

Langfristige Strategien zur Energieversorgung*

Von Wolf HÄFELE

1. Einleitung

Im nationalen Rahmen gibt es eine ganze Reihe von Energieprogrammen und Energieplänen. Sie weisen sich durch einen hohen Detaillierungsgrad aus und haben einen eher kurzen, höchstens mittelfristigen Zeithorizont von z. B. 15 Jahren. In der Tat kann man einen hohen Detaillierungsgrad ja auch nur für begrenzte Zeithorizonte durchhalten. Wenn es dagegen um die Innovation, und das heißt Änderung einer vorliegenden Infrastruktur, geht, kommen sehr viel längerfristige Zeiträume ins Spiel. In Bild 1 sind die Marktanteile verschiedener Primärenergieträger so aufgetragen, daß eine logistische S-Kurve, die den Übergang von dem Marktanteil 0 zu dem Marktanteil 1 beschreibt, im Bild eine Gerade ergibt. Es ist bemerkenswert, daß sich Regelmäßigkeiten ergeben, über Zeiträume hinweg, die länger als hundert Jahre sind. Ihnen nachzugehen [1] ist hier nicht der Punkt. Vielmehr soll demonstriert werden, daß für Änderungen der Versorgungsinfrastruktur für Primärenergie Zeiträume von z. B. 50 Jahren sehr wohl betrachtet werden müssen. Wenn man sich vor Augen hält, daß z. B. die Lebensdauer eines Kraftwerkes bei 30 Jahren liegt, ist das auch plausibel. Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Gesichtspunkte, die solch einen Zeitraum von 50 Jahren nahelegen. Die Erschöpfung bekannter billiger fossiler Reserven, Klima- und Umweltprobleme und noch andere Gesichtspunkte gehören dazu.

Es ergeben sich dann sehr schnell eine Reihe von Schwierigkeiten: Weder analytisch noch von den Marktmechanismen her sind wir darauf vorbereitet, das Wechselspiel von kurz- und langfristigen Aspekten zu verstehen oder konkret zu steuern. Über 50 Jahre hinweg wird die Einbettung nationaler Wirtschaften in einen globalen Zusammenhang sehr viel intensiver sein als heute. Aber auch schon heute beziehen wir in der Bundesrepublik etwa 50 Prozent unseres Primärenergiebedarfs als Rohöl von einem Platz auf dem Globus: dem Persischen Golf. Man hat also die Welt als Ganzes zu betrachten. Es fehlen aber auch die für Energieplanungen bekannter Art erforderlichen Eingangsdaten. Das gilt sowohl in zeitlicher Hinsicht als auch in geographischer Hinsicht, wenn 50 Jahre und die Welt im ganzen zur Diskussion stehen. Stichwortartig sei hier z. B. auf Elastizitäten verwiesen, die prozentuale Änderungen der Nachfrage nach einer Art von Sekundärenergie mit der prozentualen Änderung verschiedenartigster Führungsgrößen, wie etwa Preis oder Bruttosozialprodukt verbinden. Die meisten großen ökonomischen Planungsmodelle, wie sie etwa in den USA gebräuchlich sind, gehen davon aus, daß man sich Elastizitäten irgendwie beschaffen kann. Aber eben das ist bei der hier betrachteten Aufgabe nicht der Fall.

Wenn also mittel- und langfristige Strategien zur Energieversorgung zur Diskussion stehen, ergeben sich sowohl inhaltliche als auch methodische Probleme.

Am Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA), das von wissenschaftlichen Institutionen in 17 Ländern aus Ost und West getragen wird und das sich mit Zivilisationsproblemen industrialisierter Länder im weltweiten Rahmen beschäftigt, haben wir versucht, das Problem der langfristigen Strategien zur Energieversorgung zu behandeln. Nach einer Phase, bei der es vor allem um ein mehr qualitatives Verständnis ging und die somit die

Hauptteile eines Vortrages (redaktionell gekürzt), gehalten im Plenum auf der Achema 1979

Organisation des Problems in behandelbare Teilprobleme zum Ziel hatte, ging es darum, auch zu einer quantitativen Behandlung des Problems zu kommen. Es wurde dafür das Schreiben von weitgehend selbstkonsistenten Szenarien gewählt. Im Deutschen mag dafür auch das recht verstandene Wort Planspiele stehen. Methodisch bedeutet das, daß so viele notwendige Bedingungen wie irgend möglich bezeichnet und verwendet werden, die dann den Spielraum für Ermessensfragen einengen. Bei Ermessensfragen orientiert man sich an Überlegungen, die plausibel erscheinen. Vor allem aber wurden zwei Szenarien entwickelt, die in einem relativen Sinn eine plausible obere und untere Grenze bezeichnen. Wonach es nur eine einzige Zukunft gibt, wird durch den bloßen Umstand, zwei Szenarien zu haben, der Aussagemodus solcher Szenarien relativiert. Es handelt sich dann also nicht um Vorhersagen, sondern vielmehr um ordnende Perspektiven für die mögliche Evolution künftiger Energiesysteme. Solche ordnenden Perspektiven sind es vor allem, was heute nötig ist, denn die sonst ordnenden Gesetze des Marktes gelten für weite Bereiche des Energieproblems nicht mehr. Vor allem gilt das für den Ölmarkt. Weder Ölpreise noch Ölmengen folgen heute Gesetzen des Markts, sie sind rein politisch geworden. Erst wenn sich wieder ein Stück weit Vertrauen und Zuversicht einstellen, wird der Markt funktionieren und wird es vor allem zu den nötigen Investitionen kommen.

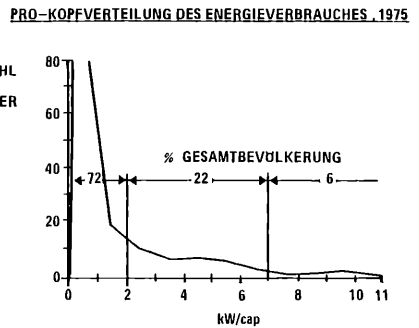
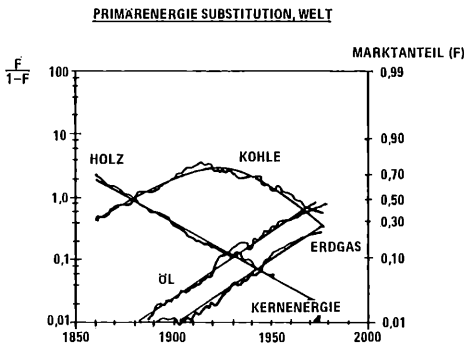


Bild 1

Bild 2

2. Zwei Szenarien

Ein Stück weit ist es nützlich, globale Gesamtwerte zu betrachten. Heute liegt der Weltenergieverbrauch bei 8 TWa/a. Man beachte, daß 1 TWa ziemlich genau einer Milliarde Tonnen SKE entspricht. Der durchschnittliche Verbrauch pro Kopf der Weltbevölkerung liegt bei 2 kW/a (siehe Bild 2). Jedoch müssen etwa 70 Prozent der Weltbevölkerung mit erheblich weniger als diesem Durchschnittswert auskommen, oft mit nur 0,2 kW/a. Solche Werte beziehen sich auf kommerzielle Energie. Brennholz und Dung machen in solchen Fällen viel aus, wenn sie etwa 0,3 kW/a/a zusätzlich beitragen. Etwa 22 Prozent der Weltbevölkerung lebt mit einem Verbrauch zwischen 2 und 7 kW/a/a, Europa gehört dazu, während die restlichen 6 Prozent einen Pro-Kopf-Verbrauch zwischen 7 und etwa 12 kW/a/a haben. Legt man eine Verdoppelung der Weltbevölkerung in den nächsten 50 Jahren zugrunde (siehe Bild 3), was nach Keyfitz [2] eher eine konservative Annahme ist, so ergibt sich bei einer Steigerung des mittleren Pro-Kopf-Verbrauchs auf 3 bzw. 5 kW/a/a ein Gesamtweltverbrauch von 24 bzw. 40 TWa/a. So einfach diese Überlegung ist, so hilfreich ist sie, wenn für künftige Energiesysteme die Leistungsfähigkeit von Energiequellen beurteilt werden soll. Oft liegen Größenordnungen zwischen Erwartung und Realität. Wir werden später auf diesen Punkt zurückzukommen haben.

