

Substitutionsmöglichkeiten bei der Energie-Bedarfsdeckung

Von Dr.-Ing. A. Voss VDI, Laxenburg

1. Einleitung

Ausgangspunkt aller Überlegungen und Maßnahmen der Energiepolitik sind die künftige Entwicklung des Energiebedarfs und die Möglichkeiten seiner Deckung. Es besteht heute unter den sog. Energiefachleuten ein Konsens darüber, daß der Übergang unserer vornehmlich auf Erdöl und Erdgas basierenden Energieversorgung auf andere ressourcenseitig weniger oder nicht limitierte Energiequellen eine der zentralen Aufgaben der Zukunft ist, die wegen der für solche grundlegenden Strukturänderungen notwendigen Zeiträume schon heute in Angriff genommen werden muß. Der Weg dahin schien bis vor wenigen Jahren noch einigermaßen klar umrissen, ist nun aber, wenn man die öffentliche Diskussion der letzten Monate verfolgt hat, kaum noch erkennbar. Auch die Parteitagebeschlüsse der Regierungsparteien im letzten Monat haben mit ihrem dort verabschiedeten energiepolitischen Leitmotiv "Vorrang für die Kohle; Kernenergie nur so viel wie unbedingt nötig", keinen für eine verantwortungsbewußte und vorausschauende Energiepolitik operationalen Rahmen abgesteckt. Die Frage, wie unsere Abhängigkeit von den sich in absehbaren Zeiten erschöpfenden Energieträgern Erdgas und Erdöl reduziert werden soll, oder anders ausgedrückt, in welchem Umfang und in welchen Zeiten nun vorrangig die Kohle und letztlich die Kernenergie Erdöl und Erdgas substituieren sollen und können, wird wohl noch auf absehbare Zeit die Energiediskussion bestimmen.

2. Substitutionsprozesse in der Vergangenheit

Vor diesem Hintergrund hat die Frage nach den Substitutionsmöglichkeiten sicher nicht an Aktualität verloren. Auf der anderen Seite sind Substitutionsvorgänge im Energiebereich nichts Ungewöhnliches, sondern es hat sie schon immer gegeben. Verschiedene Energiequellen haben einander im Verlauf der Menschheitsgeschichte abgelöst. Zunächst waren die menschliche und tierische Muskelkraft, das Holz und Abfälle sowie die Wasser- und Windkraft die Hauptenergielieferanten. Alles Energien, die eine indirekte Form der Sonnenenergienutzung darstellen.

Mit Beginn des industriellen Zeitalters, mit seinem ungeheuren Energiehunger, begann zunächst die Ära der Kohle, die dann ab Anfang dieses Jahrhunderts immer mehr vom Erdöl und Erdgas verdrängt wurde. Manchmal wird heute die Auffassung vertreten, daß sich mit der zukünftig zu erwartenden Sonnenenergienutzung der Kreis wieder schlies-

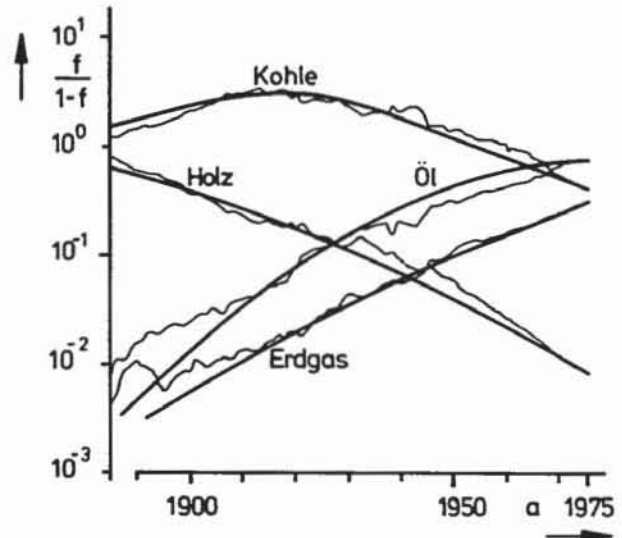


Bild 1. Marktdurchdringung der Primärenergieträger weltweit (nach [1])

sen wird. Dies wäre ein in der Geschichte der Energienutzung bisher noch nicht dagewesener Vorgang, wie Bild 1 verdeutlicht.

In diesem Bild ist der zeitliche Verlauf der weltweiten Marktdurchdringung der verschiedenen Primärenergieträger dargestellt. Aufgetragen ist dabei das Verhältnis des Marktanteils F eines Energieträgers zu den Marktanteilen aller anderen Energieträger $(1-F)$ in einem logarithmischen Maßstab. Als ein typisches Maß für die Substitutionsgeschwindigkeit wird dabei die Zeit definiert, die ein Energieträger braucht, um seinen Marktanteil von 1 % auf 50 % zu erhöhen. Für die weltweite Markteinführung von Erdöl und Erdgas ergeben sich diese Zeiträume zu 75 bzw. 85 Jahre.

Verschiedentlich wird heute die Auffassung vertreten, daß die in Bild 1 dargestellten Funktionsverläufe eine allgemein gültige Gesetzmäßigkeit für den zeitlichen Verlauf von Substitutionsvorgängen darstellen. Wenn das so wäre, dann würde man aus dem Verlauf der Kurve für die Kohle schließen müssen, daß die von vielen erwartete Renaissance der Kohle nicht stattfinden wird, d.h. die Kohle würde in Zukunft Erdöl und Erdgas im großen Umfang nicht ersetzen können.

