

Mensch – Energie – Umwelt, Ansätze zu einer Gesamtanalyse

A. Voß, Jülich

Der Sicherstellung der Energieversorgung kommt wegen der Schlüsselrolle der Energie in der modernen Industriegesellschaft eine fundamentale Bedeutung für die Entwicklung unserer Gesellschaft zu. Neben die Forderung nach einer wirtschaftlichen Energieversorgung treten verstärkt ökologische und versorgungstechnische Aspekte, deren Bedeutung mit dem exponentiellen Wachstum des Energieverbrauchs ständig zunimmt. – Dieser Aufsatz beschreibt die ersten Ergebnisse einer umfassenden Studie zur Gesamtanalyse des Systems Mensch-Energie-Umwelt. Durch die Darstellung der dynamischen Wechselwirkungen dieses komplexen Systems sowie durch die Gegenüberstellung und Wertung der positiven und negativen Effekte eines wachsenden Energiebedarfs und seiner Deckung durch alternative Energieversorgungssysteme sollen die Grundlagen für adäquate Entscheidungshilfen geschaffen werden. Dabei werden die neu entwickelten Methoden der kybernetischen Simulation angewandt.

DK 577.4:614.7:620.9

Dr. A. Voß, Institut für Reaktorentwicklung der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich.

Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtungsweise

Energie wird heute als eines der wichtigsten Naturprodukte zur Sicherung des Lebensstandards der industriellen Gesellschaft angesehen. Nicht zuletzt deshalb nehmen die Probleme der Energieversorgung in der weltweiten wirtschaftspolitischen Diskussion eine zentrale Stellung ein. Ohne zu übertreiben läßt sich feststellen, daß die zukünftige Entwicklung und Evolution der menschlichen Gesellschaft im Sinne einer Steigerung der Lebensqualität im entscheidenden Maße davon abhängt, ob der zukünftige Energiebedarf durch ein ausrei-

chendes und kostengünstiges sowie den Aspekten des Umweltschutzes gerecht werdendes Energieangebot gedeckt werden kann.

Energieprobleme sind nicht isoliert lösbar, denn sie stehen mit den anderen Elementen des Systems Mensch-Energie-Umwelt in dynamischen Wechselwirkungen. Bevölkerungswachstum und industrielle Entwicklung sind z. B. die Ursachen für vermehrten Energiebedarf, der die Umwelt wiederum verändert. Voraussetzung für eine realistische Untersuchung der Energieprobleme ist deshalb eine ganzheitliche, d. h. eine alle relevanten Einflußgrößen des Systems Mensch-Energie-Umwelt erfassende Betrachtungsweise. Das Hauptziel einer derartigen Untersuchung muß deshalb darauf ausgerichtet sein, die Mechanismen der dynamischen Wechselwirkungen in dem komplexen System Mensch-Energie-Umwelt zu analysieren, um zu einem besseren Verständnis der Systemstruktur und des Systemverhaltens zu gelangen. Dieses Verständnis und die Kenntnis der Konsequenzen und Auswirkungen von externen Eingriffen in das System und von internen Veränderungen des Systems könnten die Grundlage effektiver Planungs- und Entscheidungshilfen sein. Unter dieses gene-

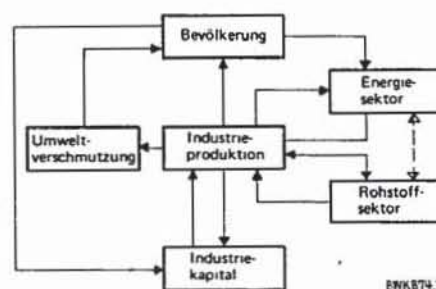


Bild 1: Grundstruktur des Energiemodells.

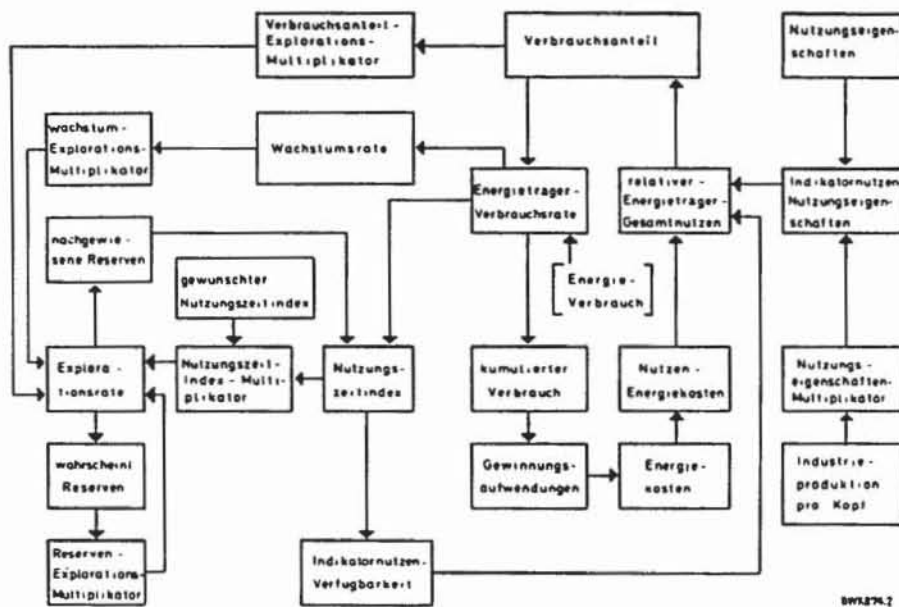


Bild 2: Loopstruktur des Energiesektors.

relle Ziel fällt die Untersuchung von Fragen nach den dynamischen Eigenschaften und den entscheidenden Zeitkonstanten des Systems, nach den sensiblen Parametern, nach den kritischen Zuständen und den notwendigen technischen Innovationen zu ihrer Vermeidung, u. a.