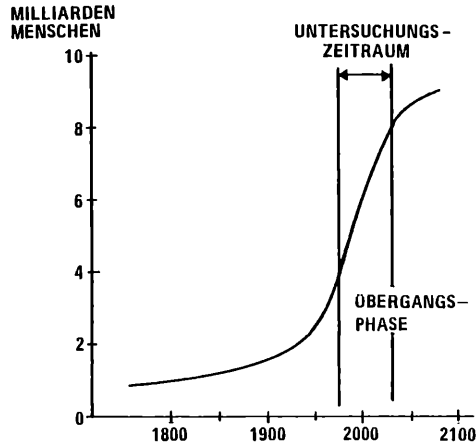


Bild 3

Sowie man jedoch auch nur etwas mehr ins einzelne geht, reichen solche groben Betrachtungen nicht aus. Man ist versucht, auf den nationalen Rahmen zurückzugehen. Will man aber dabei die Welt im ganzen im Auge behalten, ist das de facto nicht durchführbar. Am IIASA haben wir deshalb sieben Weltregionen bezeichnet mit dem Ziel, insoweit regionale Unterschiede zu betrachten und vor allem die gegenseitigen Abhängigkeiten dieser Weltregionen beim Energieproblem zu untersuchen und zu bezeichnen (siehe Bild 4). Die sieben Weltregionen sind mehr nach Gesichtspunkten der Art und des Entwicklungsstandes ihrer Wirtschaften und ihrer Ressourcen ausgesucht und erst in zweiter Linie nach geographischen Gesichtspunkten. Man mag sich anhand des Bildes 4 vor Augen halten, daß die Regionen I, III und II die sogenannte erste und zweite Welt, jedenfalls aber den industrialisierten Norden ausmachen, während die Regionen IV, V, VI und VII die dritte Welt, das heißt Entwicklungsländer, freilich weitgehend unterschiedlicher Struktur bezeichnen. Für jede dieser Weltregionen wurde ein Satz mathematischer Modelle zur Anwendung gebracht, wie er in Bild 5 ausgewiesen ist. Rechteckige Kästen bezeichnen größere Modelle. Annahmen über Bevölkerung und Wirtschaftswachstum gehen in das Modell MEDEE ein, das in weitgehendem Detail die Nutzung von Energie beim Endverbraucher bilanziert. Es ergibt sich somit ein Satz von Sekundärenergienachfragen (Elektrizität, Wärme, Benzin usw.), der als Eingabe in das MESSAGE-Modell geht. Es handelt sich dabei um ein größeres Modell der linearen Programmierung, das begrenzte Mengen von Primärenergiequellen (Öl, Gas, Kohle, Uran usw.) so über 50 Jahre alloziert, daß sich nicht nur ein Optimum diskontierter Kosten, sondern vor allem auch ein Einhalten zahlreicher Begrenzungsbedingungen ergibt. Es ergeben sich in diesem Sinn optimale Energiestrategien. Sie erfordern direkte und diese wieder indirekte Investitionen. Das IMPACT-Modell verrechnet diese Investitionsnotwendigkeiten nach einem Input-Outputverfahren, so daß man den Impact auf eine gegebene Wirtschaft abschätzen kann. Das MACRO-Modell schließlich untersucht die Frage, inwieweit das zu einem geänderten Verhältnis von Konsum zu Investitionsraten führt. In erster Näherung verbindet eine halb formalisierte Prozedur die Regionen untereinander, wenn der Welthandel mit Primärenergie Eingabedaten für das MESSAGE-Modell liefert. Ebenso kommt eine Interpretation aller Ergebnisse hinzu, wenn Preise und Elastizitäten aus den verschiedenen Modellen heraus abgeschätzt werden. Alle Modelle sind in Laxenburg in der vorliegenden Form entwickelt und zur Anwendung gebracht worden, jedoch sollte mit einigem Nachdruck erläutert werden, daß MEDEE auf eine französische Gruppe in Grenoble, MACRO auf Arbeiten in Kanada und

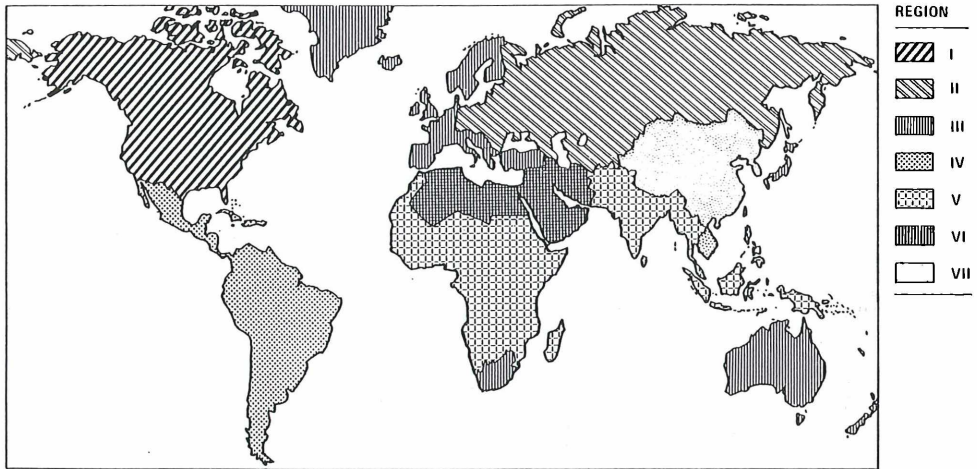


Bild 4

DIE SIEBEN WELT REGIONEN IN DEN SZENARIEN DES ENERGIE-PROGRAMMS – GEOGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG

REGION I	NORDAMERIKA (USA UND KANADA)
REGION II	SOWJETUNION UND OSTEUROPA
REGION III	WESTEUROPA, JAPAN, AUSTRALIEN, NEUSEELAND, SÜDAFRIKA UND ISRAEL
REGION IV	LATEINAMERIKA
REGION V	AFRIKA (AUSSER NORDAFRIKA UND SODAFRIKA) UND SÜDOSTASIEN
REGION VI	NAHER OSTEN UND NORDAFRIKA (ÄGYPTEN, ALGERIEN, LIBYEN)
REGION VII	CHINA UND ZENTRALGELENKTE LÄNDER ASIENS

den USA und IMPACT und die Welthandelsroutine auf Arbeiten des Sibirischen Energieinstituts in Irkutsk, UdSSR, zurückgehen. Das MESSAGE-Modell wurde von Anfang an in Laxenburg entwickelt.

Entscheidend im Sinne der hier erläuterten Argumentation ist es, auf den iterativen Charakter des Verfahrens hinzuweisen. Keineswegs sind die Resultate, über die hier berichtet wird, einfach durch einmaligen Durchlauf durch die Modellkette entstanden. Vielmehr gab es aus jeder Zwischenstation heraus Korrekturen, und das heißt Iterationen, bis endlich ein selbst konsistenter Satz von Ergebnissen vorlag. Es wird deutlich, daß in der Tat Raum für Annahmen und Beurteilungen bleibt. Es wurden zwei konservative Szenarien angestrebt, bei denen eher kleine Wachstumsraten für die wirtschaftliche Entwicklung, eher große Fortschritte bei der Nutzung der Energie beim Endverbraucher und eher ein Eingehen auf Sparmaßnahmen von seiten der Betroffenen angenommen wurde. Auf der Versorgungsseite wurde nicht so konservativ angenommen, daß erforderliche Maßnahmen rechtzeitig ergriffen werden und Rücksicht auf die Bedürfnisse der Entwicklungsländer genommen wird. Zusammen genommen sind das optimistische Annahmen, die deshalb so etwas wie einen Rahmen für maximal Mögliches abstecken. Nüchternerweise wird man für die wirkliche Entwicklung weniger zu erwarten haben.

MODELLKETTE ZUR UNTERSUCHUNG VON ENERGIE STRATEGIEN DES IASA

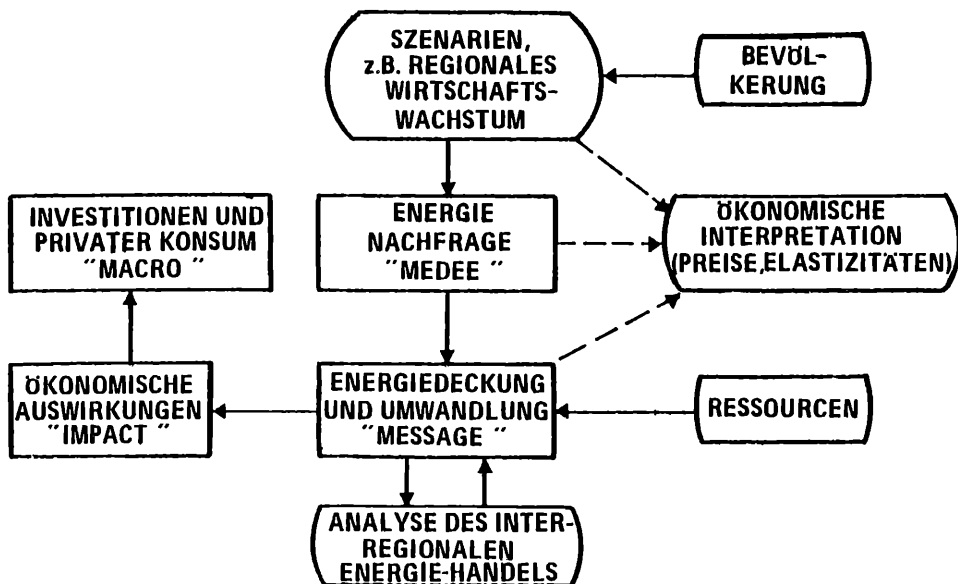


Bild 5 (s. S. 12)