Bild 2 stellt die vergangene Entwicklung der Primärenergiesubstitution für die Bundesrepublik Deutschland dar. Im Vergleich zu der weltweiten Entwicklung sind hier Erdöl und Erdgas etwa dreimal so

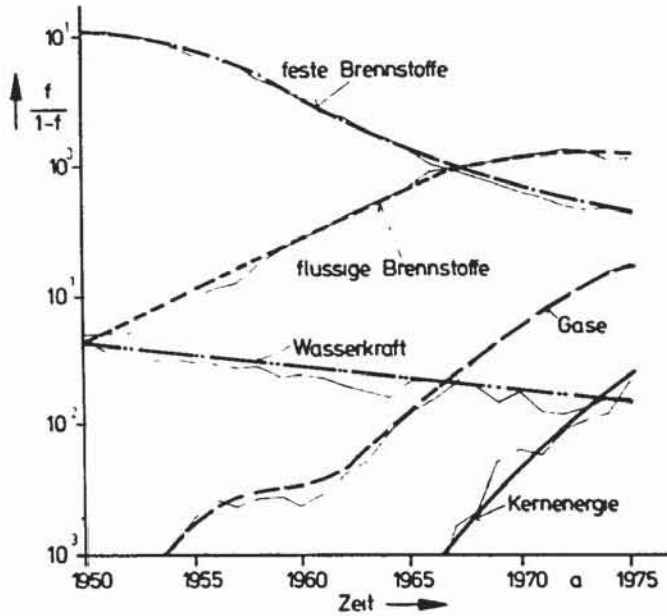


Bild 2. Marktdurchdringung der Primärenergieträger in der Bundesrepublik Deutschland

schnell eingeführt worden. Die bisherige Einführungsgeschwindigkeit der Kernenergie ist nur unwesentlich größer als die bei Erdöl und Erdgas.

Die Analyse der vergangenen Entwicklung macht deutlich, daß sich Substitutionsprozesse im Energiebereich nicht von heute auf morgen vollziehen, sondern daß Jahrzehnte für eine grundlegende Änderung der Energieversorgungsstruktur notwendig sind. Dies scheint mir die wichtigste Begründung für die Notwendigkeit einer über die aktuellen Tagesprobleme hinausgehenden langfristig orientierten Energiepolitik zu sein.

3. Substitution und Energiepreise

Fragt man nach den verursachenden Faktoren von Substitutionsprozessen wie sie sich im Energiebereich vollzogen haben, so müßten diese Substitutionsprozesse, wenn man der klassischen Ökonomie glauben darf, in sich verändernden Preisrelationen zwischen den konkurrierenden Energieträgern begründet liegen. Denn der Preis regelt nach der ökonomischen Theorie den Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage und damit auch die Marktanteile der verschiedenen Energieträger. Natürlich wirken auch im Energiebereich die grundsätzlichen Marktmechanismen, doch hat es gerade hier in der Vergangenheit Eingriffe gegeben, die das reine Marktgeschehen beeinflusst oder ausser Kraft gesetzt haben, um die Nachteile eines sich an den jeweils gerade herrschenden Gegebenheiten orientierten Wettbewerbs für eine langfristig wünschenswerte und notwendige Entwicklung zu vermeiden.

So waren z.B. die Ölpreise in den 60er Jahren und bis zu Beginn der Ölkrise sicher kein Ausdruck der zu erwartenden Erdölverknappungen. Hätte während dieses Zeitraums, in dem das Öl fast 50 % billiger als die deutsche Steinkohle war (siehe Bild 3), der Verdrängungswettbewerb des Erdöls uneinflusst, d.h. ohne staatliche Eingriffe zugunsten der Kohle, wie z.B. durch die Verstromungsgesetze, die Altlastenabdeckung, die Kokskohlebeihilfe, usw. stattgefunden, so hätte dies in letzter Konsequenz zur Stilllegung der Kohleförderung führen müssen. In Anbetracht der heute deutlicher erkennbaren zukünftigen Probleme der Ölversorgung, sowie der eingetretenen Verzögerungen beim Ausbau der Kernenergie wäre eine derartige Entwicklung sicher katastrophal gewesen.

Im weiteren Sinne sind natürlich auch die öffentlichen Aufwendungen für die Entwicklung neuer Energietechnologien, ein das Marktge-

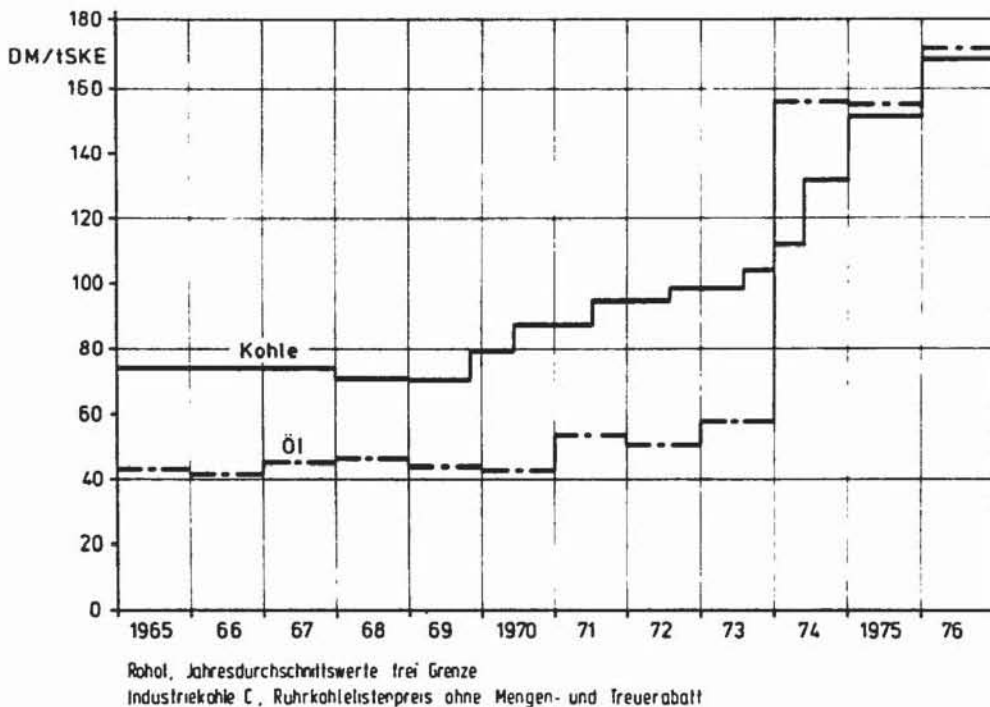


Bild 3. Preisentwicklung von Steinkohle und Öl

schehen beeinflussender Faktor. Man kann trotz eines Aufwandes von mehreren Milliarden DM pro Jahr nicht alle denkbaren Technologien fördern und entwickeln und die mit öffentlichen Mitteln zum Teil bis zur Marktreife finanzierte Entwicklung ist natürlich eine erhebliche Hilfe für die Markteinführung einer Technologie. Die Kernenergie ist ein Beispiel dafür.

