



KFA

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG

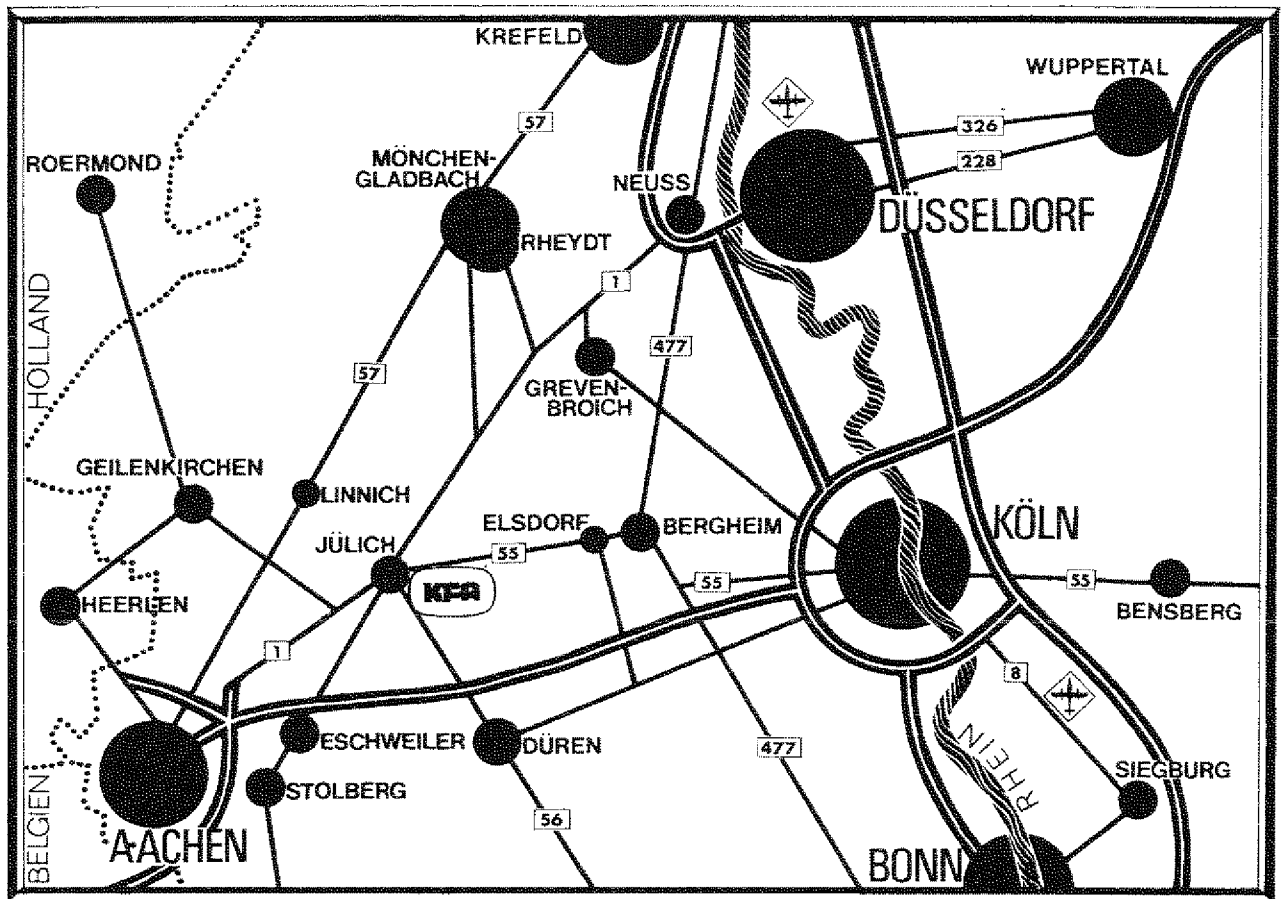
Arbeitsseminar

Energiemodelle für die Bundesrepublik Deutschland

Dieses Seminar wurde auf Anregung und in
Abstimmung mit dem Bundesministerium für
Forschung und Technologie von der
Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung der
Kernforschungsanlage Jülich GmbH durchgeführt
vom 30. - 31. Januar 1975

Jül - Conf - 15
April 1975

Als Manuskript gedruckt



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich Jül - Conf - 15

Dok: Energy Model - Conference
 Conference - Energy Model
 Energy Model - Federal Republic Germany

Im Tausch zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
 Jülich, Bundesrepublik Deutschland

Arbeitsseminar

Energiemodelle für die Bundesrepublik Deutschland

**Dieses Seminar wurde auf Anregung und in
Abstimmung mit dem Bundesministerium für
Forschung und Technologie von der
Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung der
Kernforschungsanlage Jülich GmbH durchgeführt
vom 30. - 31. Januar 1975**