3. Energiebedarf

In diesem Sinne soll jetzt der Energiebedarf im Rahmen der zwei in Rede stehenden Szenarien erläutert werden. Es ist nützlich, dazu die Evolution des Bruttosozialproduktes zu betrachten. Bild 6 gibt Wachstumsraten des Bruttosozialproduktes pro Kopf wieder, wie sie in dem „High“ und dem „Low“ Szenario schließlich verwendet wurden. In Nordamerika (Region I) sinkt der Anstieg beim Low Szenario bis auf 0,7 %/a, in Europa (Region III) auf 0,9 %/a. Beides muß als annäherndes Nullwachstum angesprochen werden. Demgegenüber liegen im High Szenario für die Region VI die Wachstumsraten bis zum Jahr 2000 noch bei 3,8 %/a. Für den sowjetischen Bereich (Region II) liegen alle Werte einheitlich hoch, aber

BRUTTOSOZIALPRODUKT PRO KOPF (1975) UND DESSEN WACHSTUMSRATEN BIS 2030 FÜR ZWEI SZENARIEN

REGION	BSP PER CAPITA (\$) 1975	WACHSTUMSRATE DES BSP PRO KOPF (%/JAHR)			
		"HIGH" SZENARIO 1975-2000 2000-2030		"LOW" SZENARIO 1975-2000 2000-2030	
I	7046	2,9	1,9	1,7	0,7
	3416	3,6			1,9
	4259	3,0			0,9
IV	1066	3,0			1,9
V	239	2,8			1,4
VI	1429	3,8		2,4	
VII	352	3,2	2,9	1,6	1,4

Bild 6

ENERGIEFLUSSDIAGRAMM – DEFINITIONEN

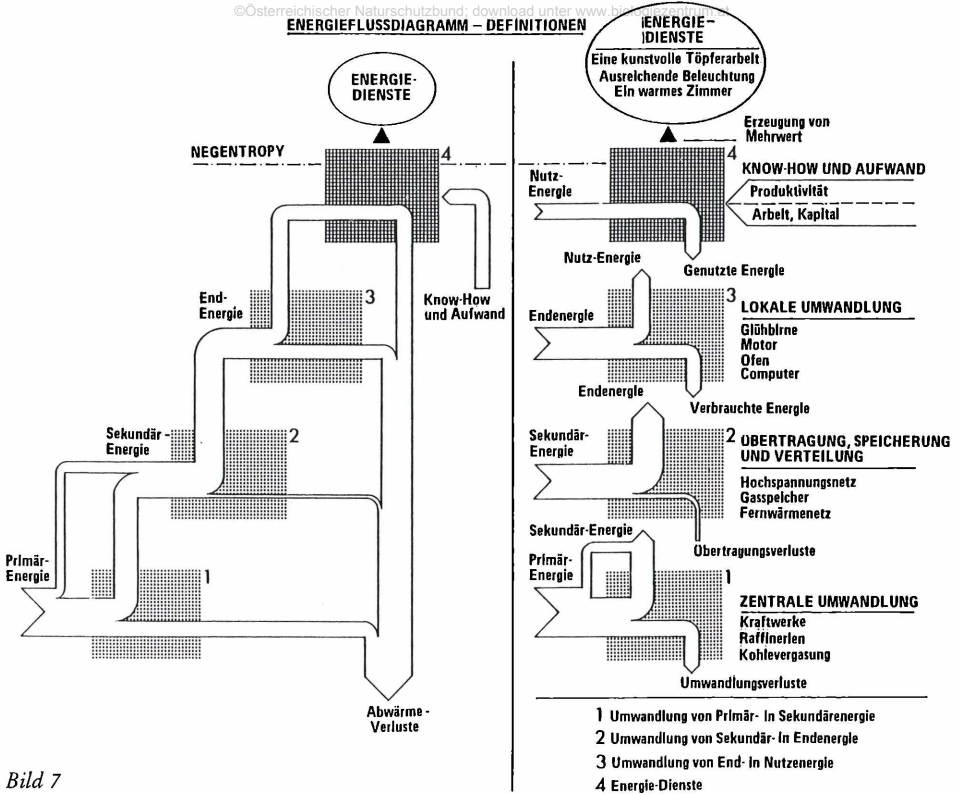


Bild 7

nicht unsinnig hoch und schließen sich dem allgemeinen Abwärtstrend an. Durch Multiplikation mit den jeweiligen Bevölkerungszahlen nach Keyfitz ergeben sich dann die Werte für das regionale Bruttosozialprodukt (BSP). Für die OECD-Länder liegen die BSP-Wachstumsraten, die 1975 mit den Werten von 2030 verbinden, zwischen nur 2 und 3%/a, wobei freilich anfangs höhere und später niedrigere Raten angenommen wurden entsprechend der allgemeinen Abflachung. In dem hier interessierenden Zusammenhang interessieren aber nicht sosehr Werte für das BSP, sondern die damit einhergehenden Werte für die Nutzung der Energie. Man hat dabei sorgfältig zwischen Primär- und Sekundärenergie sowie der Nutzung der Energie zu unterscheiden, wie das in Bild 7 erläutert wird. Die Nutzung der Energie führt etwa zu einem Töpfereiprodukt, zu einem erwärmten Raum oder zu einem durch Licht lesbar gemachten Buch. Solche Nutzung kann verbraucht werden, ganz im Gegensatz zur Energie, für die ein Erhaltungssatz gilt. Deswegen hat die Nutzung der Energie etwas mit dem Negentropie- (oder Informations-) Gehalt der Energie zu tun. Er ist eine eher abstrakte Größe und setzt sich mit der Nutzung von Kapital und Arbeit sowie dem Einfluß von Know-how ins Gleichgewicht. Solch jeweilige Nutzungen sind ganz oder teilweise wechselseitig substituierbar und können, wie erwähnt, verbraucht werden. Das Töpfereiprodukt kann zerschellen, der Raum kühlt ab und die Lichtphotonen werden absorbiert. Der Punkt, auf den es hier ankommt, ist der, daß die Nutzung der Energie, die mit einem gewissen Maß an wirtschaftlicher Tätigkeit einhergeht, keineswegs eindeutig mit solcher Tätigkeit in Beziehung steht. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß solche Beziehung heute hochgradig kontrovers ist. Sie artikuliert sich in der Diskussion um den Energiekoeffizienten, das heißt, dem prozentualen

Zuwachs an benötigter Energie pro Prozent Wachstum des BSP. Wie wir sehen werden, ist es wichtig, hier zwischen Endenergie und Primärenergie zu unterscheiden. Für den Koeffizienten der Endenergie liegen die Werte für die Regionen I, II und III bei 0,8, die Werte für die Regionen IV, V, VI und VII aber bei 1,5. Darin drückt sich der Umstand aus, daß die Infrastruktur der Entwicklungsländer erst aufgebaut werden muß. Apostrophierend mag man feststellen, daß es mehr Energie erfordert, ein Eisenbahnnetz aufzubauen, als mit solcher Eisenbahn Computer-Ausdrucke, die den letzten Zuwachs am BSP darstellen, zu transportieren. Hier muß man sehr ins einzelne gehen, wenn man glaubwürdig argumentieren will. Mit dem MEDEE-Programm ist das für die sieben Weltregionen geschehen. In Bild 8 sind die Resultate in einer Weise zusammengefaßt. Die von uns gemachten Annahmen laufen darauf hinaus, daß für die industrialisierten Länder der Koeffizient der Endenergie auf Werte bis zu 0,5 sinkt, für die Entwicklungsländer auf Werte unter 1,0. In Bild 9 ist dagegen der Koeffizient der Primärenergie mit dem BSP angegeben. Er kann ganz andere Werte haben und auch qualitativ anders verlaufen. Für die Regionen I, II und III lag er knapp bei 1, also deutlich über 0,8. Der Grund sind die Konversionsverluste bei der Erzeugung von Sekundärenergie, also insbesondere bei der Erzeugung von Elektrizität. Wie wir später sehen werden, erwarten beide Szenarien für die Regionen I und III Kohleverflüssigung in größerem Ausmaß. Solche Verflüssigung geht ihrerseits mit beträchtlichen Konversionsverlusten einher, so daß der Primärenergiekoeffizient dann sehr wohl wieder auf Werte über 1,0 steigen kann. Es ist nicht möglich, hier die Einzelheiten solcher Energiebedarfsrechnungen wiederzugeben. Ein Sachverhalt ist freilich von besonderer Bedeutung, und somit soll auf ihn noch besonders hingewiesen werden. Es stellt sich heraus, daß der Bedarf an flüssigen Sekundärenergieträgern, also etwa Benzin oder Heizöl, in viel höherem Maße einen Engpaß darstellt, als das gemeinhin angenommen wird. In beiden Szenarien wurde somit versucht, die Nutzung solcher flüssigen Brennstoffe auf Anwendungen zu beschränken, bei denen eine Substitutionsmöglichkeit kaum gegeben ist: beim Verkehr und als Rohstoff für die chemische Industrie. In Bild 10 ist der Anteil solcher Nutzung flüssiger Brennstoffe ausgewiesen, er steigt von heute etwa 50 Prozent auf etwa 90 Prozent. Entsprechend müssen Fernwärme und Elektrizität substituieren. Bild 11 weist dementsprechend einen ständig steigenden Elektrifizierungsgrad aus. Solche Betrachtungen führen dann auf einen Pro-Kopf-Verbrauch an Primärenergie, wie er in Bild 12 ausgewiesen ist. Wie eingangs angedeutet, ergibt sich eine Anhebung im Weltmittel von 2 auf 3 bzw. 5 kW/a pro Kopf. Das Verhältnis des Pro-Kopf-Verbrauchs etwa der Regionen I und III zu dem der Regionen IV und V verbessert sich um den Faktor zwei, es bleibt aber immer noch eine erhebliche Ungleichheit bestehen, die Problematik der Entwicklungsländer wird sich bis weit ins nächste Jahrhundert fortsetzen. In Bild 13 ist dann der entsprechende gesamte Primärenergiebedarf ausgewiesen, für das Low Szenario werden 26 TWa/a erwartet, für das High Szenario 41 TWa/a.