Auch im internationalen Bereich gibt es eine Vielzahl von staatlichen Interventionen, die im Widerspruch zu marktwirtschaftlichen Grundsätzen stehen. Als Beispiel seien hier nur die politisch motivierte Verfünfachung der Preise für Öl aus OPEC-Ländern, die damit jegliche Bindung an die Produktionskosten verloren haben, und die Aussetzung der Uranlieferungen aus den USA und Kanada im vergangenen Jahr genannt.

Der Zielkonflikt zwischen einer gesicherten und umweltfreundlichen Energieversorgung auf der einen Seite und einer preisgünstigen Energiebereitstellung auf der anderen Seite wird sich in Zukunft aller Voraussicht nach noch deutlicher stellen. Er wird ohne eine langfristig angelegte Energiepolitik nicht zu lösen sein. Sie ist wegen der Bedeutung einer gesicherten Energieversorgung für unsere Gesellschaft kein Widerspruch zur sozialen Marktwirtschaft, sondern ihre notwendige Voraussetzung und Ergänzung. In diesem Sinne werden in Zukunft wie auch schon bisher politische und gesellschaftliche Faktoren sowie gesamtwirtschaftliche Überlegungen Einfluß auf die Entwicklung der Energieversorgungsstruktur und damit natürlich auch auf die zukünftigen Substitutionsprozesse haben.

Substitutionsvorgänge finden im Energiebereich in allen Stufen von der Primärenergie bis hin zur Endenergienutzung beim Letztverbraucher statt. Einen Gesamtüberblick über die Substitutionsmöglichkeiten, die dazu vorhanden sind oder in Entwicklung befindlichen Technologien in den einzelnen Bereichen der Energiegewinnung, -umwandlung, -transport und -verteilung, sowie der Energienutzung zu geben, ist im Rahmen dieses Vortrages nicht möglich. Da in anderen Beiträgen dieser Tagung ausgewählte Bereiche wie der Haushalts- und Verkehrssektor schon behandelt wurden, will ich mich in meinen Betrachtungen im wesentlichen auf die Primärenergieseite konzentrieren.

Ich will versuchen, aufzuzeigen, welchen Beitrag die verschiedenen uns zur Verfügung stehenden Primärenergiequellen zur Deckung des zukünftigen Energiebedarfs leisten können. Zum einen sollen damit die primärenergie-seitig determinierten Substitutionsnotwendigkeiten aufgezeigt werden und zum anderen soll durch eine Gegenüberstellung des Energiebedarfs und seiner Deckungsmöglichkeiten der Spielraum für Substitutionsprozesse umrissen werden.

4. Erdöl und Erdgas

Der Primärenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland betrug im Jahre 1976 370,2 Mio t SKE (siehe Bild 4).

Er lag damit immer noch um rund 8 Mio t SKE unter dem Verbrauch im Jahre 1973. 64,1 %

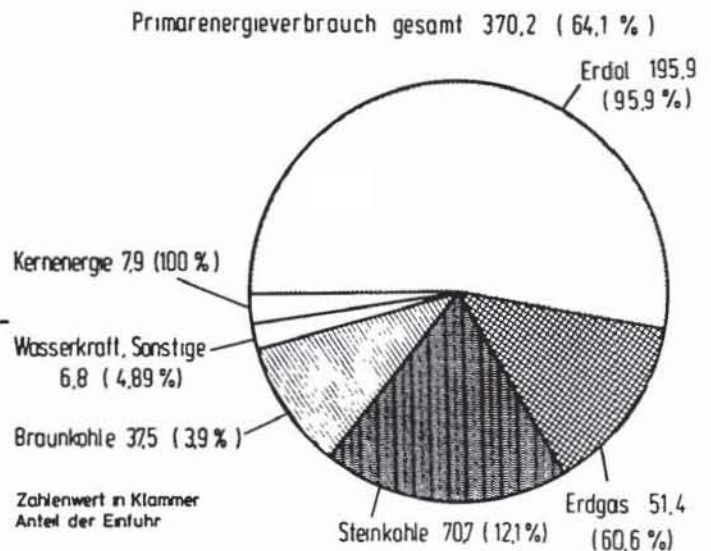


Bild 4. Primärenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1976 in Mio t SKE

des Energieverbrauchs müßten durch importierte Energieträger gedeckt werden, wobei Kernbrennstoffe und Mineralöl nahezu vollständig und Erdgas zu 60 % eingeführt wurden. Die heimischen Energieträger Stein- und Braunkohle trugen zu etwa 27 % zur Bedarfsdeckung bei. Bei einer Gesamtförderung des deutschen Steinkohlenbergbaus von fast 90 Mio t wurden 20 Mio t Steinkohle, hauptsächlich Koks-kohle und Steinkohlenkoks ausgeführt.

Erdöl und Erdgas leisten nach wie vor mit einem Anteil von zusammen 67 % den größten Beitrag zu unserer Energieversorgung. Ihr Anteil hat seit dem Jahr 1973 trotz rückläufigem Gesamtverbrauch dabei sogar noch geringfügig zugenommen. Angesichts dieser Fakten muß man sich natürlich die Frage stellen, wie die zukünftige Versorgung mit diesen Energieträgern zu beurteilen ist.

Beginnen wir mit dem Erdöl. Der überwiegende Teil des von uns importierten Mineralöls kommt aus den OPEC-Ländern, in denen auch 65 % der heute bekannten Erdölreserven der Welt konzentriert sind. Die weltweite Verteilung der nachgewiesenen Erdölreserven ist in Bild 5 dargestellt, aus dem die zentrale Bedeutung der OPEC-Länder, insbesondere der im Nahen Osten deutlich wird. Die nachgewiesenen Reserven werden heute mit 117,2 Mrd t SKE angegeben.

