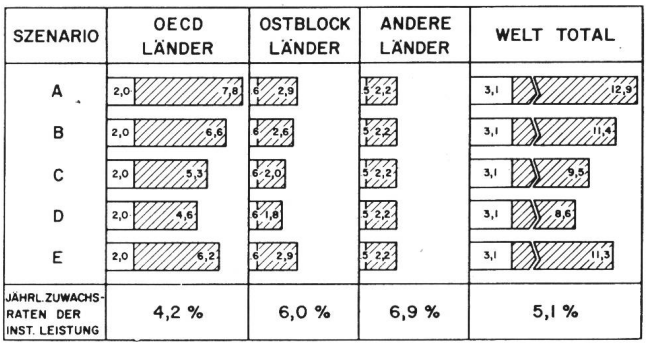

Fig. 16 Szenarien für den kumulierten Uranbedarf der Welt bis zum Jahre 2020
(in Millionen Tonnen U_3O_8)
▭ bis Jahr 2000 ▨ bis Jahr 2020
A Konverterreaktoren ohne Wiederaufbereitung
B Einführung von Brüterreaktoren nach dem Jahr 2000
C Brüterreaktoren ab 1990 (Verdoppelungszeit 24 Jahre)
D Verbesserte Brüterreaktoren ab 1990 (Verdoppelungszeit 10 Jahre)
E Einführung des Thoriumzyklus ab 2000

beschränkten Beitrag leisten. Die Welt-Energie-Konferenz (WEK) rechnet damit, dass der heutige Anteil der Elektrizität am weltweiten Endenergieverbrauch von «nur» 8 % bis im Jahre 2020 auf 20 % gesteigert werden kann und dass die Kernenergie, die gegenwärtig 4 % dieser Elektrizität erzeugt, bis zu diesem Zeitpunkt rund die Hälfte beitragen wird. Parallel dazu wird eine Verbesserung des Umwandlungswirkungsgrades in thermischen Kraftwerken von durchschnittlich 30 auf 40 % angenommen.

Die Kernenergie dürfte denn auch bei der Elektrizitätserzeugung vor allem einiges zur Schonung der kostbaren fossilen Primärenergieträger beitragen. Würde man beispielsweise den Anteil der Kernkraftwerke auf 30 % beschränken, so ergäbe sich für die Stromerzeugung im Jahre 2020 ein jährlicher Mehrbedarf von rund 2 Milliarden Tonnen Steinkohle oder rund 1,5 Milliarden Tonnen Heizöl, die uns für andere Zwecke fehlen würden. Das sind, verglichen mit dem heutigen Verbrauch, schon ganz beachtliche Zahlen. Noch grössere Beiträge und eine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades erhält man jedoch aus dem Einsatz der Kernenergie in der Fernwärmeversorgung und bei der Lieferung von Prozesswärme für die Industrie. Diese nichtelektrischen Anwendungen müssen darum in Zukunft im Interesse eines sparsamen Umgangs mit den weltweiten Energiereserven mit allem Nachdruck gefördert werden.

Wie steht es nun mit dem Bedarf an *Kernbrennstoffen,* der sich aus einem solchen Nuklearprogramm ergibt? Für das Jahr 2020 ist es nicht einfach, hinreichend genaue Zahlen anzugeben. Hingegen eignet sich dieser Zeitpunkt, um den qualitativen Einfluss verschiedener Entwicklungsstrategien aufzuzeigen (Fig. 16). Die WEK hat fünf Szenarien über die Entwicklung der Kernenergie aufgestellt. Szenario A (Fig. 16) geht von einem reinen Leichtwasserreaktoreinsatz ohne Wiederaufbereitung der Brennelemente aus, wie er vom amerikanischen Präsidenten Carter vorgeschlagen wird. Durch den Verzicht auf die Wiederaufbereitung ergibt sich gegenüber den bisherigen Prognosen ein weltweiter Mehrbedarf an Uran von rund 30 %. Szenario B rechnet nach dem Jahre 2000 mit einer Einführung von Brutreaktoren, die eine 60fach bessere Uranausnutzung aufweisen. Die Szenarien C und D rechnen ebenfalls mit dem Brutreaktor, aber mit anderen Verdoppelungszeiten und Einführungszeitpunkten. Es werden beträchtliche Einsparungsmöglichkeiten an Kernbrennstoffen ersichtlich. Sie sind vor allem für Gebiete mit bescheidenen Uranreserven, wie Westeuropa und Japan, von Bedeutung. Szenario E schliesslich zeigt den Einfluss des Thoriumzyklus, der ebenfalls im Zusammenhang mit den amerikanischen Vorschlägen zur Diskussion steht. Der Uranbedarf geht auch bei diesem Zyklus nicht wesentlich zurück, denn neben dem Kernbrennstoff Thorium benötigt dieser Brennstoffkreislauf noch immer grosse Mengen an Uran.