Man hat sich vor Augen zu halten, daß es sehr wohl möglich ist, zu noch niedrigeren bzw. zu noch höheren Werten zu kommen. Es wurde am IIASA auch ein 16-TWa/a-Szenario untersucht, also ein Szenario, bei dem sich der Weltmittelwert des Pro-Kopf-Verbrauches nicht ändert, sondern bei 2 kW/a bleibt. Jedes Wachstum des Energieverbrauchs der Entwicklungsländer muß dann von einem negativen Wachstum des Energieverbrauchs in den industrialisierten Ländern begleitet sein. In Bild 14 ist eine solche Situation für die sieben Weltregionen ausgewiesen. Es gibt zur Zeit starke Bewegungen, die Negatives oder Null-Energiewachstum aus anderen Gründen als denen einer Energieversorgungsschwierigkeit befürworten oder betreiben [3]. Das Ausmaß der Beeinflussung der Art, wie wir leben, ist dabei unabsehbar. Andererseits kann man sehr wohl zu Schätzungen des Energieverbrauchs der Welt kommen, die deutlich über 40 TWa/a liegen. Zum Beispiel ergeben die politischen Vorstellungen der New Economic Order, wie sie von der Gruppe der 77 in der UNO in ihren UNCTAD-Konferenzen artikuliert werden, solche höheren Gesamtwerte [4]. Nachdem aber

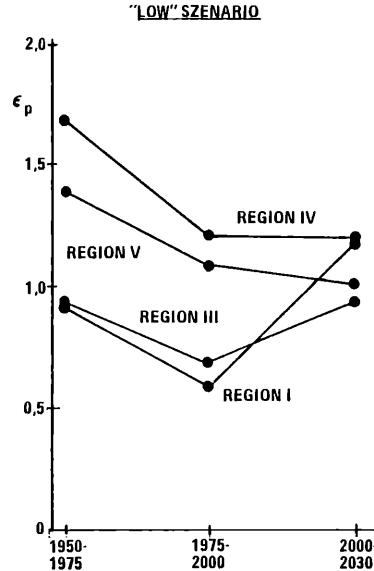
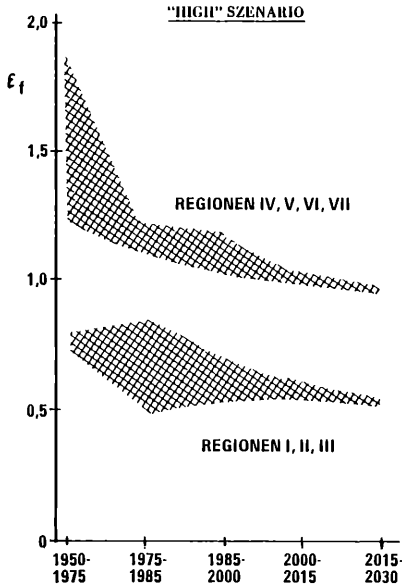
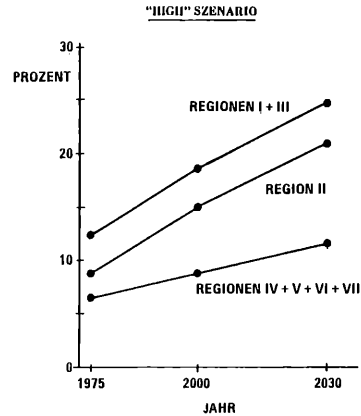


Bild 8-13 (↔)

ANTEIL ELEKTRISCHER ENERGIE AN DER SEKUNDÄRENERGIE 1975 – 2030

**VERWENDUNG FLÜSSIGER ENERGIETRÄGER
PROZENTUALER ANTEIL FÜR VERKEHR UND NICHT-
ENERGETISCHEN BEDARF**

REGION	1975	"HIGH" 2030	"LOW" 2030
I	74	94	90
II	73	89	82
III	52	81	71
IV	65	84	81
V	59	93	90



**PRIMÄRENERGIE PRO KOPF
(kW/cap)**

REGIONEN	1975	"HIGH" 2030	"LOW" 2030
I + III	6,2	14,4 (2,3x)	9,9 (1,6x)
IV + V	0,4	2,0 (5,2x)	1,2 (3,1x)
WELT	2,1	5,3 (2,6x)	3,2 (1,6x)
VERHÄLTNIS I + III / IV + V	16,2	7,3	8,4

**PROJEKTION DER PRIMÄRENERGIE
(IN TWa/a = 10¹² Wa/a)**

REGIONEN	1975	"HIGH" 2030	"LOW" 2030
I + II + III	6,8	24,1 (3,5x)	17,3 (2,5x)
IV + V + VI + VII	1,3	17,5 (13,5x)	8,9 (6,8x)
WELT	8,1	41,6 (5,1x)	26,2 (3,2x)

weiter oben erläutert worden ist, daß der Zusammenhang zwischen Energie und Wirtschaft von Natur aus nicht geschlossen ist, darf das nicht überraschen. Die hier betrachteten beiden Szenarien sind dann in einem Mittelfeld und sind entsprechend zu bewerten.

**PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH PRO KOPF IN EINEM
16 TW SZENARIO
1975 – 2030 (kW/cap)**

REGION	BEZUGSJAHR (1975)	2000	2030
I	11,27	9,1	8,0
II	5,10	7,2	6,2
III	4,03	3,6	3,2
IV	1,06	1,8	2,0
V	0,23	0,5	0,7
VI	0,96	2,2	3,6
VII	0,51	1,0	1,2
WELT	2,10	2,0	2,0

Bild 14 (s. S. 16)

4. Energiereserven und Energieressourcen

Man hat einen deutlichen Unterschied zwischen Reserven und Ressourcen zu machen. Reserven sind explizit bezeichnenbar und sind zu wirtschaftlichen Bedingungen förderbar. Ressourcen dagegen schließen Reserven mit ein, aber ebenso auch Lagerstätten, die etwa mit geologischen Methoden mit einem gewissen Grad an Wahrscheinlichkeit vermutet werden und bei denen Wirtschaftlichkeit der Nutzung nicht klar gegeben ist. Beide, Reserven und Ressourcen, sind ständig sich ändernde Größen. Technik macht letzten Endes den Unterschied zwischen beiden aus. Zum Beispiel am Fall des Nordseeöls läßt sich das unmittelbar einsehen. Nachdem es die Technik der schwimmenden Plattformen gab, sind die Ressourcen zu Reserven geworden. Man behalte dabei im Auge, daß solche Technik ihrerseits nur unter den Post-73-Bedingungen richtig zum Tragen kommen konnte. Bei der Beurteilung der Ressourcen-Situation gibt es traditionelle Unterschiede. Geologen, so scheint es, neigen oft zu vorsichtigen Schätzungen. Ökonomen dagegen gehen oft davon aus, daß Ressourcen sich de facto als unbegrenzt erweisen, wenn nur der Preis entsprechend steigt. Auch gibt es inhärente Unterschiede zwischen Angaben für Kohle und Öl, weil Kohle meistens unter geologischen Gesichtspunkten beurteilt wurde, Öl dagegen unter Gesichtspunkten des Erhaltens eines gewissen Verhältnisses Reserven zu Produktion. Somit erfordert es eine bestimmte Anstrengung, Ressourcen abzuschätzen. Das gilt insbesondere dann, wenn man künftige Bedingungen, wie sie etwa unseren Szenarien zugrunde liegen, bei solchen Schätzungen berücksichtigen will. Das alles mahnt zur Vorsicht. Andererseits müssen bei der Definition von Szenarien letzten Endes Zahlen her. In diesem Sinne sind im Bild 15 Schätzungen für Kohle, Öl und Gas für alle Weltregionen angegeben. Dabei ist zwischen zwei bzw. drei Preiskategorien unterschieden. Kohle, Öl und Gas der Kategorie I zusammengefaßt ergeben etwa 1000 TWa. Bei 40 TWa/a würden rein rechnerisch 1000 TWa in 25 Jahren verbraucht sein und solche Überlegungen sind der Hintergrund der in der Öffentlichkeit diskutierten Sorgen um die Begrenztheit der Ressourcen. Tatsächlich hat man die Preiskategorien II und III mit zu berücksichtigen. Es ergeben sich dann etwa insgesamt 3000 TWa. Auch erscheint während der nächsten 50 Jahre ein mittlerer Weltverbrauch von 15 TWa eher angemessen zu sein. In diesem Sinne entspannt sich dann die Situation. Allerdings sind das grobe Überschlagsrechnungen und man