Vordergründiges Ziel einer derartigen Untersuchung ist also nicht die Prognose des künftigen Energiebedarfs, der Umweltbelastung oder der industriellen Entwicklung.

Aus der Vielzahl der Probleme, die im Zusammenhang mit der Energienutzung stehen, waren die langfristigen, globalen Probleme Gegenstand einer ersten Untersuchung, deren methodischer Ansatz und deren Ergebnisse im folgenden genauer beschrieben werden.

den Ursache-Wirkungs-Beziehungen der miteinander vermaschten Regelkreise werden hier als gekoppelte Differenzgleichungen dargestellt, die auf dem Rechner approximativ als Differenzgleichungen gelöst werden.

Das mit dieser Methode erstellte Simulationsmodell wird zum besseren Verständnis der Ergebnisse kurz beschrieben: Der Energiebedarf läßt sich zurückführen auf das Verlangen der Menschen, durch den Einsatz von Energie ihre natürlichen Lebensbedrohungen wie Hunger und Kälte zu überwinden und mit Hilfe von Energie zu einer menschenwürdigeren Gestaltung ihrer Umgebung und Lebensbedingungen zu gelangen. Der Energiebedarf wird damit also durch die Bevölkerungszahl und den spezifischen Energiebedarf determiniert,

der, wie statistische Untersuchungen zeigen, eng gekoppelt ist an den wirtschaftlichen und industriellen Entwicklungsstand einer Volkswirtschaft. Die Beschreibung der Ursachen für die Nachfrage nach Energie ist aber nur ein Teil einer umfassenden Analyse. Ein anderer, ebenso wichtiger Teil ist die Erfassung und Untersuchung der Auswirkungen der Energienutzung. Dazu gehören z. B. die Erschöpfung der Energiereserven und die Veränderung der natürlichen Umwelt, zwei Effekte, die wiederum auf den Energieverbrauch zurückwirken. Bild 1 zeigt die Grundstruktur des Modells.

Neben den beiden Hauptbestimmungsgrößen des Energiebedarfs (Bevölkerung und Industrieproduktion) enthält das Modell auch die grundlegenden Beziehungen zwischen Energieverbrauch, Energiereserven, industrieller Produktion, Rohstoffverbrauch und Umweltbeeinflussung. Die Pfeile in Bild 1 geben die Richtung der Beeinflussung an.

Auch diese Verknüpfung der Makrogrößen zeigt deutlich das Charakteristikum von komplexen Systemen, ihre Rückkopplungsstruktur.

Das Gesamtmodell läßt sich in fünf Sektoren einteilen. Der *Bevölkerungssektor* beschreibt die Veränderung der Bevölkerungszahl über die Geburten und Sterbefälle, wobei die Geburten- und Sterbeziffern dynamisch als Funktion des Lebensstandards und der Umweltsituation beschrieben werden. Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Produktion und Investition, industriellem Rohstoff- und Energieverbrauch und den notwendigen Kapitalkaufwendungen zur Rohstoff- und Energiegewinnung sind im *Industriesektor* formuliert. Der *Umweltsektor* beschreibt die ökologischen Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten und gestattet die Simulation von Maßnahmen zur Verminderung

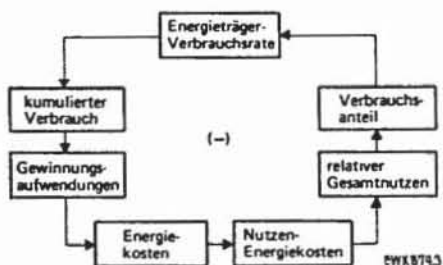


Bild 3: Energiekostenloop.

Simulationsmodell

Ein Modellansatz, der den Zielsetzungen einer ganzheitlichen Betrachtungsweise gerecht werden will, muß das vermaschte Beziehungsgefüge des Systems Mensch-Energie-Umwelt dynamisch darstellen können. Besonders geeignet dazu erschien ein Simulationsmodell nach der von J. W. Forrester [1; 2; 3] entwickelten Methode, das „System Dynamic“. Die Methode erlaubt, die Struktur und das Verhalten von komplexen Systemen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Rückkopplungsstruktur zu analysieren und zu simulieren. Die in Rückkopplungs-Systemen bestehen-

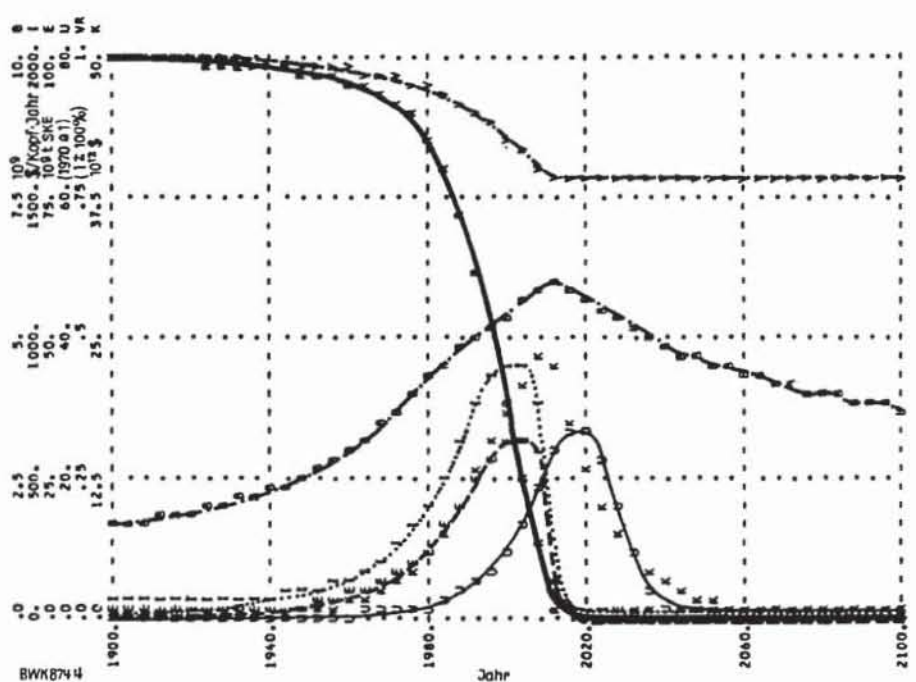


Bild 4: Standardlauf.