Stellt man nun diesem Bedarf die *gesicherten Uranreserven* der westlichen Welt von 2 Millionen Tonnen U_3O_8 (30 Dollar/lb U_3O_8) und die geschätzten Vorräte von weiteren 2 Millionen Tonnen U_3O_8 (gleiche Kostenbasis) gegenüber (Fig. 17), so können folgende Aussagen gemacht werden:

– Alle bis im Jahre 1985 gebauten Kernkraftwerke können während ihrer ganzen Lebensdauer (d. h. über das Jahr 2000 hinaus) aus den gesicherten Reserven mit Uran versorgt werden. Die darüber hinaus vorhandenen Vorräte und der Einsatz der Brüterreaktoren erlauben auch danach einen weiteren Ausbau der Kernenergie. Sie ist damit in der Lage, bis zum Jahre 2020 einen ins Gewicht fallenden Beitrag als Ersatzenergie zu leisten.

– Durch Intensivierung der Uranprospektion muss dafür gesorgt werden, dass auf längere Sicht hinaus der Bedarf an Kernbrennstoffen sichergestellt wird. Die Aussichten für weitere Uranfunde sind gut, denn bis heute ist nur in wenigen Weltregionen (Nordamerika, Südafrika und Australien) systematisch nach Uran gesucht worden.

Damit möchte ich meine Ausführungen über die Kernenergie abschliessen und mich den *neuen Energiequellen* zuwenden. Es handelt sich um regenerierbare oder praktisch unerschöpfliche Energieträger, die noch nicht in grossem Maßstab zum kommerziellen Einsatz gelangt sind oder noch in der ersten Entwicklungsphase stecken.

Bei der *Kernfusion* beispielsweise, einer Art Nukleartechnik der Zukunft, sollen die praktisch unerschöpflichen Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium bei einer Temperatur von 100 Millionen ° Celsius miteinander verschmolzen wer-

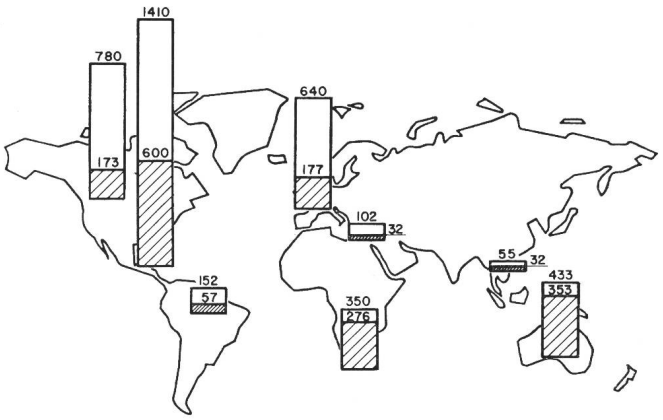

Fig. 17 Uranreserven der westlichen Welt
(in 10^3 Tonnen U_3O_8 zu 30 $/lb U_3O_8)
▨ Gesicherte Vorräte
▭ Mögliche Vorräte
(insgesamt bestehen weltweit Vorräte im Ausmass von 3920 Tonnen U_3O_8, davon sind 1700 t gesicherte Vorräte)