muß, wie im Falle des Energiebedarfs, detaillierter werden und vor allem regionale Unterschiede berücksichtigen, wie das in Bild 15 ausgewiesen wird. Schon jetzt aber hat man sich klar zu machen, daß es einen großen Unterschied zwischen Kohle und Kohle, Öl und Öl und Gas und Gas gibt. Der Unterschied zwischen der Ölförderung in Saudi-Arabien und Alaska oder etwa der Nordsee mag das verdeutlichen. Mit Sicherheit sind die in Bild 15 ausgewiesenen 3000 TWa kein Ruhekitzen.

Neben den fossilen Ressourcen werden die sich ständig erneuernden Energiequellen stark beachtet und oft werden damit große Hoffnungen verbunden. Wenn man einmal von der großtechnischen, großflächigen Nutzung der Sonnenenergie, von der gleich die Rede sein wird, absieht, ist das Potential solcher Quellen beschränkt. Im einzelnen muß dazu viel erläutert werden. Das ist hier nicht möglich. Vielmehr soll in Bild 16 eine summarische Übersicht gegeben werden, die zwischen einem theoretisch vielleicht möglichen und einem eher erreichbaren Potential unterscheidet. Für das letztere ergeben sich Werte von 6,3 - 7,3 TWa/a, also Werte, die deutlich unter den ins Auge gefaßten Bedarfswerten liegen. In solchem Zusammenhang ist auch wichtig, sich die entsprechenden mittleren Energiedichten solcher Quellen vor Augen zu halten. Sie liegen im wesentlichen zwischen 0,1 und 1 W/m² (siehe Bild 17). Für unsere Überlegung sei hier 0,5 W/m² ein indikativer Wert. 7 TWa/a entsprechen

SCHÄTZUNG DER NUTZBAREN ENERGIERESSOURCEN, ZUSAMMENFASSUNG

KOSTEN KATEGORIE (1976)	KOHLE (10 ⁹ SKE)		ÖL (10 ⁹ t)			GAS (10 ¹² m ³)		
	I	II	I	II	III	I	II	III
I	188	250	16	18	88	29	34	25
II	149	489	27	32	49	53	41	25
III	100	163	12	2	15	16	4	12
IV	11	12	13	57	78	14	10	12
V	59	56	18	4	23	14	9	12
VI	0	1	93	19	n.e.	93	9	12
VII	99	134	8	10	11	6	10	12
WELT	606	1105	187	142	264	234	117	110

KOHLE { KAT. I: \$25/t
KAT. II: \$25-50/t

ÖL, GAS { KAT. I: \$12/boe
KAT. II: \$12-20/boe
KAT. III: \$20-25/boe

Bild 15

GESCHÄTZTES POTENTIAL REGENERATIVER ENERGIEQUELLEN

ENERGIEQUELLE	POTENTIAL		BESCHRÄNKUNGEN
	THEORETISCH	PRAKTISCH	
HOLZ UND BRENNSTOFFFARMEN			ÖKOLOGIE KLIMA
SOLARKOLLEKTOREN MIT BODENSPEICHERUNG WÄRMEPUMPE			WIRTSCHAFTLICHKEIT TECHNOLOGIE
WASSERKRAFT			ÖKOLOGIE GESELLSCHAFT
WIND			WIRTSCHAFTLICHKEIT
OTEC			ÖKOLOGIE KLIMA TECHNOLOGIE
GEOTHERMISCH	0,4	0,2	WIRTSCHAFTLICHKEIT
ORGANISCHER ABFALL	0,1	0,1	GLEICHGEWICHT
GLETSCHERKRAFTWERKE	0,1	0	TECHNOLOGIE
GEZEITEN	0,04	0	RECHNERISCH
GESAMT	20	6,3-7,3TW	

Bild 16

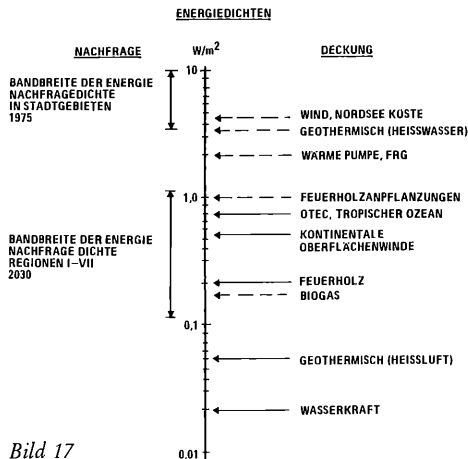


Bild 17

dann 14 Millionen km². Dazu hat man sich vor Augen zu halten, daß die Agrarwirtschaft der Welt eine Fläche etwa dieser Größenordnung in Anspruch nimmt.

Anders liegen die Verhältnisse bei der Nutzung der Sonnenenergie in großflächigen Anlagen, wo man 20–40 W/m² im Jahresmittel erreichen kann. Dementsprechend niedriger sind die erforderlichen Flächen. Ausführlichere Untersuchungen [5] zeigen, daß der Flächenbedarf bei der Nutzung der Sonnenenergie im einzelnen zu großen Schwierigkeiten führen wird, im ganzen aber dürfte es sich um letzten Endes lösbare Probleme handeln. Auf längere Sicht dürften vielmehr Kapitalkosten und Energiespeicherung einen erheblich größeren Engpaß bilden. Vor allem aber hat man den mit der angesprochenen Flächennutzung einhergehenden Materialbedarf im Auge zu behalten. Für eine minimale Flächenbedeckung mit Beton und Eisen weisen Erfahrungswerte auf erforderliche Dichten zwischen 10 und 100 kg/m² hin. In Bild 18 sind die somit implizierten Wachstumsraten für Sonnenenergie erläutert. Der hypothetische Fall, bei dem sowohl die Beton- als auch die Eisenproduktion der Welt jeweils verdoppelt wird, um für die Installation von Sonnenenergieanlagen entsprechende Lieferungen zu tätigen, führt dann zu Installationen zwischen 250 und 1500 GW (thermisch) pro Jahr. Von daher wird man auf die auch mit vielen weiteren Argumenten zu erhärtende Beobachtung geführt, daß es vor allem die Aufbaureate und nicht sosehr das Potential der Sonnenenergie ist, die in den nächsten 50 Jahren als Begrenzung in Erscheinung tritt. Dabei wird freilich die optimistische Annahme gemacht, daß sich das Kapitalkosten- und das Speicherproblem lösen läßt.

MATERIALERFORDERNISSE: SOLARANLAGEN MIT UNTERSCHIEDLICHER MECHANISCHER AUSLEGUNG

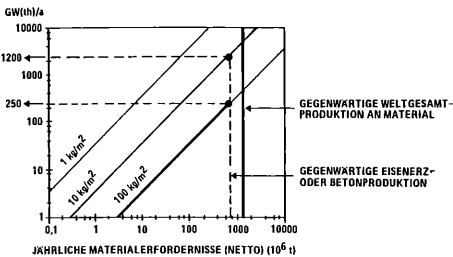


Bild 18

ENERGIERESSOURCEN, NUTZUNGSPOTENTIALE UND RESTRIKTIONEN

ERZEUGUNGSART	PRODUKTION (TW/a)	RESSOURCEN (TW)	RESTRIKTIONEN
HOLZ	2,5	∞	WIRTSCHAFTLICHKEIT – UKOLOGIE
WASSERKRAFT	1–1,5	∞	WIRTSCHAFTLICHKEIT – UKOLOGIE
GESAMT	6–(14)	∞	WIRTSCHAFTLICHKEIT – (NATUR)
DL UND GAS	8–12 (1)	1000	WIRTSCHAFTLICHKEIT – UKOLOGIE – RESSOURCEN
KOHLE	10–14 (1)	2000 (1)	GESELLSCHAFT – UKOLOGIE – WIRTSCHAFTLICHKEIT
KERNENERGIE KONVERTER	12 (2020)	300	RESSOURCEN ZUBAU-RATEN – RESSOURCEN
BRUTER	≤17 (2030)	300 000	TECHNOLOGIE – ZUBAU-RATEN
FUSION	2–3 (2030)	300 000	
SONNE SOFT	1–2		WIRTSCHAFTLICHKEIT – LAND – INFRASTRUKTUR
HARD	2–3 (2030)	∞	ZUBAU-RATEN – ROHSTOFFE