- Bevölkerung (B)¹⁾
- Industrieproduktion pro Kopf (I)
- Rohstoffreserven (R)
- Energiereserven (V)
- Umweltverschmutzung (U)
- Energieverbrauch (E)

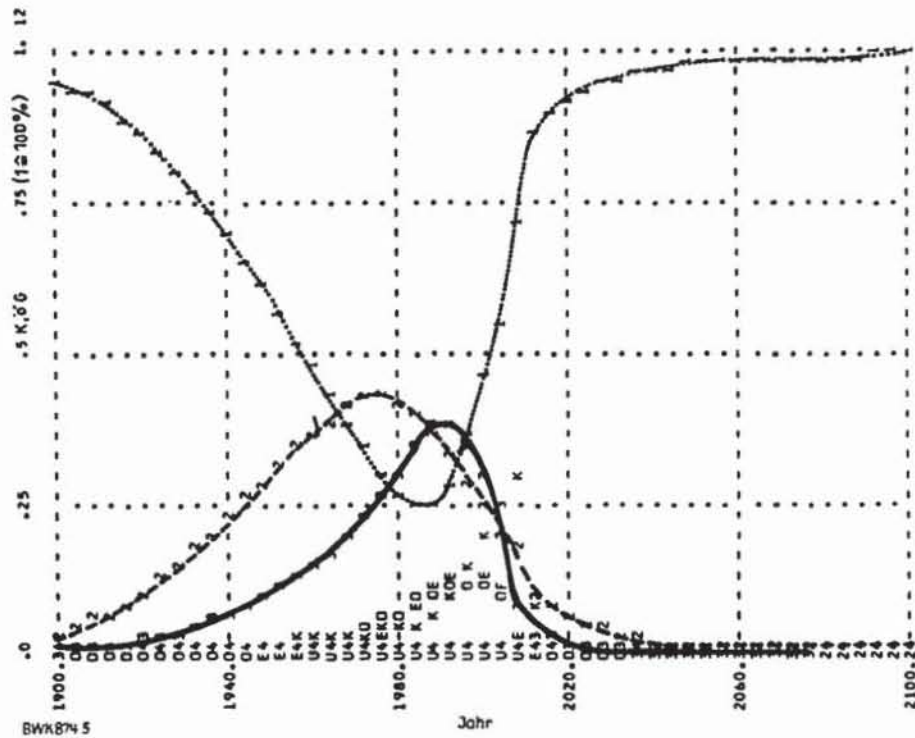


Bild 5: Entwicklung des Energiesektors im Standardlauf.

..... Kohleanteil (K)
 - - - Erdölanteil (O)
 — Erdgasanteil (G)

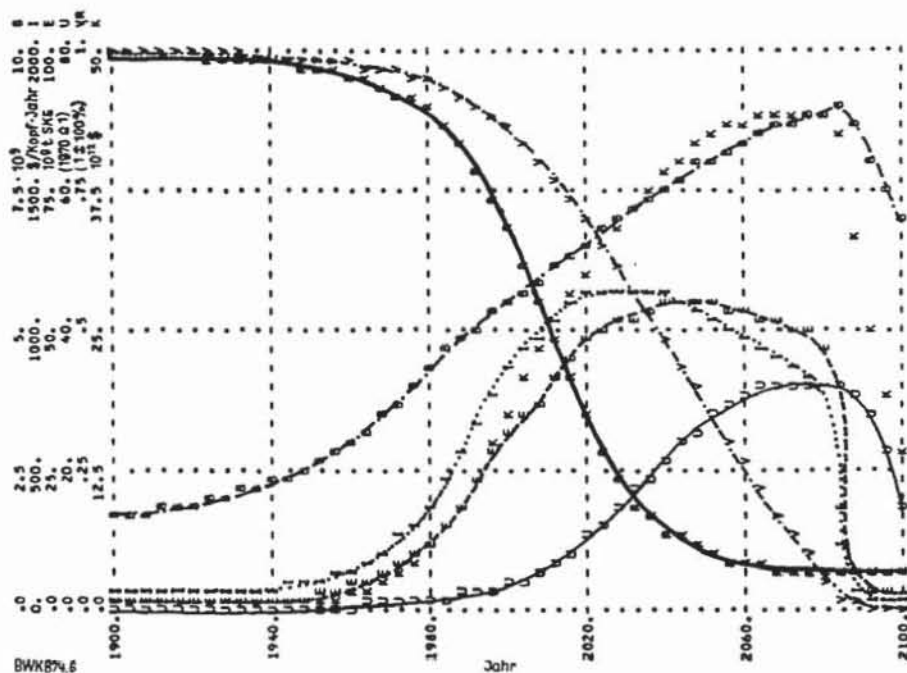


Bild 6: Auswirkungen der Rohstoffwiederrückführung.

..... Bevölkerung (B) ———— Energiereserven (V)
 ———— Industrieproduktion pro Kopf (I) ———— Umweltverschmutzung (U)
 ———— Rohstoffreserven (R) ———— Energieverbrauch (E)

der Umweltbelastung. Die Auswirkungen des Verbrauches nicht regenerierbarer Rohstoffe werden im Rohstoffsektor dargestellt. Er ist so aufgebaut, daß die Rohstoffrecycling mit ihren Auswirkungen explizit untersucht werden kann. Der Energiesektor soll wegen seiner zentralen Bedeutung etwas genauer beschrieben werden.