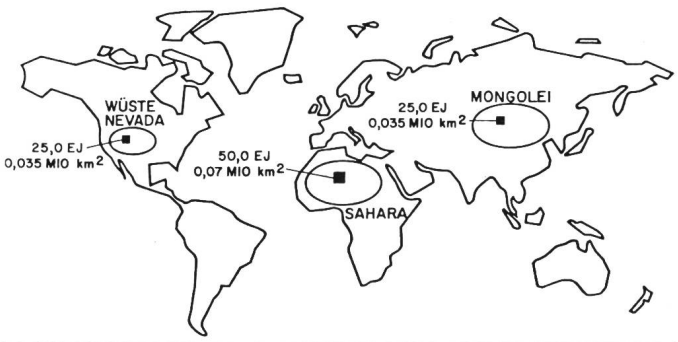

Fig. 18 Flächenbedarf für die Bereitstellung von jährlich 100 EJ mit Sonnenenergie
1 EJ = 1 Exajoule = 10^{18} Joule

den. Dass es hier noch grosse wissenschaftliche und technische Probleme zu lösen gibt, bevor von einer brauchbaren Energiequelle die Rede sein kann, dürfte einleuchten. Verschiedene Forschungslaboratorien befassen sich nun seit 25 Jahren mit der Fusion und haben auf dem Gebiet des magnetischen Einschlusses und des Trägheitseinschlusses Fortschritte erzielt. Der Nachweis eines exothermen Prozesses erscheint in den nächsten 10 Jahren möglich. Doch bereits die Erstellung einer solchen Laboranlage kostet rund 100 Millionen Dollar, und man kann sich mit Recht fragen, wieviel denn eigentlich das Reaktorsystem kosten soll, das uns für das Jahr 2020 in Aussicht gestellt wird. Es wäre meines Erachtens recht unvorsichtig, sich allzusehr auf diese neue Errungenschaft zu verlassen. Kommt bei den laufenden Versuchen etwas heraus, dann um so besser. Andernfalls müssen wir in der Lage sein, unsere Energieversorgung auch ohne Kernfusion zu meistern.

Die *Sonnenenergie* als regenerierbare Energiequelle hat, wie Fig. 18 zeigt, in jüngster Zeit viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Und wirklich ist die Strahlungsenergie, die auf unserer Erdoberfläche anfällt, gewaltig und könnte den weltweiten Energiebedarf des Jahres 2020 mehrfach decken. Auf einer Fläche von «nur» 0,14 Millionen km², die im Vergleich zur gesamten Landoberfläche von 148,5 Millionen km² bescheiden ist, könnten rund 10 % des dannzumaligen Energiebedarfs bereitgestellt werden (Makrobetrachtung). Diese Fläche liesse sich auf der Karte bequem in den grossen Wüstengebieten unserer Erde unterbringen.

Die Sonnenenergienutzung (Mikrobetrachtung) beschränkt sich jedoch heute nur auf einige Heizungs- und Kühlungsanwendungen und auf Pumpen für Bewässerungszwecke. Während sich letztere seit Jahrzehnten in den Wüstengebieten bewährt haben, kommt die Sonnenenergie bei der Klimatisierung von Wohnbauten in der nördlichen Hemisphäre noch nicht ohne zusätzliche Energiezufuhr von aussen und weitere passive Massnahmen aus. Ihre Nutzung ist auch noch alles andere als wirtschaftlich. Dies gilt auch für die direkte und indirekte Umwandlung in Elektrizität. Auf allen Anwendungsgebieten sind jedoch Fortschritte noch möglich und werden zweifellos in nächster Zeit auch erzielt werden.

Auch das Potential der *geothermischen Energie* ist gewaltig. Es wird weltweit auf $2{,}1 \cdot 10^{24}$ Joule geschätzt und übersteigt damit die Summe aller Kohlevorräte unserer Erde. Rund 2 % dieser Energie fallen in Oberflächenanomalien bei hoher Temperatur an und lassen sich zur Wärmeabgabe und Elektrizitätserzeugung nutzen. Im Jahre 1976 waren in geothermischen Kraftwerken weltweit rund 1200 MW installiert. Diese Zahl wird sich in Zukunft bestimmt noch erhöhen. Auch Niedertemperaturanwendungen für die Wärmeversorgung sind – wie jüngste Beispiele in Frankreich zeigen – möglich und sinnvoll. Es ist also anzunehmen, dass auch hier noch eigentliche Fortschritte zu erwarten sind.