Bild 19

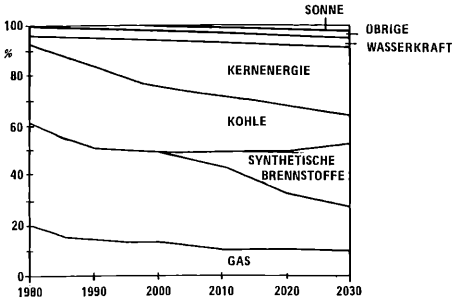
Ein Wort zur Kernenergie. In dem hier vorliegenden Rahmen interessiert vor allem die Frage, wie groß der Beitrag der Kernenergie im Jahre 2030 günstigenfalls sein könnte, wenn alle institutionellen und gesellschaftlichen Probleme nicht existierten. Die Antwort kann nur vage sein. Detaillierte Untersuchungen, über die näher zu berichten hier nicht der Ort ist, weisen aus, daß weltweit nicht mehr als die installierte elektrische Leistung von 10 TW zu erwarten ist. Ganz leicht kann man argumentieren, daß es weniger als 10 TW sein werden.

In einer Art Zusammenfassung werden in Bild 19 die Ressourcen, Produktionspotentiale und zu beachtenden Randbedingungen einer Energieversorgung für die Welt im ganzen dargestellt. Es handelt sich um eher optimistische Daten. Im einzelnen ist sehr viel mehr zu argumentieren, dafür ist hier aber nicht der Platz.

Die Betrachtungen des letzten Paragraphen entsprechen dem runden Kasten Ressourcen in Bild 5. Ausgedehnte Läufe des LP-Programms MESSAGE für alle sieben Weltregionen führen dann zu Versorgungsstrategien, die in einem bezeichnaren Sinn optimal sind. Im Rahmen dieses Aufsatzes und im Hinblick auf den schließlichen Zielpunkt der hier vorgetragenen Argumentation soll die Angabe der global aggregierten Versorgungsszenarien genügen. In Bild 20 ist die Evolution der Zusammensetzung der Primärenergieversorgung angegeben. Alles hat man mit einem Körnchen Salz zu betrachten. Mit solchem Vorbehalt ist jedoch zu bemerken, daß der Anteil des Gases etwas zurückgeht. Der Anteil von Öl und synthetischem Brennstoff, etwa Methanol, bleibt konstant. Innerhalb dieses Anteils ersetzt jedoch nach dem Jahr 2000 solch synthetischer Brennstoff in steigendem Maße das Rohöl. In den Rechnungen wird autotherme Verflüssigung von Kohle als Quelle solchen synthetischen Brennstoffs angenommen. Entsprechend muß Kohle bereitgestellt werden. Zusammen mit den mehr traditionellen Nutzungen der Kohle – im Diagramm einfach als Kohle bezeichnet – ergibt sich damit ein gleichbleibender Anteil der Kohle am Primärenergiemarkt, während der traditionelle Anteil der Kohlenutzung zurückgeht. Entsprechend tritt die Kernenergie in die Elektrizitätserzeugung ein. Die Kernenergieanteile beinhalten einen nach dem Jahre 2000 rasch größer werdenden Brüteranteil. Der Anteil aller übrigen Primärenergieträger bleibt bis 2030 klein. Wie erläutert, könnte der Anteil der Sonnenenergie und der Fusion später signifikant werden. Die Aussagen gelten für das Low-Szenario. Es zeigt sich aber, daß das High-Szenario zu nicht ernsthaft anderen Aussagen führt, solange nur Anteile betrachtet werden. Noch mehr interessieren aber die absoluten Beiträge der verschiedenen Primärenergieträger im Jahre 2030. Sie sind im Bild 21 wiedergegeben. Die Szenarien weisen keineswegs eine sinkende Ölproduktion aus. Vielmehr sollen im High Szenario 7,39 TWa/a produziert werden und die Gasproduktion soll sich verdreifachen. Die Produktion von Kernenergie (1:normale Reaktoren, 2:Brüter) ergibt zusammengenommen 12,1 TWa/a, d. h. etwa 29 Prozent der Gesamtproduktion, schöpft aber ihr theoretisch mögliches Potential von vielleicht 17 TWa/a nicht aus. Vor allem aber springt das Ausmaß der Kohleproduktion von knapp 14 TWa/a oder etwa 15 Milliarden Tonnen SKE pro Jahr, ins Auge. Von ihm wird im nächsten Paragraphen noch ausführlicher zu sprechen sein. Der Anteil der Sonnenenergie liegt noch bei etwa 1 TWa/a. Er wurde etwas ad hoc in das MESSAGE-Programm eingeschrieben, da ein kostenoptimierendes Programm überhaupt nicht auf Sonnenenergie anspricht. Man hat festzustellen, daß es auch 2 TWa/a sein könnten, aber wohl kaum mehr. Die Zahlen für die Wasserkraft könnten ebenfalls vielleicht um 50 Prozent höher liegen. In beiden Fällen bleiben die Anteile aber relativ gesehen gering. Absolut genommen sind alle Anteile aber eigentlich unvorstellbar hoch.

Natürlich kann eine mögliche Reaktion darauf nun darin bestehen, den Energiebedarf unter die Werte des Low-Szenarios zu senken. Man nähert sich dann der Problematik des weiter oben angeführten 16 TW-Szenarios. Vor allem aber wird man anzugeben haben, in welcher Region der Bedarf und in welchen Einzelheiten er abzusenken sein würde.

Das hier durchgehaltene Szenarioverfahren hat den Vorteil, die in Rede stehenden Größenordnungen schonungslos auf den Tisch zu bringen. Solange jeweils ein nur nationaler Rahmen betrachtet wird, bleibt bei erschreckenden Aspekten welcher Art auch immer die Flucht in Importhoffnungen. Hier jedoch wurde die Welt als ganzes behandelt, und wenn Importhoffnungen für bestimmte Weltregionen aufkommen, muß gesagt werden, woher solche Importe kommen sollen. Bei Öl etwa gilt dann, daß die erhofften Förderungen irgendwo zustande kommen müssen. Wenn die Welt im ganzen betrachtet wird, kann man nationale Schwierigkeiten nicht mehr ins Imaginäre exportieren. Tatsächlich haben bei den Rechnungen für die sieben Weltregionen Ölexportfragen eine zentrale Rolle gespielt. Dabei zeigt es sich, daß die Region VI, der Mittlere Osten, der weitgehend, aber nicht vollständig, mit der OPEC



PRIMÄRENERGIE QUELLE	"HIGHI SZENARIO"		"LOW SZENARIO"		
	1975	2000	2000	2030	
ÖL	3,61	6,77	7,39	5,23	4,73
GAS	1,51	2,80	5,45	2,09	2,45
KOHLE	2,26	4,68	13,69	3,79	9,93
KERNENERGIE 1	0,50	3,40	4,12	2,70	1,63
KERNENERGIE 2	0	0,04	7,97	0,04	5,38
WASSERKRAFT	0,12	0,54	1,12	0,53	1,04
SONNE	0	0,21	1,14	0,17	0,48
ÜBRIGE	0,14	0,25	0,71	0,20	0,55
GESAMT	8,14	18,69	41,60	14,74	26,20

Bild 20

Bild 21

identisch ist, nach wie vor eine beherrschende Rolle spielt, auch bis zum Jahre 2030 hin. Es kann nicht das Interesse der Region VI sein, ihre Ölvorräte in sich entwertendes Geld umzusetzen, wie es der Fall wäre, wenn den Importwünschen einfach gefolgt würde. Vielmehr ist es klug, mit einer oberen Produktionsgrenze zu rechnen, die wir für die Region VI bei 33 Millionen Faß pro Tag angesetzt haben. Im Bild 22 sind die Verhältnisse für beide Szenarien angegeben. Es mag hilfreich sein, sich daran zu erinnern, daß 1 GW etwa 14.000 Faß/Tag entsprechen. Wie in der Figur ersichtlich, sind heute auch noch die Regionen IV (Südamerika) und V (Südostasien und Afrika) Exporteure. Sie versorgen die Region I (Nordamerika) und III (Westeuropa, Japan und Australien). Im Jahre 2030 gehen unsere Szenarien davon aus, daß die Region I trotz des absolut gestiegenen Bedarfs sich selbst versorgt und auf Importe also verzichtet, während die Region III ihre Importe absenkt. Insgesamt soll damit der Energiebedarf der Region V, wo die Not am größten ist, gedeckt werden. Es gehört nicht viel Phantasie dazu sich auszumalen, daß die Region I und III zufolge Kaufkraft doch mehr importieren. Das wird dann direkt den Entwicklungsländern der Region V fortgenommen.