Wichtigste Aufgabe des Energiesektors ist die Darstellung der Substitutionsprozesse zwischen den Primärenergieträgern Kohle, Erdöl, Erdgas und Kernenergie. Zur Darstellung der Dynamik der Substitutionsvor-

gänge wird ein Nutzwertansatz mit Verzögerungseffekt gewählt. Die Probleme bei der modellmäßigen Darstellung von Substitutionsmechanismen liegen begründet in den vielen unterschiedlichen Faktoren, die eine Substitution bewirken. Diese zum Teil subjektiven Determinanten und Antriebskräfte einer Substitution sind einer quantitativen Beschreibung oft nur schwer zugänglich. Es erscheint aber nicht vertretbar, sie deshalb aus den Betrachtungen auszuklammern und ihre Wirkungen und Einflüsse nur wegen der Problematik ihrer Quantifizierung nicht zu erfassen.

In Tabelle 1 sind einige Faktoren aufgeführt, die bei der Substitution zwischen den Primärenergieträgern eine Rolle spielen.

Für den verwendeten Modellansatz wur-

Tabelle 1: Einflußfaktoren bei der Auswahl von Energieträgern.

Energiekosten	Gewinnungs- und Transportkosten der Primärenergieträger, Kapitalkosten für die Energiewandlung, Betriebskosten, Lagerkosten, Verteilungskosten
Verfügbarkeit	Vorräte an Primärenergieträgern, Importabhängigkeit
Nutzungseigenschaften	Bequemlichkeit, Sauberkeit, Lagerhaltung, Betriebssicherheit, Verbrennungstemperatur
politische Maßnahmen	Besteuerung, Subventionierung

den die in Tabelle 1 aufgeführten Einflußfaktoren zu drei Indikatoren (Energiekosten, Verfügbarkeit und Nutzungseigenschaften) zusammengefaßt. Diese Indikatoren, die zum Handhaben der Einflußgrößen dienen, müssen bewertet und vergleichbar gemacht werden. Dies geschieht über eine Nutzwertfunktion, die einer bestimmten Indikatoreausprägung einen Nutzwert zuweist. Hat man mit Hilfe der Nutzwertfunktion die Indikatoreausprägung bewertet und vergleichbar gemacht, so sind die drei Indikatoren im Hinblick auf ihre Bedeutung für den Substitutionsprozeß zu beurteilen; dazu dienen zeitvariable Gewichtungsfaktoren. Die gewichteten Indikatornutzwerte eines jeden Primärenergieträgers werden zum Gesamtnutzen dieses Energieträgers zusammengefaßt. Die relativen, energieträgerspezifischen Gesamtnutzenwerte bestimmen über einen Verzögerungsansatz der Form

$$\tau \frac{d\bar{m}_i}{dt} + \bar{m}_i = \frac{G N_i(t)}{\sum_i G N_i(t)}$$

mit

\bar{m}_i Anteil des Energieträgers i am Gesamtenergieverbrauch
 τ durchschnittliche Substitutionszeit
 $GN_i(t)$ Gesamtnutzen des Energieträgers i ,

den Anteil eines Primärenergieträgers am Gesamtenergieverbrauch.

Die Loopstruktur des Energiesektors, Bild 2, enthält diesen Substitutionsansatz. Außerdem beschreibt er noch den Mechanismus der Exploration, der wahrscheinliche Energiereserven in nachgewiesene Reserven überführt.

Die in Bild 2 dargestellte Modellstruktur gilt für jeden Primärenergieträger. Die Energiekosten sind in diesem Modellansatz ein entscheidender Faktor für die Ermittlung des Verbrauchsanteils des betreffenden Primärenergieträgers. Unter Energiekosten

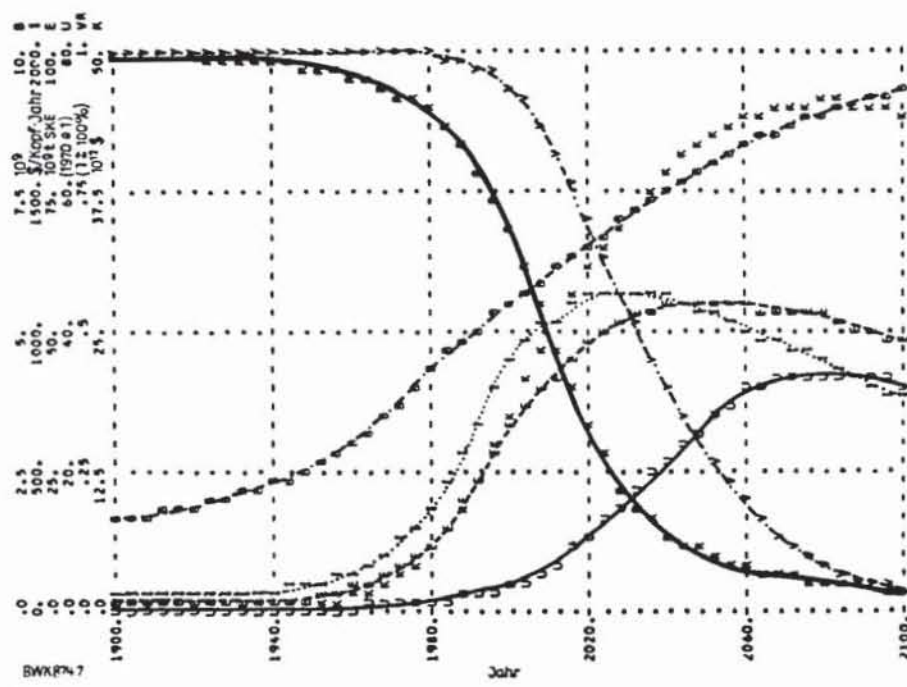


Bild 7: Systemverhalten bei Einsatz von Reaktoren der ersten Generation.
 - - - - - Bevölkerung (B) - - - - - Energiereserven (V)
 Industrieproduktion pro Kopf (I) - - - - - Umweltverschmutzung (U)
 ——— Rohstoffreserven (R) - - - - - Energieverbrauch (E)