**Wissenschaftliche Vorbereitung
Chr. König**

Inhaltsverzeichnis

König, Chr.		
Vorwort	1	
Beckurts, K.H.		
Begrüßung	5	
Däunert, U.		
Begrüßung	9	
Burchard, H.J.		
Energiemodelle und Wirtschaftsordnung	11	
Diskussion	21	
Hoffman, K.C.		
A Systems Approach to Energy Resource		
Planning	27	
Diskussion	41	
Bossel, H.		
Dialogprogramm zur Entwicklung und Über-		
prüfung von Langfristkonzepten für das		
Energieversorgungssystem und Anwendung auf		
die Bundesrepublik Deutschland	45	
Diskussion	95	
Voss, A.		
Dynamische Energiemodelle als Planungs- und		
Entscheidungshilfe dargestellt an einem		
Energiemodell für die BRD	101	
Diskussion	129	
Bürstenbinder, J.		
Simulationsmodell für die Entwicklung des		
Energiesektors unter Berücksichtigung von		
Umweltproblemen und Kostengesichtspunkten ...	135	
Diskussion	157	
Conrad, K.		
Energieprojektionen mit einem ökonomischen		
Makro- und Input-Output-Modell für die		
Bundesrepublik Deutschland	161	
Diskussion	187	
Geißler, E.		
Künftiger Bedarf an elektrischer Energie in		
Abhängigkeit von wirtschafts- und gesell-		
schaftspolitischen Entwicklungen und dessen		
Deckung, insbesondere mit Hilfe der Kernenergie .	191	
Diskussion	201	
Döllekes, H.P.		
Ein multisektorales Energie- und Umwelt-		
planungsmodell	207	
Diskussion	225	
Charpentier, J.P.		
Overview on Techniques and Models used in		
the Energy Field	229	
Diskussion	257	
Pestel, R.		
Arbeitskreis 1: Einbettung von Energie-		
modellen in Gesamtmodelle und die Kopplung		
nationaler und globaler Modelle	261	
Quante, H.		
Arbeitskreis 2: Anforderungen an Energie-		
modelle aus der Sicht des Energieplaners		
in Politik und Wirtschaft	263	
Voss, A.		
Methodische Probleme bei der Erstellung		
von Energiemodellen	267	
Bohn, Th.		
Schlußwort	271	



P R E F A C E

Looking for possibilities which seem suitable to guarantee an urgently necessary, sufficient energy supply for the future, energy planners in economy and government have to deal with the problem of estimating the consequences of new technologies or the change of the energy-political situation. Hopes are high for a very young branch of science - system engineering - which works to help in the planning and decision making areas by aid of mathematical models.

"Energy Models for the Federal Republic of Germany" was the title of a workshop to which the KFA invited specialists in research, industry, and economy. More than 220 persons accepted this invitation. The aims of this program were:

- to show the actual situation of the development of energy models for the whole energy system of the FRG,
- to formulate the requirements of energy models from the point of view of energy planners in government and industry,
- to promote the exchange of experiences among the individual groups that deal with the preparation of energy models,
- and to discuss methods problems.

According to this aim, there were a number of presentations during the first day which explained methods approaches and which also included experiences that have been made beyond the FRG. With these presentations three main points of effort became rather evident.

1. The problems of the energy economy cannot be regarded as isolated. On the contrary, this branch of domestic economy is of central significance for the whole political economy. Therefore it must be understood as a partial system which is embedded in the whole economic situation, technological concepts and actualities of environment. The mutual effects of these partial systems are determinable for the behaviour of the system.
2. The method which shall be used depends on the questions answered by the model. Therefore you cannot compare the various methods and arrive at a value judgement. On the contrary, methods can only be chosen with the aid of the aims of the research. For this reason we choose such varied models as, for example, optimization-models (linear programming), input/output analyses and dynamic simulation models.

All these methods have in common the use of the formular language of mathematics in order to convey reality to a model. Thus the possibilities of large modern computing machinery can be fully utilized. But beyond that, the individual methods use completely different formalistic approaches. For example, optimization models are suitable to calculate the most favourable structure for an energy supply system. For this, the value criterium is an aim function that states in which relation, for example, costs or environmental impact could be considered. In contrast, simulation models offer only indirect possibilities for finding optimal strategies. They allow far more execution on a mathematical model of those experiments which cannot be carried out on a real system. Thus, it is possible to simulate the consequences that can be repeated as often as possible, and their influence can be tested.

3. The systems to be reproduced are so complicated and the elements and partial systems belong to such varied sectors that inter-disciplinary working groups are necessary to construct models, i.e., groups whose members are drawn from various fields of science. Only in this way can the variety of problems be taken into account.