Bei allem sind es in erster Linie die Produktionsniveaus und ihre mögliche Steigerungsrate, die begrenzend wirken. Die Ressourcen selbst werden jedenfalls bis zum Jahre 2030 nicht eigentlich erschöpft. Darüber gibt Bild 23 Auskunft. Es zeigt sich, daß bis zum Jahre 2030 69 Prozent des Öls der Kategorie I + II, aber nur 1 Prozent des Öls der Kategorie III verbraucht sein wird. Dazu hat man sich klarzumachen, daß Öl der Kategorie III weitgehend aus Ölschiefer und Teersänden besteht, das ist dann nicht mehr dasselbe wie Öl aus Saudi-Arabien. Bei Gas heißen die entsprechenden Zahlen 40 und 0 Prozent, bei Kohle 72 und 2 Prozent. Anders ausgedrückt: Von den insgesamt etwa 3000 Twa sind bis 2030 nur etwa 1000 Twa in Anspruch genommen worden. Freilich sind das die relativ billigen, relativ sauberen und die Umwelt nur begrenzt belastenden Ressourcen. Bei z. B. 40 Twa/a sind dann die noch vorhandenen 2000 Twa/a rein rechnerisch nach weiteren 50 Jahren verbraucht. Man mag das dahingehend zusammenfassen, daß nach heutigem Stand des Wissens und der heute erkennbaren Umstände in den nächsten 50 Jahren es vor allem Produktionsbegrenzungen sind, die die Situation bestimmen werden, in den dann folgenden 50 Jahren werden es aber Ressourcenbegrenzungen sein. Dann ist der Übergang zu Kern- und Sonnenenergie vollends zwingend.

Bei dieser Aussage wird auch deutlich, wie das hier geübte Szenarienvorgehen die zu erwartenden Ereignisse zeitlich ordnen kann und die dabei in Rede stehende Zeitskala deutlicher machen kann. Das ist es, was eingangs als ordnende Perspektive angesprochen war. Dennoch hat man sich vor Augen zu halten, daß es nur Szenarien und nicht Vorhersagen sind.

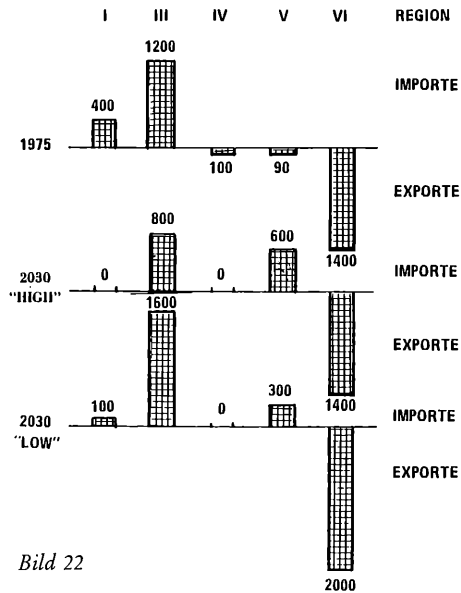


Bild 22

6. Kohle in Europa

In Bild 22 war bereits auf die sehr hohe Kohleförderung verwiesen worden, die sowohl im Low- wie im High-Szenario ausgewiesen ist. Bei den Rechnungen wurde das für alle Regionen im einzelnen ausgewiesen. Darüber hinaus wurde nicht nur Region III, sondern auch Westeuropa im einzelnen behandelt. Eine Richtlinie für Europa im Jahre 2030 mag 1400 Millionen Tonnen SKE sein. Das ist aus europäischer Kohleförderung heraus nicht zu decken. Jedenfalls aber heißt das, die heimische Kohleförderung bis an die Grenze des Möglichen zu treiben. Falls man idealistischerweise annimmt, daß Europa 500 Millionen Tonnen SKE fördern könnte, müßten dann immer noch 900 Millionen Tonnen von außen eingeführt werden. Im

KUMULATIVER VERBRAUCH AN FOSSILEN BRENNSTOFFEN 1975 BIS 2030 "HIGH" SZENARIO

	GESAMT VERFÜGBAR (TWa)	SUMME (TWa)	VERBRAUCHT (%)
ÜL			
KONVENTIONELL (KAT. I + II)	473	325	69
NICHT KONVENTIONELL (KAT. III)	365		1
ERDGAS			
KONVENTIONELL (KAT. I + II)	400	161	40
NICHT KONVENTIONELL	120	0	0
KOHLE			
KAT. I	563	402	72
KAT. II	1024	24	2

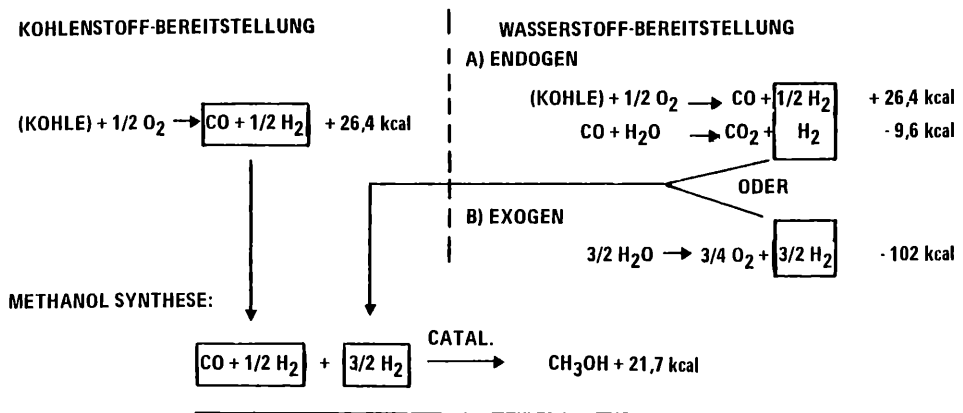
Bild 23

Prinzip ist es denkbar, solche Mengen in den USA zu fördern. Zu den in den USA benötigten etwa 2000 Millionen Tonnen SKE kämen dann 900 Millionen SKE für den Export nach Europa hinzu. So grob und ungenau diese Perspektiven sind, so lassen sie doch erkennen, daß nach dem Jahr 2000 ein weltweiter Run auf die Kohle zu erwarten ist und daß sie deshalb eine Mangelware werden wird, die sparsam und mit Umsicht einzusetzen ist; der Welthandel mit Kohle oder Kohlederivaten erheblich ansteigen wird. Heute liegt er bei 200 Millionen Tonnen, im Jahre 2000 schon könnte er bei 1000 Millionen Tonnen liegen; und auch minderwertige Kohle zum Einsatz wird kommen müssen, so daß in einem ganz neuen quantitativen und qualitativen Ausmaß, entsprechende Veredlungstechnologien zum Tragen kommen müssen.

Nach dem Jahr 2000 wird man deswegen gezwungen sein, Kohle dort einzusetzen, wo es zählt: beim Ölersatz. Weiter oben hatten wir auch gesehen, daß es vor allem flüssige Sekundärenergieträger sind, die den Hauptengpaß darstellen. Kohle sollte deswegen auch nicht so sehr in ein Brenngas überführt werden, sondern in einen flüssigen Kohlenwasserstoff. Methanol kommt dafür in Frage ebenso sehr wie höhere Kohlenwasserstoffe, für die Methanol durch Dehydrierung der Eingang sein kann. Jedenfalls aber ist es auf längere Sicht und in immer steigendem Maße nicht sinnvoll, Kohle zu verstromen, weil Elektrizität auch anders herstellbar ist, Kohlenwasserstoffe aber nicht.

Die heute vorliegende Situation ist dem entgegen. Die Kohle hat lebensgefährliche Absatzschwierigkeiten und nur Verstromung kann sie heute überleben lassen. Deswegen wird das auch eine Weile noch so bleiben müssen, ja vielleicht muß das Ausmaß der Kohleverstromung aus kurzfristigen Überlegungen heraus sogar noch zunehmen. Nach den am IIASA angestellten Überlegungen ist es aber grundfalsch, aus solchen kurzfristigen Überlegungen, deren Bedeutung deutlich vor dem Jahre 2000 liegt, einen langfristigen Trend zu machen, der sogar

WEGE DER METHANOLHERSTELLUNG



KOHLENSTOFF AUSNUTZUNG

$n:3,5 \div 4$

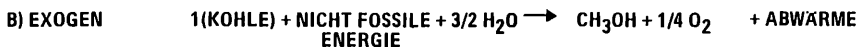
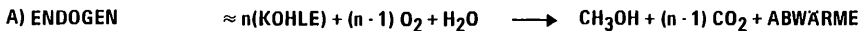


Bild 24

die Änderungen der Infrastruktur in die falsche Richtung laufen läßt. Wir hatten gesehen, daß Infrastrukturen sich nur ganz langsam ändern lassen. Umso mehr kommt es dann darauf an, nur langsam mögliche Änderungen von vornherein in die richtige Richtung laufen zu lassen, also eine Richtung, die vor allem auch nach dem Jahr 2000 richtig ist. Das freilich erfordert langfristige, ordnende Perspektiven, die zu erstellen hier ein Versuch unternommen worden ist.