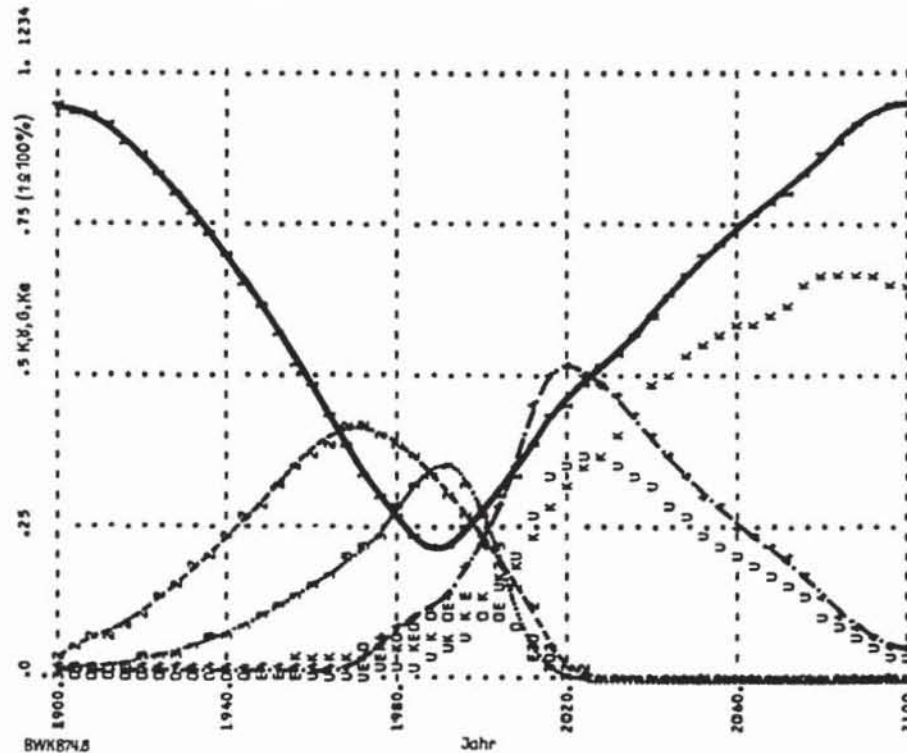


Bild 8: Entwicklung der Energieversorgungsstruktur beim Einsatz von Reaktoren der ersten Generation.
 ——— Kohleanteil (K) - - - - - Erdölanteil (O)
 - - - - - Kernenergieanteil (Ke) Erdgasanteil (G)

werden dabei alle Kosten verstanden, die bei der Nutzung eines Primärenergieträgers anfallen, also neben den Gewinnungs- und Transportkosten auch die Umwandlungskosten in eine andere Energieform. Beeinflusst werden die Energiekosten hauptsächlich

Tabelle 2: Unterer und oberer Schätzwert für die nutzbaren Vorräte der fossilen Energieträger.

Primärenergieträger	höchstmöglicher nutzbarer Vorrat in 10 ⁹ t SKE		Prozentualer Anteil	
	unterer Schätzwert	oberer Schätzwert	%	%
Kohle	4300	7600	88	90
Erdöl	320	480	6,5	5,5
Erdgas	265	390	5,5	4,5
Gesamt	4885	8470	100	100

Tabelle 3: Uranreserven im Preisbereich bis 1000 \$/kg U.

Preisbereich	nutzbare Vorräte 10 ⁶ t U	Energieäquivalent 10 ¹² t SKE
< 25 ± \$/kg U	1,45	4
26 bis 40 ± \$/kg U	1,1	3
40 bis 100 ± \$/kg U	2,95	8,1
100 bis 200 ± \$/kg U	15	41,4
200 bis 1000 ± \$/kg U 53*)		146,2
Σ Gesamt	73,5	202,7

*) einschließlich Vorkommen im Meerwasser

lich von den Gewinnaufwendungen, Bild 3, die im Modell als Funktion des kumulierten Verbrauchs, oder was gleich bedeutend ist, als Funktion des Primärenergiebestandes ermittelt werden.

Die in den Modellrechnungen benutzten Schätzwerte für die nutzbaren Vorräte an fossilen Energieträgern und an Uran sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengestellt.

Ergebnisse einiger Simulationsstrategien

Einige mit dem im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Modellansatz gewonnene Ergebnisse werden nun erläutert. Die Aussagen beschränken sich dabei gemäß den Zielsetzungen auf die weltweiten, langfristigen Strukturwandlungen und Entwicklungen der zukünftigen Energieversorgung.

Unterstellt man, daß die in der Vergangenheit gültigen Beziehungen und Strukturen auch in der Zukunft dominant sind, so läßt sich das Systemverhalten quasi unter Status-quo-Bedingungen untersuchen, Bild 4. Die wichtigsten Status-quo-Bedingungen lauten

- 1) keine Maßnahmen zur Beschränkung des Bevölkerungswachstums,
- 2) begrenzte Rohstoffreserven,
- 3) keine Rohstoffwiederverwendung,
- 4) kein Einsatz der Kernenergie,
- 5) keine Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltverschmutzung.

Das Systemverhalten ist durch die Fortsetzung des exponentiellen Wachstums der Bevölkerung, der Industrieproduktion und des Energieverbrauchs bis in das nächste Jahrhundert gekennzeichnet.

Die Krise, sichtbar am starken Abfall der Industrieproduktion je Kopf und am Rückgang der Bevölkerung, hat ihre Ursache in der Erschöpfung der Rohstoffreserven.