Warum sind nun eigentlich die neuen Energiequellen, wie unter anderem die Sonnenenergie, nicht weiter verbreitet, und warum werden sie voraussichtlich auch in Zukunft nur einen kleinen Beitrag leisten können? Es muss dafür bestimmte Gründe geben, die einer Erörterung wert sind. Das Erdöl verdankt seinen Siegeszug unter anderem dem Umstand, dass es in konzentrierter und gut speicher- und transportierbarer Form dem Verbraucher zugänglich gemacht wird. Gerade diese Eigenschaften weist aber beispielsweise die Sonnenenergie, trotz grossem Energiepotential, nicht auf. Dieser Nachteil, der offenbar von Bedeutung ist, könnte durch die Einführung eines Zwischenenergieträgers, wie Wasserstoff oder andere Sekundärenergieträger, beseitigt werden. Ob dies jedoch auf wirtschaftliche Art und Weise möglich ist und ob sich bei der Sonnenenergie und anderen neuen Energiequellen ein Durchbruch erzielen lässt, wird uns wohl erst die zukünftige Entwicklung selbst zeigen.

7. Schlussfolgerungen

Wie wir gesehen haben, wird die *weltweite Nachfrage* nach Energie weiterhin zunehmen. Auch bei optimalem Einsatz der verfügbaren Energiereserven und maximalem Erfolg der Energiesparmassnahmen muss im Jahre 2020 mit einer weiteren Verdrei- bis Vervierfachung des Weltenergieverbrauchs gerechnet werden. Die Industrieländer brauchen ein weiteres, wenn auch verlangsamtes Wirtschaftswachstum, und die Entwicklungsländer weisen einen enormen Nachholbedarf auf, der noch durch die weltweite Bevölkerungsexplosion verstärkt wird. Die Wachstumsraten werden in Zukunft mit jährlich 3 bzw. 4,2 % tiefer angesetzt als in der Vergangenheit; sie betrugen weltweit durchschnittlich 4,5 % zwischen 1940 und 1960 und nahezu 6 % in den sechziger Jahren.

Seit Kriegsende wurde fast das ganze Wachstum vom *Erdöl* übernommen. Der Anteil des Erdöls ist in 30 Jahren von 20 auf 50 % gestiegen. In absoluten Zahlen ist die Erdölförderung von 0,5 Milliarden Tonnen auf 3 Milliarden Tonnen gestiegen. Heute sind wir zur Erkenntnis gelangt, dass die Ölförderung in der Zukunft nicht mit der Nachfrage wird Schritt halten können. Dies ist nicht so sehr ein Problem der Reserven – die förderbaren Erdölmengen werden heute mit 240 Milliarden Tonnen höher eingeschätzt als noch vor Jahren –, sondern ein Problem der *Produktionskapazität*. Die Experten sind sich einig, dass in den nächsten 10 bis 20 Jahren die Erdölproduktion ein Maximum erreichen wird, die dann langsam, aber unausweichlich abnimmt. Hier liegt das Weltenergieproblem Nummer 1. Die rechtzeitige Bereitstellung von *Ersatzenergien* in ausreichenden Mengen stellt eine gewaltige Herausforderung dar.

Auf dem Spiele steht nicht die Verwirklichung der Wunschträume von einigen Wachstumsfanatikern, wie das manchmal behauptet wird, sondern die Erfüllung der berech-

tigten Forderung nach einer *Verbesserung des materiellen Lebensstandards aller Völker dieser Erde.* Beim Scheitern dieser Aufgabe stehen uns weltweite Konfliktsituationen bevor. So gesehen war die Ölkrise des Jahres 1973 nichts mehr als ein erster Warnschuss, und man wäre geneigt, mit Herrn Attiga, Generalsekretär der OAPEC, einigzugehen, als er die damalige Aktion der Ölländer als «wise, though unsolicited» bezeichnete.