Bei weiter verstärkter Exploration werden sicher auch in Zukunft noch weitere Erdölvorkommen gefunden werden, darüber hinaus wird die Anwendung sekundärer und tertiärer Fördermethoden die gewinnbaren Erdölmengen aus bereits erschlossenen Feldern erhöhen können. Auf der diesjährigen Weltenergiekonferenz [3] wurden die überhaupt gewinnbaren konventionellen Ölreserven angegeben, wobei diese Schätzwerte davon ausgehen, daß der Förderfaktor von gegenwärtig 25 % auf 40 % ansteigt. Auch der größte Teil dieser Vorräte wird im Nahen Osten und in Nord Afrika vermutet.

Die Vorratssituation ist natürlich ein maßgeblicher Faktor für eine Beurteilung der zu-

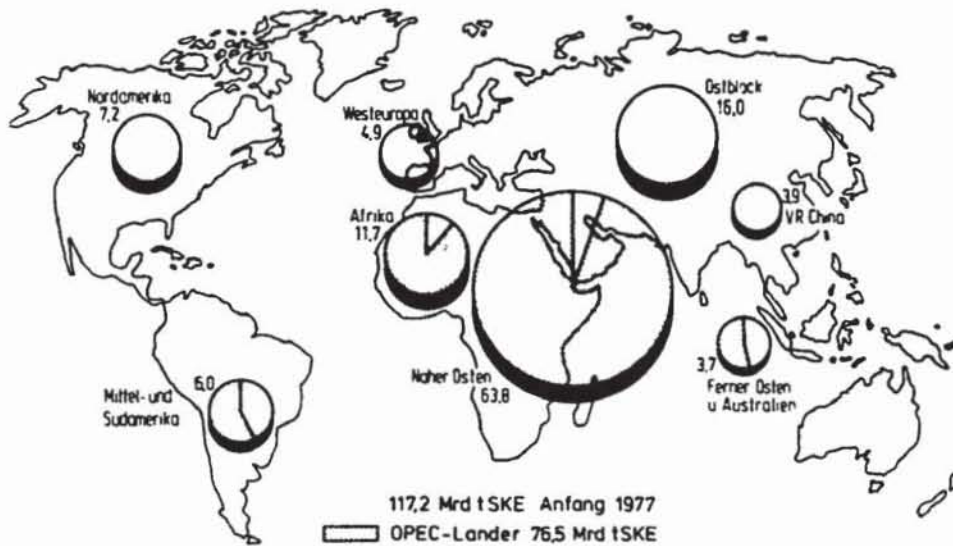


Bild 5. Weltvorräte an Erdöl

künftigen Welterdölproduktionsentwicklung. Unter der Voraussetzung, daß weder finanzielle noch politische Hemmnisse einer Ausweitung der Erdölproduktion im Wege stehen, geht der oben bereits zitierte Bericht der Weltenergiekonferenz davon aus, daß vom technischen Standpunkt eine Steigerung der Weltrohölförderung von heute $2,8 \cdot 10^9$ t auf etwa $5 \cdot 10^9$ t im Jahre 1990 möglich ist. Danach wird die Förderung wieder rückläufig sein und im Jahre 2000 im Bereich zwischen $4-5 \cdot 10^9$ t/a liegen. Andere Untersuchungen [4,5] kommen zu ähnlichen Ergebnissen, wobei jeweils die zentrale Rolle der OPEC-Staaten betont wird. Neben der sich abzeichnenden Erschöpfung der Erdölreserven wird also auch weiterhin die Gefahr des Mißbrauchs des Erdöls als politische Waffe fortbestehen. Auch verstärkte politische Bemühungen, eine den beiderseitigen Interessen entsprechende engere Kooperation zu erreichen, sowie eine stärkere Diversifizierung der Rohölbezugsquellen können die Risiken und die Unsicherheit der zukünftigen Versorgung mit Erdöl nicht beseitigen.

Angesichts dieser zu erwartenden Situation auf dem Welterdölmarkt ist es natürlich nur schwer abzuschätzen, welche Mengen für die Bundesrepublik zu beschaffen sein werden. Verschiedene Untersuchungen [6] gehen davon aus, daß etwa ab Mitte der 80er Jahre mit einer stagnierenden Ölverfügbarkeit für die Bundesrepublik in Höhe von etwa 225 Mio t SKE pro Jahr zu rechnen sein wird. Dies würde bedeuten, daß der Anteil der Bundesrepublik am gesamten Weltölverbrauch von etwa 5 % im Jahre 1976 auf etwa 3,6 % im Jahre 2000 zurückgehen würde.

Die Situation beim Erdgas unterscheidet sich hinsichtlich der Mengen- und Preisaspekte grundsätzlich von der beim Erdöl. Auch hier steht dem wachsenden Welterdgasbedarf eine begrenzte Verfügbarkeit gegenüber. Die bekannten, wirtschaftlich gewinnbaren Reserven werden mit 71,1 Mrd t SKE angegeben. Ihre weltweite Verteilung ist in Bild 6 dargestellt. Über 60 % der Reserven sind im Ostblock und im Nahen Osten konzentriert. Für die Bundesrepublik Deutschland bedeutet dies, daß Erdgas aus diesen Gebieten über weite Strecken, bis zu 6000 km, transportiert werden muß, was natürlich mit erheblichen Transportkosten zu Buche

schlägt. Die zusätzlichen, bisher unentdeckten Erdgasreserven werden auf 280 Mrd t SKE geschätzt [8]. Diese Reservenbasis erlaubt einen Anstieg der weltweiten Erdgasproduktion um durchschnittlich 4,4 % pro Jahr bis zum Jahre 2000, was einer Verdreifachung der gegenwärtigen Produktion entspricht. Kurz nach 2000 wird sie dann ihren Höhepunkt erreichen und wieder zurückgehen [8].