Die Energiereserven bilden keinen begrenzenden Faktor, da nur 20% der anfänglichen Reserven verbraucht werden. Dieses scheinbar beruhigende Resultat täuscht, denn die Struktur der Energieversorgung wird sich grundlegend verändern, ähnlich wie sie sich zwischen 1900 und 1970 wandelte; nur wird für diese durch die Erschöpfung der Erdöl- und Erdgasvorräte erzwungenen Strukturveränderungen nur etwa die Hälfte der Zeit (30 Jahre) zur Verfügung stehen, Bild 5. Die Kohle würde um die Jahrhundertwende eine neue Renaissance erleben.

Selbst wenn man annähme, daß die Ent-

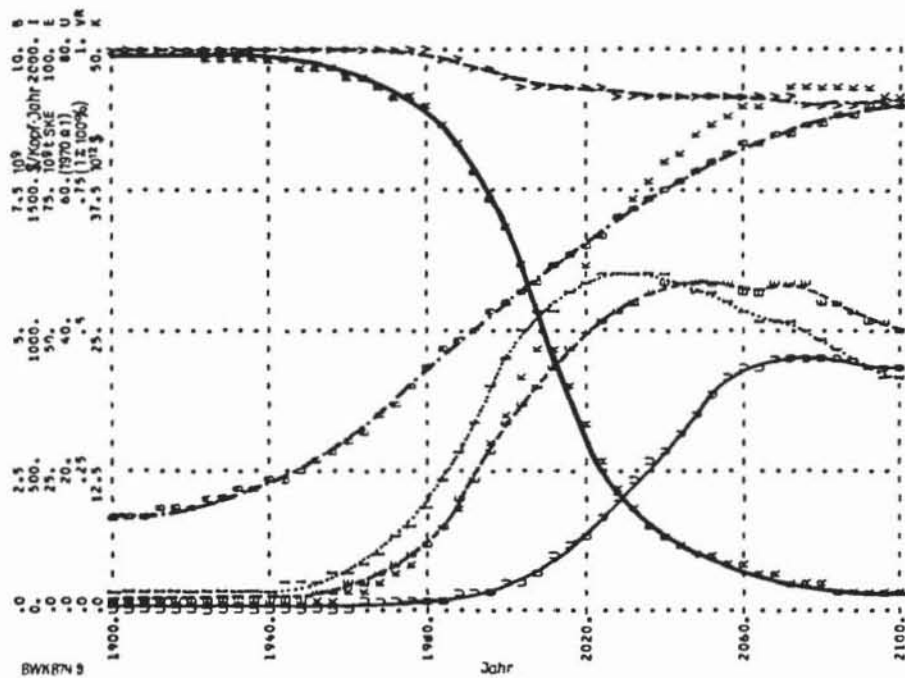


Bild 9: Auswirkungen des Einsatzes der fortgeschrittenen Reaktoren.

- - - - - Bevölkerung (B) - - - - - Energiereserven (V)
 - - - - - Industrieproduktion pro Kopf (I) - - - - - Umweltverschmutzung (U)
 - - - - - Rohstoffreserven (R) - - - - - Energieverbrauch (E)

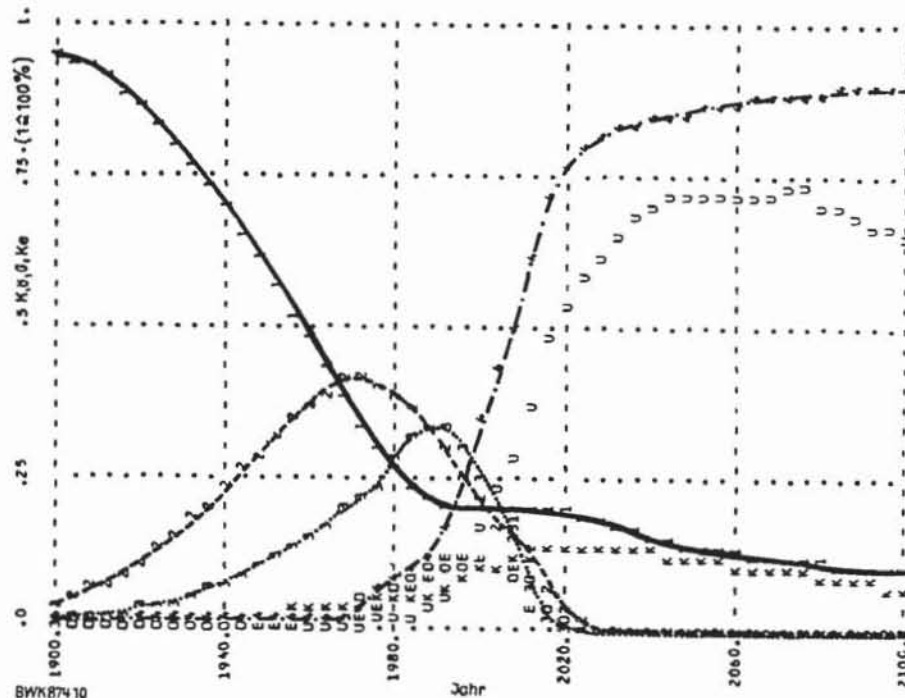


Bild 10: Energieversorgungsstruktur bei Einsatz der fortgeschrittenen Reaktoren.

- - - - - Kohleanteil (K) - - - - - Erdölanteil (Ö)
 - - - - - Kernenergieanteil (Ke) - - - - - Erdgasanteil (G)

deckung neuer Lagerstätten eine Verdoppelung der Rohstoffreserven ergäbe, kann die Rohstoffkrise nicht vermieden werden. Bessere Resultate läßt die Rohstoffwiederverwendung erwarten, die außerdem einen Beitrag zur Lösung des Umweltproblems liefert. Führt man nun die Rohstoffwiederverwendung nach marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten ein, so verhält sich das System wie in *Bild 6* dargestellt.