The second day essentially served for pursuing the results and the discussions of special questions in working groups. Altogether, we got the impression that with the aid of energy models, quantitative statements about the system of energy economy are possible and become more and more significant as aids for planning and decision making in economy and government.

At this time I want to thank sincerely once more all authors as well as all persons who contributed to the success of the workshop. I hope that this report will be of help to most "model engineers" in their future work.

Chr. König
The Editor

V O R W O R T

Auf der Suche nach Möglichkeiten, die geeignet erscheinen, eine dringend erforderliche, ausreichende Energieversorgung in der Zukunft sicherzustellen, stehen Energieplaner in Wirtschaft und Regierung vor dem Problem, die Folgen der Einführung neuer Technologien oder der Veränderung der energiepolitischen Situation abschätzen zu müssen. Große Hoffnungen werden dabei auf einen noch sehr jungen Zweig der Wissenschaftsdisziplin der Systemtechnik gesetzt, der versucht, mit Hilfe mathematischer Modelle Planungs- und Entscheidungshilfen zu erarbeiten.

"Energiemodelle für die Bundesrepublik Deutschland" war deshalb der Titel eines Arbeitsseminars, zu dem die Kernforschungsanlage Jülich Fachleute aus Forschung, Industrie und Wirtschaft eingeladen hatte. Dieser Einladung folgten über 220 Damen und Herren. Das Ziel dieser Veranstaltung war es,

- den gegenwärtigen Stand der Entwicklung von Energiemodellen für das gesamte Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland aufzuzeigen,
- die Anforderungen an Energiemodelle aus der Sicht des Energieplaners in Regierung und Wirtschaft zu formulieren,
- den Erfahrungsaustausch zwischen den einzelnen mit der Erstellung von Energiemodellen befaßten Gruppen zu fördern
- und methodische Probleme zu diskutieren.

Dieser Zielsetzung entsprechend stand der erste Tag im Zeichen einer Reihe von Vorträgen, in denen methodische Ansätze erläutert und über bisher gemachte Erfahrungen - auch außerhalb der Bundesrepublik Deutschland - berichtet wurde. Dabei zeichneten sich drei Schwerpunkte besonders deutlich ab:

1. Die Problemstellungen der Energiewirtschaft dürfen nicht isoliert betrachtet werden. Vielmehr ist dieser Wirtschaftszweig von zentraler Bedeutung für die gesamte Volkswirtschaft. Man muß ihn deshalb als ein Teilsystem auffassen, das eingebettet ist in gesamtwirtschaftliche Zusammenhänge, technologische Konzepte und Gegebenheiten der Umwelt. Die Wechselwirkungen zwischen diesen Teilsystemen sind bestimmend für das Systemverhalten.
2. Die zur Anwendung kommende Methode richtet sich nach den Fragestellungen, die mit dem Modell beantwortet werden sollen. Man kann daher nicht die verschiedenen Methoden miteinander vergleichen und zu einem Werturteil kommen. Vielmehr können Methoden nur anhand der Ziele einer Untersuchung ausgewählt werden. Es wurden deshalb so unterschied-

liche Methoden verwendet wie Optimierungsmodelle (Lineare Programmierung), Input/Output-Analysen und dynamische Simulationsmodelle. Allen Methoden gemeinsam ist, daß sie die Formelsprache der Mathematik verwenden, um die Realität auf ein Modell abzubilden. So lassen sich die Möglichkeiten moderner Großrechenanlagen ausschöpfen. Darüber hinaus aber bedienen sich die einzelnen Methoden grundsätzlich verschiedener Formalismen. Zum Beispiel sind Optimierungsmodelle geeignet, die günstigste Struktur für ein Energieversorgungssystem zu errechnen. Bewertungskriterium ist dabei eine Zielfunktion, die angibt, in welchem Verhältnis zum Beispiel Kosten oder Umweltbelastung berücksichtigt werden sollen. Simulationsmodelle dagegen bieten nur indirekt die Möglichkeit, optimale Strategien zu ermitteln. Vielmehr gestatten sie es, an einem mathematischen Modell Experimente vorzunehmen, die an dem realen System nicht durchführbar sind. So werden die Auswirkungen von Maßnahmen simuliert, die beliebig oft unter veränderten Randbedingungen wiederholt und auf ihren Einfluß hin untersucht werden können.

3. Die abzubildenden Systeme sind so kompliziert und die Elemente, und Teilsysteme gehören so unterschiedlichen Bereichen an, daß zur Konstruktion von Modellen interdisziplinäre Arbeitsgruppen erforderlich sind, das heißt Gruppen, deren Mitarbeiter den verschiedensten Wissenschaftsbereichen entstammen. Nur so kann der Vielfalt der Problemstellungen Rechnung getragen werden.