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt über eigene Erdgasvorräte von 330 Mio t SKE [9], welche unter Beibehaltung der gegenwärtigen Förderung eine Reichweite von nur noch 16 Jahren haben. Um den steigenden Erdgasbedarf decken zu können, hat die deutsche Erdgaswirtschaft schon frühzeitig langlaufende Erdgasbezugsverträge abgeschlossen, die für die Mitte der 80er Jahre ein Erdgasaufkommen von 85 Mio t SKE sicherstellen. In Bild 7 sind die vertraglich gesicherten Bezugsmengen und ihre Lieferländer dargestellt. Im Jahr 1984 läuft auch der erste Vertrag über die Lieferung von Flüssiggas (LNG) aus Algerien an, der bis zum Jahre 2004 jährlich die Lieferung von über 4 Mio t SKE LNG vorsieht.

Die Verträge mit den Niederlanden und Norwegen laufen ab 1990 nach und nach aus und werden, da diese Länder ihr Erdgas selbst nutzen wollen, nicht verlängert werden können. Die dadurch in den 90er Jahren entstehende Versorgungslücke ist heute noch nicht geschlossen. Neue Bezugsverträge können praktisch nur mit weit entfernten Lieferländern, wie z.B. Algerien, Libyen, dem Nahen Osten, dem Iran, usw. abgeschlossen werden. Der notwendige Transport des Erdgases über interkontinentale Pipelines oder als LNG per Tanker führt zu Kosten, die nur mit einem steigenden Energiepreinsniveau gedeckt werden können.

Ähnlich wie beim Erdöl sind auch beim Erdgas die Versorgungsmöglichkeiten der Bundesrepublik Deutschland zur Jahrhundertwende nur sehr schwer zu beurteilen. Die weltweite Reserve-situation und die erwarteten Produktionssteigerungen lassen bei Lösung des Transportproblems eine Versorgung der Bundesrepublik mit 100 bis 120 Mio t SKE im Jahre 2000 möglich erscheinen, sofern in den Produktionsländern keine politischen Restriktionen ergriffen werden.

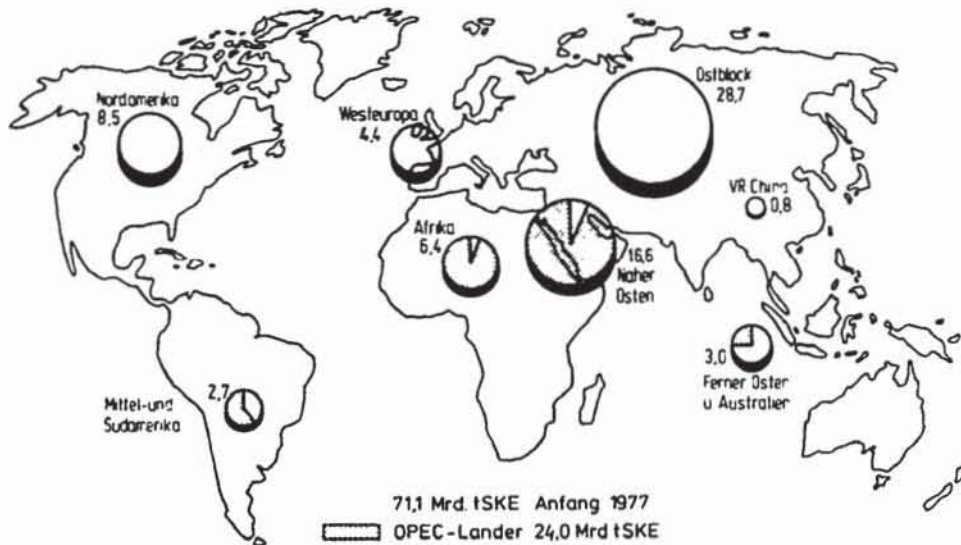


Bild 6. Weltvorräte an Erdgas

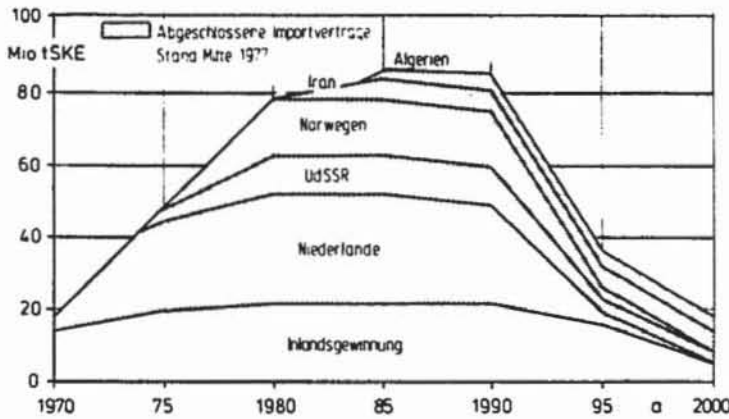


Bild 7. Erdgasaufkommen in der Bundesrepublik Deutschland (nach [7]).

fung scheint nur durch eine Reihe flankierender Maßnahmen möglich. Eine ist die bereits getroffene Vereinbarung zwischen dem Steinkohlenbergbau und der Elektrizitätswirtschaft über die Verstromung von durchschnittlich 33 Mio t Steinkohle im Zeitraum von 1978 bis 1987. Längerfristig, d.h. ab Anfang der 90er Jahre könnten auch die heute in Entwicklung befindlichen Kohlevergasungs- und Kohleverflüssigungstechnologien der Steinkohle ein neues Absatzgebiet erschließen.

Von den Vorräten aus betrachtet, könnte die Steinkohle weltweit, aber auch in der Bundesrepublik einen weitaus höheren Beitrag als gegenwärtig zur Energiebedarfsdeckung leisten. Die geologischen Vorräte der deutschen Steinkohle bis zu einer Tiefe von 2000 m werden auf 230 Mrd t geschätzt (T a f e l 1).