Die auffälligste Auswirkung dieser Strategie ist das stetige Anwachsen der Bevölkerung bis zum Jahre 2080 auf über $9 \cdot 10^9$ Menschen. Trotz der großen Be-

völkerungszahl kann der materielle Lebensstandard, repräsentiert durch eine hohe Industrieproduktion pro Kopf, lange Zeit auf einem hohen Niveau gehalten werden. Die Folge dieses Lebensstandards ist die Erschöpfung der Energiereserven, die damit zum begrenzenden Faktor und Auslöser der Krise wird.

Kann der Einsatz der Kernenergie diese Entwicklung vermeiden? Wir untersuchen zunächst nur den Einsatz der Leichtwasserreaktoren (LWR; erste Reaktorgeneration) bei der Verwendung der Kernenergie, die ab 1970 zur Energieerzeugung mit herange-

zogen werden. *Bild 7* und *8* zeigen die Resultate dieser Strategie. Die Energiereserven nehmen infolge des schlechten Konversionsfaktors der LWR schnell ab. Das Systemverhalten kann langfristig nicht verbessert werden. Der Anteil der Kernenergie nimmt nach ihrer Einführung im Jahre 1970 schnell zu. Diese Wachstumsphase kann jedoch wegen der Erschöpfung der Kernbrennstoffreserven nicht lange anhalten. Die Kohle gewinnt wegen der Erschöpfung der Kernbrennstoffe und ihren großen Reserven, die durch den Einsatz der Kernenergie geschont wurden, wieder an Bedeutung.

Das Systemverhalten zeigt deutlich, daß der Einsatz der fortgeschrittenen Reaktoren mit ihrem geringen spezifischen Uranverbrauch notwendig ist. Außerdem erlaubt erst der Einsatz der fortgeschrittenen Reaktoren, Schnelle Brüter und Hochtemperaturreaktoren, eine nahezu vollständige Substitution der fossilen Energieträger. Die Einführung der fortgeschrittenen Reaktoren erfolgt schrittweise, beginnend im Jahre 1985. Die Auswirkungen des Einsatzes der fortgeschrittenen Reaktoren zeigt *Bild 9*: Am Ende des Betrachtungszeitraums sind nur 10% der anfänglichen Energiereserven verbraucht. War in allen vorangegangenen Strategien auch beim Einsatz der ersten Generation von Kernreaktoren die Entwicklung durch einen im nächsten Jahrhundert wieder ansteigenden Anteil der Kohle an der Energieversorgung gekennzeichnet, so geht jetzt der Kohleanteil weiter zurück, *Bild 10*. Die Kernenergie wird zum Hauptenergieträger.

Die Gesamtentwicklung, *Bild 9*, kann aber trotz ausreichender Energieversorgung nicht als zufriedenstellend angesehen werden. Die Industrieproduktion pro Kopf erreicht keinen stationären Zustand. Sie fällt nach Erreichen eines Maximalwertes, der etwa 5 mal höher als der heutige Weltdurchschnitt ist, wieder ab. Verursacht wird diese Entwicklung durch steigende Aufwendungen für die Rohstoffsicherung. Auch die Wiederverwendung der Rohstoffe kann keine beliebig großen Rohstoffmengen zur Verfügung stellen.

Läßt sich langfristig ein stationärer Zustand erreichen, gekennzeichnet durch ein angemessenes konstantes Niveau des Lebensstandards? Neben dem Einsatz wirkungsvoller Rohstoffrückführtechniken und der unverzüglichen Einführung der Kernenergie wird im folgenden Simulationslauf untersucht, ob durch zusätzliche Maßnahme, wie

- a) die Verbreiterung der Rohstoffbasis durch die Schonung der fossilen Energieträger,
- b) die Stabilisierung der Weltbevölkerung,

ein quasistationärer Zustand erreichbar ist. Den Erfolg dieser Maßnahmen zeigt *Bild 11*. Der erreichbare stationäre Zustand ist durch eine Bevölkerungszahl von etwa $8 \cdot 10^9$ Menschen und einen materiellen Lebensstandard gekennzeichnet, der etwa sechsmal so hoch wie der heutige Welt-durchschnitt ist. Die erwähnten Maßnahmen sind zwar im Modell leicht simulierbar,

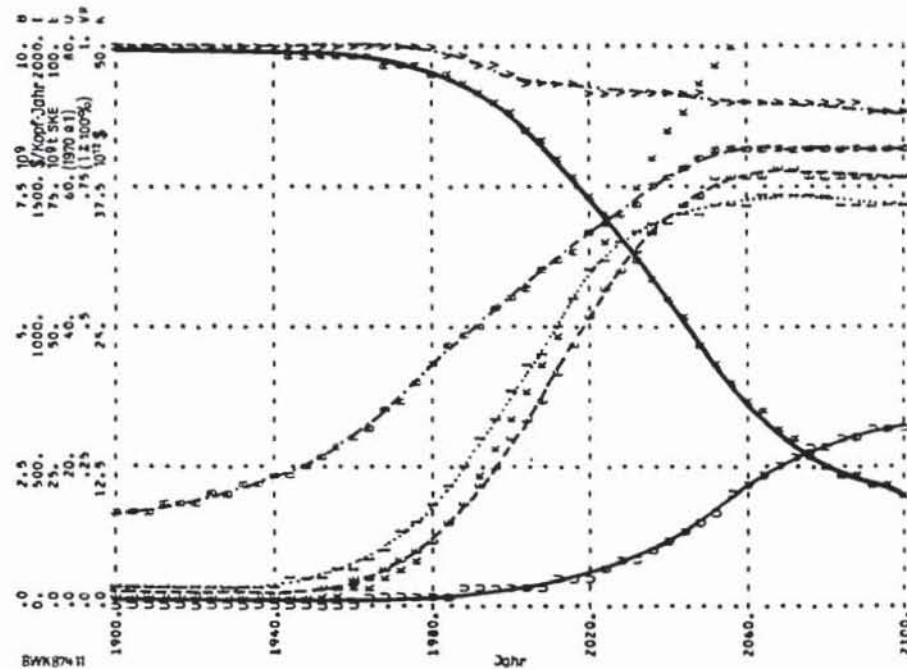


Bild 11: Stabilisierung der Weltbevölkerung im Jahre 2050.