So quantitativ schwer faßbar solche Tendenzen sind, so sehr ist es möglich, ganz konkrete technische Konsequenzen aufzuzeigen, die sich daraus ergeben. Bei den hier vorgestellten Überlegungen war von autothermen Verflüssigungsverfahren ausgegangen worden. Das bedeutet, wie das näher in Bild 24 ausgewiesen ist, daß etwa 3,5 bis 4 Kohlestoffatome benötigt werden, um davon schließlich 1 Kohlenstoffatom im Methanol unterzubringen. Der Kohlewirkungsgrad liegt dabei also bei 29 Prozent bzw. 25 Prozent. Bei der oben angesprochenen Knappheit an Kohlestoffatomen liegt es dann nahe, nach Verfahren Ausschau zu halten, die den Kohlenstoff fast quantitativ in den angestrebten flüssigen Kohlenwasserstoff überführen. In der Tat ist das möglich. Es gibt Verfahren, die einen Kohlewirkungsgrad von 0,8 und mehr zulassen. Wie im Bild 24 ausgewiesen, ist es dann freilich nötig, sehr große Mengen an Wasserstoff von außen zuzuführen. Man halte sich vor Augen, daß ziemlich genaue 50 Prozent des Energieinhaltes des Methanols vom Kohlestoffatom herkommen, die anderen 50 Prozent vom Wasserstoff her. Man kann also den Kohlenstoffverbrauch bei der Synthetisierung flüssiger Kohlenwasserstoffe gegenüber den heute üblichen autothermen Verfahren etwa um den Faktor 3 senken, falls man entsprechende Mengen an Wasserstoff bereitstellen kann. Unter solchen Umständen sollte man die Einkopplung von Kernenergie und gegebenenfalls auch von Sonnenenergie neu überdenken. Dazu kann viel gesagt werden und viele Verfahren sind denkbar. Nur ein Stichwort soll hier genannt werden: elektrolytischer Wasserstoff. Man halte sich vor Augen, daß bei Brütern und bei der Sonnenenergie die Versorgung mit Primärenergie nicht mehr ein ins Gewicht fallender Gesichtspunkt ist. Vielmehr sind es dann die Kapitalkosten, die ein leitender Gesichtspunkt werden. Wie bei anderen Gelegenheiten dieser Erörterungen auch ist es hier nicht der Platz, in die Erörterung größerer Einzelheiten einzutreten. Jedenfalls aber ist es vor allem Europa, das gehalten ist, solche Überlegungen anzustellen, denn dort bestehen auch bei der Versorgung mit Kohle auf längere Sicht die wohl größten Schwierigkeiten.

Das Thema Kohle kann nicht abgeschlossen werden, ohne über das CO₂-Problem wenigstens einige Worte zu sagen. Der natürliche Gehalt der Atmosphäre an CO₂ entspricht einem Kohlenstoffgehalt, wie er bei der Verbrennung von etwa 500 TWh Kohle umgesetzt wird. Wir hatten gesehen, daß bis zum Jahr 2030 etwa 1000 TWh auf ganz vorwiegend fossiler Basis erzeugt werden. Von diesen 1000 TWh CO₂-Erzeugung hat man zu erwarten, daß etwa 50 Prozent für längere Zeit, und das heißt wahrscheinlich Jahrhunderte, wenn nicht Jahrtausende, in der Atmosphäre verbleiben werden. Das führt dann bis zum Jahre 2030 dazu, daß man in etwa eine Verdopplung des CO₂-Gehaltes zu erwarten hat. Heute besteht unter den entsprechenden Fachleuten weitgehend Einigkeit darüber, daß man deswegen mit einer mittleren Erwärmung des Erdklimas von etwa 1,5° C zu rechnen hat. Diese Erwärmung wird nicht gleichmäßig sein. Vielmehr sind an den Polkappen Erwärmungen von etwa 10° C zu erwarten, was dann ein starkes Schmelzen des polaren Eises zur Folge haben würde. Der heutige Wissensstand erlaubt es nicht, die damit einhergehenden Konsequenzen im einzelnen abzuschätzen. Auch reicht der heutige Wissensstand nicht aus, solche Entwicklungen mit der Sicherheit vorherzusagen, die erforderlich wäre, um hier drastische Maßnahmen zu fordern. Statt dessen empfehlen die Experten [6], Energiestrategien vorzusehen, die flexibel sind und ein Ausweichen in dieser oder jener Richtung erlauben. Die oben erläuterte kluge Verwendung des Kohlenstoffatoms, bei der der Kohlenstoff fast quantitativ in flüssige Kohlenwasserstoffe überführt wird und die für Europa vor allem auch aus Versorgungsgründen erforderlich

ist, trägt dazu bei, solche unter globalen Perspektiven erforderliche Flexibilität zu erhöhen. Auch hierzu wäre sehr viel mehr zu sagen, ist aber an diesem Ort nicht möglich.

7. *Schlußbemerkung*

Das Anliegen dieser Überlegungen war es, auf das komplexe Wechselspiel kürzer- und längerfristiger Aspekte des Energieproblems hinzuweisen. Beide Aspekte müssen berücksichtigt werden. Dann lassen sich sehr wohl Lösungsmöglichkeiten aufzeigen. Die mit solchen Lösungsmöglichkeiten einhergehenden Schwierigkeiten sind nur zum kleinen Teil wirklich substantieller Art. Vor allem erfordern sie zu ihrer Überwindung Klugheit und Willenskraft, die sich in politische und wirtschaftliche Maßnahmen umsetzen.

Die hier vorgelegten Überlegungen gehen auf eine fünfjährige Studie des Energieprojektes des IIASA zurück, das in dem etwa 1000seitigen Buch „Energy in a Finite World“ seinen Niederschlag findet. An dem Projekt waren bzw. sind Wissenschaftler der USA, der UdSSR sowie 15 weiterer Länder aus Ost und West beteiligt.

Literatur:

1 MARCHETTI, C., NAKICENOVIC, N., PETERKA, V., FLECK, F.: The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model. Vol. 1: Phenomenological Part, Vol. 2: Theoretical Part, Executive Summary. AR-78-1A/B/C. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1978.

2 KEYFITZ, N.: Population of the World and its Regions 1975-2030. WP-77-7, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1977.

3 Distributed Energy Systems in California's Future: Interim Report Vol. I and Vol. II. Prepared for US Department of Energy, Assistant Secretary for Environment, Office of Technology Impacts, March 1978, HCP/P7405-01/02.

4 LEONTIEF, W. et al.: The Future of the

World Economy. A United Nations Study, Oxford University Press, New York, 1977.

5 HÄFELE, Wolf: Der Beitrag der Sonnenenergie zur Deckung des gegenwärtigen und zukünftigen Energiebedarfs. Vortrag gehalten am 25. Oktober 1977 beim BMWF/ASSA-Symposium „Sonnenenergieforschung“ anlässlich des österreichischen Nationalfeiertages. ASSA-Informationsdienst, Wien, 1978.

6 WILLIAMS, J. (ed): Carbon Dioxide, Climate and Society. Pergamon Press, IIASA Proceedings Series Environment, CP-78-5, 1978.

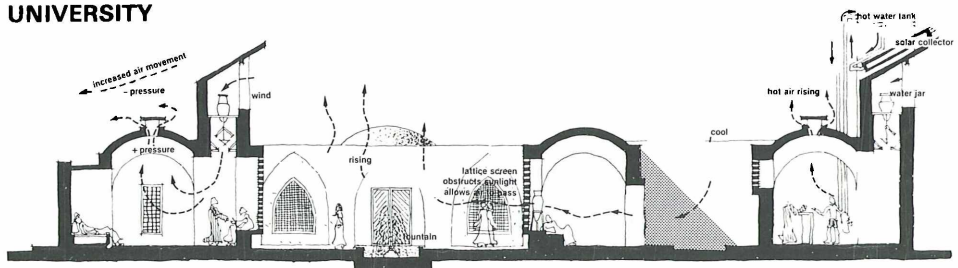
Anschrift des Verfassers:

*Prof. Dr. Wolf Häfele
Internationales Institut für
Angewandte Systemanalyse
A-2361 Laxenburg*



**THE
UNITED
NATIONS
UNIVERSITY**

WORLD'S FIRST INTEGRATED SOLAR VILLAGE STARTED IN ALGERIA



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Land \(vormals Blätter für Naturkunde und Naturschutz\)](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [1980_1-2](#)

Autor(en)/Author(s): Häfele Wolf

Artikel/Article: [IIASA International Institute for Applied Systems Analysis: Langfristige Strategien zur Energieversorgung 10-26](#)