5. Steinkohle

In den Grundlinien und Eckwerten für die Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung vom 23. März 1977 [10] wurde die Rolle der deutschen Steinkohle für die zukünftige Energieversorgung folgendermaßen umrissen:

"Angesichts der dem Weltenergiemarkt weiterhin innewohnenden Risiken für ein ausreichendes Energieangebot und der Verzögerungen beim Ausbau der Kernenergie kann auch zukünftig auf die zusätzliche Sicherheitsfunktion der deutschen Steinkohle nicht verzichtet werden. Die gegenwärtige Förderkapazität von rd. 94 Mio t sollte weiterhin gehalten werden, selbst wenn nach der Prognose der energiewirtschaftlichen Institute die Absatzmöglichkeiten für 1980 und 1985 niedriger eingeschätzt werden". Damit ist die Situation der deutschen Steinkohle, insbesondere der Diskrepanz zwischen den langfristigen Erfordernissen und den aktuellen Gegebenheiten umrissen. Die wirtschaftliche Entwicklung insbesondere im Stahlsektor hat dazu geführt, daß bei einer Förderung die schon erheblich unter der Förderkapazität liegt, die Lagerbestände der deutschen Steinkohle mit über 33 Mio t SKE einen neuen Rekordstand erreicht haben. Die Überwindung der aktuellen Probleme des Steinkohlenbergbaus ohne eine weitere drastische Schrump-

Tafel 1. Vorräte und Reserven an Steinkohle in der Bundesrepublik Deutschland (nach [9])

VORRATSBASIS	230,3	MRD T
RESERVENBASIS	24,2	"
DAVON ÖKONOMISCH GEWINNBAR	6 - 12	"

Schränkt man die Vorräte auf Lagerstätten bis zu einer Tiefe von 1500 m und einer Flözmächtigkeit von 60 cm ein, so stehen 24,2 Mrd t zur Verfügung, von denen 6-12 Mrd t ökonomisch gewinnbar sind.

Die Förderkapazität des deutschen Steinkohlenbergbaus liegt heute bei etwa 95 Mio t pro Jahr. Ohne die Inbetriebnahme von Anschlußanlagen und neuen Schachtanlagen würde die Kapazität infolge der Auskohlung der jetzt erschlossenen Felder zum Jahre 2000 erheblich zurückgehen. Die Erhaltung bzw. der Ausbau der Förderkapazität erfordern umfangreiche Explorationsmaßnahmen und hohe Investitionen, die etwa 10 Jahre vor Beginn der Förderung in Angriff genommen werden müssen. Es dürfte daher nicht zu erwarten sein, daß die Förderkapazität der deutschen Steinkohle über 120 Mio t/a bis zur Jahrhundertwende gesteigert werden kann.

6. Braunkohle

Eine weitere, bedeutende, heimische Energiequelle stellt die Braunkohle dar. Die Braunkohlenförderung der Bundesrepublik Deutschland betrug im vergangenen Jahr 134,5 Mio t (entsprechend 36,3 Mio t SKE), wovon allein 90 % in Kraftwerken verstromt wurde. 6,5 % der Förderung wurden zur Herstellung von Braunkohlenbriketts verwandt. Der überwiegende Teil der Braunkohlevorräte der Bundesrepublik von insgesamt 52 Mrd t, nämlich rund 51,5 Mrd t [9] liegen im Rheinischen Revier. Sie befinden sich entsprechend ihrem geologischen Alter verhältnismäßig dicht unter der Erdoberfläche und können somit im Tagebau kostengünstig gewonnen werden. Die Produktionskosten liegen erheblich unter denen von Steinkohle. Damit können Braunkohlekraftwerke selbst im Grundlastbereich Strom zu etwa gleichen Kosten wie Kernkraftwerke erzeugen.

Von den Braunkohlevorräten des Rheinischen Reviers sind etwa 30 Mrd t gewinnbar. Davon stehen in gegenwärtig erschlossenen Tagebauen 2,4 Mrd t an (siehe T a f e l 2).

Tafel 2. Tagebaue und Vorräte im Rheinischen Braunkohle Revier

AUFGESCHLOSSENE TAGEBAUE	KOHLINHALT MILL T	VORAUSSICHTLICHE AUSKÖHLUNG
VILLE	41	1983
FRECHEN	89	1985
FORTUNA-GARSDORF	475	1991
FRIMMERSDORF	1172	2005
ZUKUNFT	200	1985
INDEN	441	2005
	2418	
NEUAUFSCHLOSSE		
(VERFAHREN ANGELAUFEN)		
HAMBACH I	2400	~ 2040
BERGHEIM	229	
	2629	
GEPLANTE ABBAUFELDER		
	5120	

Wie aus T a f e l 2 ersichtlich, laufen Mitte der 80er bis Anfang der 90er Jahre vier Tagebaue wegen der Erschöpfung der Lagerstätte aus. Die dadurch entstehende Lücke in der Braunkohlenförderung soll durch den Aufschluß des Tagebaus Hambach geschlossen werden. Das Abbaufeld Hambach I weist einen gewinnbaren Kohleinhalt von 2,4 Mrd t entsprechend 820 Mio t SKE auf. Er umfaßt eine Fläche von 85,2 km² und die Braunkohle wird aus einer Tiefe zwischen 200 und 470 m gefördert werden. Die Planungen für den Ausbau von Hambach begannen im Jahre 1973, und die erste Kohleförderung soll etwa ab 1983 erfolgen. Seinen Endausbauzustand mit einer jährlichen Förderkapazität von 45 bis 50 Mio t wird der neue Tagebau erst Mitte der 90er Jahre erreichen.

Der Tagebau Hambach sowie die spätere Erschließung weiterer Tagebaue werden dazu beitragen, daß langfristig die Braunkohle einen Beitrag von 35-40 Mio t SKE pro Jahr zu unserer Primärenergieversorgung leisten kann. Geringfügige Fördersteigerungen über diese Menge hinaus sind durch den zusätzlichen Einsatz von Tagebaugeräten möglich; eine beträchtliche Fördersteigerung ließe sich aber nur durch den Aufschluß weiterer, bisher nicht geplanter, Abbaufelder erreichen.