..... Bevölkerung (B) ———— Energiereserven (V)
 Industrieproduktion pro Kopf (I) ———— Umweltverschmutzung (U)
 ———— Rohstoffreserven (R) ———— Energieverbrauch (E)

doch in der Realität werden sie nur mit größten Anstrengungen zu verwirklichen sein.

Faßt man die für die Energieplanung wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen, so ergeben sich für die Zukunft folgende Aspekte:

- 1) Die materiellen und ökologischen Wachstumsgrenzen (Energie- und Rohstoffverknappung, Umweltverschmutzung) der Erde sind bei weiter anhaltendem exponentiellem Wachstum greifbar nahe.
- 2) Die Bedeutung von Erdöl und Erdgas als Energieträger wird auch bei optimistischen Annahmen über ihre nutzbaren Vorräte nach der Jahrhundertwende zurückgehen.
- 3) Mit der vollen Nutzbarmachung der Kernenergie stehen langfristig ausreichende Energiereserven zur Verfügung.
- 4) Die erste Generation der Kernreaktoren (Leichtwasserreaktoren) kann wegen ihres hohen spezifischen Uranverbrauchs nur eine Übergangslösung darstellen.
- 5) Nur der rechtzeitige Einsatz der fortschrittlichen Reaktortypen kann schwerwiegende Umstrukturierungsprobleme bei der Energieversorgung vermeiden.
- 6) Die unverzügerte Nutzung der Kernenergie wirkt stabilisierend auf das Energiepreinsniveau.
- 7) Die notwendige Erweiterung der Rohstoffbasis ist durch eine verminderte Nutzung der fossilen Energieträger für energetische Zwecke möglich. Dies erfordert jedoch den forcierten Einsatz der Kernenergie.
- 8) Die Rolle der Kernenergie kann auf abschbare Zeit nicht von anderen Energieträgern übernommen werden, da entweder ihr Potential zu klein ist (Wasser-

kraft, geothermische Energie, Gezeitenenergie) oder ihre Nutzungskosten zu hoch sind (Sonnenenergie).

- 9) Allein die Technik und ihre zukünftige Weiterentwicklung kann die notwendigen materiellen Voraussetzungen und Hilfsmittel für einen Übergang des Weltwirtschaftssystems in einen quasi-stationären Zustand mit einem hohen Niveau des materiellen Lebensstandards schaffen.

Weiterführende Arbeiten

Der beschriebene Modellansatz und die Simulationsergebnisse sind die ersten Resultate einer umfassenden Untersuchung zur Entwicklung neuer Methoden für die Energieplanung. Der hier beschriebene Ansatz ist in vielen Punkten noch unzulänglich und entwicklungsbedürftig. Die Entwicklung der Untersuchungen wird im wesentlichen durch eine weitergehende Aufgliederung der Einflußgrößen gekennzeichnet sein. Zur Zeit wird an folgenden Weiterentwicklungen des Modellansatzes gearbeitet:

- Differenzierung des Umweltsektors, d. h. Erstellung von Modellen zur Analyse der durch die Energieumwandlung hervorgerufenen und beeinflussten Schadstoffkreisläufe sowie eines Modells zur Beurteilung ihrer synergistischen Wirkungen. In diesen Problemkreis eingeschlossen gehört auch eine eingehende Untersuchung der Auswirkungen der Energienutzung auf den Wärmehaushalt der Erde und der sich dadurch ergebenden Grenzen des Energieverbrauchs.
- Regionalisierung des Modelleinsatzes zur Untersuchung der spezifischen Energieprobleme der BRD. BWK 874

Schrifttum

- [1] Forrester, J. W.: Industrial Dynamics. M. I. T. Press, Cambridge Mass. (USA) 1969.
- [2] Forrester, J. W.: World Dynamics. Wright-Allen Press, Inc. Cambridge Mass. (USA) 1971.
- [3] Niehaus, F., Rath-Nagel, St., u. Voß, A.: Einführung in die systemtechnische Simulationemethode System Dynamics, KFA-Jülich, Jul-849, 1972.

Inbetriebnahme neuer Anlagen im 3. Quartal 1973¹⁾

A) Wärmekraftwerke

Land u. Namen der Kraftwerke	Leistungszuwachs in MW	Land u. Namen der Kraftwerke	Leistungszuwachs in MW
BR Deutschland		Österreich	
Karlsruhe KNK (a) 1 x 20	206	Donaustadt I 1 x 160	
Gasturbinen (4 Einheiten)		Theiss, Gasturbine 1 x 70	
Niederlande		(a) Kernenergie	
PZEM-Centrale		(b) Kernkraftwerk,	
Borssele (b) 1 x 365		Nennleistung 477 MW.	

B) Wasserkraftwerke

Land und Namen der Kraftwerke	Leistung MW	Stromerzeugung (a) GWh
Frankreich		
Avignon-Sauveterre (Block 3)	90	330
Golfech (Block 1)	46	72
Italien		
Lago Delio	121,5	121,5
Österreich		
Hirzbachbeileitung	-	25

(a) Zuwachs der Erzeugungsmöglichkeit im Regeljahr.

¹⁾ Aus: Quartalsbericht IV/1973 der U.C.P.T.E. (Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transports elektrischer Energie). BWK 5207