Von den Ressourcen her ist das Problem nicht unlösbar. Das vereinigte Potential des Erdöls, des Erdgases, der Kohle, der Kernenergie und der neuen Energieträger reicht aus, um unseren Energiebedarf noch für Jahrhunderte zu decken. Die rechtzeitige Bereitstellung von Ersatzenergien im erwähnten Ausmass stellt jedoch auch ein gewaltiges Finanzierungsproblem dar, und beim verfügbaren Kapital handelt es sich bekanntlich ebenfalls um ein beschränktes Gut. Wie wir gesehen haben, sind die Ersatzenergieträger alle um einen Faktor 10 und mehr kapitalintensiver als das Erdöl aus dem Mittleren Osten. Und gerade die Sonnenenergie und andere Alternativen, die wir gerne für die unterentwickelten Länder vorsehen, sind dies in besonderem Masse. Heute werden weltweit rund 3 % der verfügbaren Finanzmittel in die Energieversorgung investiert. In den Vereinigten Staaten und in der Bundesrepublik Deutschland beträgt dieser Anteil schon nahezu 10 %. Soll nun der Anteil des Erdgases, der Kernenergie, der Kohle und der Sonnenenergie wesentlich vergrössert werden, so müssen 20–30 % des für die Erarbeitung des Bruttosozialproduktes benötigten Kapitals für die Energie eingesetzt werden. Die hochentwickelten Industrieländer werden sich das unter Umständen noch leisten können, weil ein grosser Teil dieser Gelder ihrer Industrie zugute kommt, die *unterentwickelten Länder* jedoch mit Sicherheit nicht. Für diese Länder gilt es, nach Lösungen zu suchen, die weniger hochentwickelt und für sie deshalb erschwinglich sind. Dieses Problem ist erst seit einiger Zeit in dieser Deutlichkeit so recht klargeworden. Eine befriedigende Lösung dafür gibt es bis heute noch nicht. Die Gespräche über die *internationale Kooperation,* wie beispielsweise die Nord-Süd-Gespräche in Paris und in der UNO, müssen jedoch dafür eine Lösung finden.

Man muss sich ferner vor Augen halten, dass die beschriebenen Substitutionsprozesse nicht von heute auf morgen stattfinden können. Die Bereitstellung neuer Energieträger *braucht Zeit,* vielleicht viel mehr Zeit, als wir noch zur Verfügung haben. Kein Ersatzenergieträger lässt sich so schnell verfügbar machen und weist eine so hohe Marktdurchdringungsfähigkeit auf wie gerade das Erdöl. Wie wir gesehen haben, stellen das Erdgas, die Kohle und die Kernenergie heute praktisch die einzig verfügbaren Ersatzenergien dar. Nur bei *grösster Anstrengung* wird es gelingen, mit ihnen die entstehende Lücke zu schliessen und die Energie für die unterste Wachstumsprognose der WEK (beschränktes Wachstum) bereitzustellen. Bis diese Energieträger sich einen grösseren Marktanteil erobert haben, werden noch viele Jahre verstreichen, denn ihre Marktdurchdringung kann nicht beliebig schnell vor sich gehen. Dies gilt in ganz besonderem Masse auch für die neuen Energiequellen. Ihr Beitrag in diesem Jahrhundert kann wegen fehlender Entwicklungsreife zwangsläufig nur beschränkt sein.

Die *Energieeinsparungen* können in ihren Auswirkungen einer zusätzlichen Energiequelle gleichgesetzt werden. Sie sind auf jeden Fall unerlässlich. Aber auch diese Energiequelle ist beschränkt. Auch sie wird bald kapitalintensiv, will man mehr als die einfachsten und offensichtlichsten Möglichkeiten ausschöpfen. Die realisierten Einsparungen lassen sich auch nicht über Nacht einführen; auch sie sind den schon beschriebenen Gesetzen unterworfen.

Die weltweite Energieversorgung der nächsten 40–50 Jahre konfrontiert uns mit *Herausforderungen* unerhörten Ausmasses. Die auf uns zukommenden Probleme können nur durch ausserordentliche Anstrengungen im Sinne des Wohlergehens der ganzen Menschheit gelöst werden.