7. Kernenergie

Die Situation der Kernenergie ist heute weniger durch technisch-wissenschaftliche als durch politisch-gesellschaftliche Probleme gekennzeichnet, deren Ursachen hier nicht erörtert werden sollen. Es scheint aber so, daß die zum Teil heftig geführte öffentliche Diskussion über den Nutzen und die Risiken der Kernenergie, nicht ohne Einfluß auf die zukünftige Kernenergiepolitik geblieben ist. Zumindest kann man diesen Eindruck aus einer Gegenüberstellung der in den verschiedenen Energieprogrammen der Bundesregierung genannten Kernenergieausbauziele gewinnen. In der ersten Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung, die im November 1974, also nach der sogenannten Ölkrise, vorgelegt wurde, wurde eine installierte Kernkraftwerksleistung von 45.000 - 50.000 MW für wünschenswert gehalten. In den im März dieses Jahres vom Bundeskabinett verabschiedeten Grundlinien und Eckwerten für die Fortschreibung des Energieprogramms werden 30.000 MW genannt, die neuesten Verlautbarungen aus dem Bundeswirtschaftsministerium zufolge nun noch einmal auf 24.000 MW reduziert wurden. Eine installierte Kernkraftwerksleistung von nur 24.000 MW im Jahre 1985 ist das, was aufgrund der Bauverzögerungen und gerichtlichen Baustops heute noch erreichbar ist. Sie ist aber keineswegs bedingt durch eine limitierende Produktionskapazität der deutschen Kernkraftwerksbauindustrie. Diese wäre in der Lage etwa sechs bis acht Kraftwerksblöcke von je 1300 MW pro Jahr herzustellen. Unter Berücksichtigung möglicher Kernkraftwerksexporte ließe sich ohne Ausbau der Industriekapazität eine Kernkraftwerksleistung von 100-120 GW im Jahre 2000 verwirklichen.

Bei einem Ausbau der Kernenergie stellt sich natürlich die Frage nach der Verfügbarkeit und Versorgungssicherheit von Uran. Die heute sicheren und wahrscheinlichen Uranvorräte der westlichen Welt bis zu Gewinnungskosten von 30 \$ lb U₃O₈ werden mit 3,5 Mio t angegeben. Weitere vermutete Uranvorräte in dieser Kostenkategorie, sowie die sog. Armerzlagerstätten und das Uran des Meerwassers erhöhen die potentiell nutzbaren Uranmengen noch um ein Vielfaches. Stellt man die Uranreserven dem für den weltweiten Kernenergieausbau notwendigen Uranbedarf gegenüber, so können allein die sicheren und wahrscheinlichen Reserven bis 30 \$ lb U₃O₈ den Bedarf bis über das Jahr 2000 hinaus decken [11]. Der größte Teil dieser Uranreserven, nämlich 73 % liegen in den USA, Kanada, Australien und Südafrika. Die Uranversorgung der Bundesrepublik wird für die nahe Zukunft von der Lieferbereitschaft und dem rechtzeitigen Ausbau der Uranproduktionskapazität dieser Länder abhängen, da unsere eigenen Vorräte in Höhe von 5000 t gemessen am zukünftigen

Bedarf von 2000 - 3000 t/a ohne Bedeutung sind. Längerfristig läßt sich der Natururanbedarf durch die Einführung des Hochtemperaturreaktors und des Schnellen Brütters beträchtlich reduzieren, da diese Reaktoren den Brennstoff bis zu 60mal besser ausnutzen. Da mit ihrem großtechnischen Einsatz erst in den 90er Jahren zu rechnen ist, werden sie zu einer Reduktion des Natururanbedarfs erst im nächsten Jahrhundert nennenswert beitragen können.

8. Regenerative Energiequellen

Als letzte der anthropogen nutzbaren Energiequellen möchte ich nun noch kurz auf die regenerativen Energiequellen eingehen. Da die Nutzungsmöglichkeiten dieser Energiequellen bereits an anderer Stelle dieser Tagung ausführlich erläutert worden sind, kann ich mich kurzfassen. Von den regenerativen Energiequellen und ihren Nutzungsmöglichkeiten werden aufgrund ihres Potentials, ihres Entwicklungsstandes und aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen nur Niedertemperatur-Solarkollektoren, Windenergieanlagen, Laufwasserkraftwerke und Wärmepumpen einen nennenswerten Beitrag zur Energieversorgung der Bundesrepublik leisten können. Ausgehend von ihrem Entwicklungsstand und von der realisierbaren Markteinführungsgeschwindigkeit dieser Technologien wird ihr Substitutionspotential an fossiler Primärenergie im Jahre 2000 im Bereich von 50 Mio t SKE liegen.

9. Begrenzte Substitutionsmöglichkeiten

Ich habe in den vorangegangenen Abschnitten versucht, die möglichen Beiträge der verschiedenen Primärenergiequellen zur Deckung unseres zukünftigen Energiebedarfs zu umreißen. Damit sollten die primärenergieeseitig gegebenen Notwendigkeiten und Möglichkeiten von Substitutionen abgesteckt werden. In **T a f e l 3** sind die möglichen Beiträge der verschiedenen Primärenergieträger nun noch einmal aufgelistet und dem erwarteten Energiebedarf gegenübergestellt.

Ein Ausbau der Förderkapazität des deutschen Steinkohlenbergbaus auf 120 Mio t/a bis zum Jahre 2000 wird sich nur mit großen Anstrengungen und klaren energiepolitischen

Tafel 3. Möglicher Beitrag zur Primärenergiebedarfsdeckung in Mio t SKE

ENERGIETRÄGER BZW. -QUELLE	BEZUG	JAHR	
		1976	2000
STEINKOHLE	EIGENFÖRDERUNG NETTOIMPORT	89.6 -12	< 120 ?
BRAUNKOHLE	EIGENFÖRDERUNG NETTOIMPORT	36.3 1.2	35 - 40 -
MINERALÖL	EIGENFÖRDERUNG NETTOIMPORT	8 194,9	- 225
ERDGAS	EIGENFÖRDERUNG NETTOIMPORT	20 31.3	< 5 100 - 115
URAN/THORIUM	NETTOIMPORT	7.9	< 240
REGENERATIVE ENERGIEQUELLEN	INLAND	-	< 50
Σ			< 775 - 795
PRIMÄRENERGIEBEDARF 2000			590 - 710

Absicherungen erreichen lassen, gerade angesichts der derzeitigen Absatzprobleme und wachsenden Kohlenhalden.

Die Braunkohle wird langfristig etwa 35-40 Mio t SKE bereitstellen können, die im wesentlichen zur Verstromung und gegen Ende dieses Jahrhunderts auch zur Vergasung eingesetzt werden. Die Abschätzung der realisierbaren Erdölimporte ist mit einem grossen Unsicherheitsfaktor behaftet. Hier wird davon ausgegangen, daß bei abnehmendem Anteil des Erdölverbrauchs der Bundesrepublik am Weltverbrauch als Obergrenze etwa 225 Mio t SKE importiert werden können.

Die Situation beim Erdgas ist ähnlich unsicher wie beim Erdöl. Bei zurückgehender Eigenförderung, wird es große Anstrengungen und des Aufbaus eines interkontinentalen Transportsystems bedürfen um ein Importvolumen von 100-115 Mio t SKE/a sicherzustellen.

Auch bei den Kernbrennstoffen sind wir vollständig auf Importe angewiesen. Vom Industriepotential her gesehen, scheint eine installierte Kernkraftwerksleistung von 120 GW, entsprechend einem Primärenergiebeitrag von etwa 240 Mio t SKE für das Jahr 2000 möglich. Die regenerativen Energiequellen werden zukünftig einen steigenden Beitrag zur Energieversorgung unseres Landes leisten können, der zur Jahrhundertwende allerdings nicht größer als 50 Mio t SKE sein kann.

Das uns insgesamt zur Verfügung stehende Primärenergieangebot liegt damit unterhalb von 800 Mio t SKE. Dem stehen Schätzungen über einen erwarteten Primärenergiebedarf von 590-710 Mio t SKE für das Jahr 2000 gegenüber [12]. Dabei entspricht der untere Wert einer wirtschaftlichen Entwicklung, in der das Bruttosozialprodukt bis zum Jahre 1985 um durchschnittlich 3 % pro Jahr und danach um jährlich 2 % zunimmt, während eine um 1 % höhere Wachstumsrate auf einen Primärenergiebedarf von etwas über 700 Mio t SKE führt.

Vergleicht man nun den erwarteten Energiebedarf mit dem Primärenergieangebot, so läßt sich in bezug auf die Substitutionsmöglichkeiten bei der Energiebedarfsdeckung zweierlei erkennen:

- a) Geht man von einem Energiebedarf von etwa 700 Mio t SKE für das Jahr 2000 aus, so ist der Spielraum für alternative Bedarfsdeckungsstrategien äußerst gering. Obertragen auf die Substitutionsvorgänge heißt dies, daß sie im wesentlichen durch die limitierte Verfügbarkeit der Primärenergieträger erzwungen werden.
- b) Bei einer geringeren Energiebedarfserwartung erhöht sich zwar der Spielraum der Substitutionsmöglichkeiten und rein rechnerisch könnte man sogar auf die eine oder andere Energiequelle verzichten. Dies wäre aber in Anbetracht der Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Energiebedarfsentwicklung und der Verfügbarkeit vor allem der zu importierenden Energieträger energiepolitisch nicht zu verantworten. Aus diesen Gründen erscheint es mir falsch, z.B. die Sonnenenergienutzung als eine Alternative - im engen Sinne des Wortes - zur Kernenergie anzusehen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß trotz der gegenwärtigen Überflusssituation auf dem Energiemarkt Energie mittel- bis langfristig eher knapp ist. Die Sicherstellung der langfristigen Energieversorgung kann nur dann erreicht werden, wenn es gelingt, durch internationale Kooperation und Zusammenarbeit die Risiken unserer auch zukünftig bestehenden Importabhängigkeit zu reduzieren, und wenn die Anstrengungen zur Entwicklung neuer Energietechnologien mit verstärkter Kraft weitergeführt werden. Nur dadurch kann langfristig der Substitutionspielraum im Energiebereich wieder vergrößert werden.

Schrifttum

- [1] Marchetti, C.: Primary Energy Substitution Model. Chemical Economy & Engineering Review (1975) Nr. 8, S. 9/19.
- [2] Schmitz, K.; Rath-Nagel, St.; Voss, A.: Dynamischer Ansatz zur Beschreibung von multikausal erklärten Gütersubstitutionsprozessen. Der Markt (1976) Nr. 58, S. 53/60.
- [3] Worldwide Petroleum Supply Limits. Report prepared for the 10th World Energy Conference, (1977), Istanbul, Türkei.
- [4] Energy: Global Prospects 1985-2000, Report of the Workshop on Alternative Energy Strategies (1977) Mc Graw-Hill Company.
- [5] The International Energy Situation: Outlook to 1985, ER 77-10240 U (1977).
- [6] Energie 2000, Tendenzen und Perspektiven. Deutsche BP AG. (1977).
- [7] Steinkohle, Daten und Tendenzen 1976/77. Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, (1977), Essen.
- [8] The Future for World Natural Gas Supply. A report prepared for the 10th World Energy Conference, (1977), Istanbul, Türkei.
- [9] Die künftige Entwicklung der Energienachfrage und deren Deckung - Perspektiven bis zum Jahr 2000 - , Abschnitt III, Das Angebot von Energierohstoffen. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, (1976), Hannover.
- [10] Grundlinien und Eckwerte für die Fortschreibung des Energieprogramms. Bulletin Z1988B, Nr. 30, Bonn (1977).
- [11] Jaek, W.; Kellener, H.J.; Wagner, H.J.: Nukleare Primärenergieträger, Teil I.1. in Vorbereitung.
- [12] Schmitz, K., et al: Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe eines dynamischen Simulationsmodells, im Druck.