Der zweite Tag diente dann im wesentlichen der Vertiefung der Ergebnisse und der Diskussion ganz spezieller Fragestellungen in Arbeitskreisen. Insgesamt entsteht der Eindruck, daß mit Hilfe von Energiemodellen quantitative Aussagen über das System der Energiewirtschaft möglich sind, die als Planungs- und Entscheidungshilfen für Wirtschaft und Regierung zunehmend an Bedeutung gewinnen.

An dieser Stelle sei allen Autoren sowie den Damen und Herren, die zum Gelingen des Arbeitsseminars beigetragen haben, nochmals recht herzlich gedankt. Ich hoffe, daß dieser Bericht möglichst vielen "Modellbauern" bei ihren weiteren Arbeiten von Nutzen sein wird.

Chr. König
Der Herausgeber

BEGRÜSSUNG

K.H. Beckurts
Vorstandsvorsitzender der
Kernforschungsanlage Jülich G.m.b.H.

Meine sehr verehrten Damen und Herren!

Im Namen der Kernforschungsanlage Jülich begrüße ich Sie herzlich zum ersten Arbeitsseminar über Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland. Wir freuen uns, daß so viele hervorragende Fachleute aus dem Bereich der Wissenschaft, der Industrie und der Behörden zu uns gekommen sind, und wir hoffen, daß diese zwei Tage für Sie fruchtbar und angenehm sein werden.

Das große Interesse an dieser Tagung deutet an, daß das Arbeitsseminar zu einem richtigen Zeitpunkt gehalten wird. Ich meine, daß die vergangenen 12 Monate uns allen sehr deutlich vor Augen geführt haben, wie eng Energiewirtschaft und Volkswirtschaft in einem Industrieland zusammenhängen. Wir stehen jetzt und in den nächsten Jahrzehnten in der Bundesrepublik wie in vielen anderen Ländern vor der Aufgabe, unsere Energiewirtschaft neu zu gestalten mit dem Ziel, ausreichend saubere, billige und versorgungssichere Energie einer Volkswirtschaft zur Verfügung zu stellen, die sicher noch auf lange Zeit mit einem gewissen Wachstum rechnen muß. Bei dieser Neugestaltung der Energiewirtschaft ergeben sich viele, grundsätzliche Alternativen. Diese Alternativen ergeben sich bereits, wenn es darum geht, Prioritäten für die Forschung und Entwicklung im Bereich neuer Energiesysteme zu setzen. Sie ergeben sich weiterhin, wenn es gilt, Entscheidungen über die Wahl verschiedener Primärenergieträger zu treffen, oder wenn es darum geht, die Wahl neuer Technologien auf dem Gebiet der Energieeinsparung oder des Energietransports zu treffen. Steuerpolitik, Subventionspolitik oder Preisgestaltung sind nichttechnische Beispiele von Freiheitsgraden, die sich bei Planung und Gestaltung im Bereich der Energiewirtschaft ergeben. Dabei geht es meist um enorme Beträge. So schätze ich, daß allein an Investitionen im Bereich der Energiewirtschaft der Bundesrepublik bis zum Ende des Jahrhunderts ein Betrag in der Größenordnung einer dreizehnstelligen Zahl (1000 Mrd DM!) aufgebracht werden muß.

Um bei diesen großen und schweren Entscheidungen für die Planer vernünftige Entscheidungsgrundlagen zu haben, sind gründliche

Untersuchungen der Wechselwirkungen zwischen Energiewirtschaft, Volkswirtschaft und Umwelt erforderlich, wir brauchen eine ganzheitliche Darstellung von Energiesystemen im Kontext von Ökologie und Ökonomie. Und hier sehe ich die besondere Bedeutung des Arbeitsgebietes, das bei dieser Tagung behandelt werden soll. Wir wissen natürlich, daß wir auf diese Weise nicht politische oder unternehmerische Entscheidungen bei der Neugestaltung des Energiegebietes ersetzen können, aber wir erwarten, daß solche Untersuchungen und solche Modelle dazu beitragen können, Entscheidungen rationaler und transparenter zu machen. Ich glaube auch, daß solche Modelle uns dabei helfen könnten, energiepolitische Planungen über längere Zeiträume weg zu machen, als dies heute in der Bundesrepublik geschieht.

Vielleicht darf ich hier einige Bemerkungen anknüpfen, warum wir in Jülich uns für diese Dinge interessieren. Wir haben, aufbauend auf langjährige Vorarbeiten im Institut von Herrn Schulten, im vorletzten Jahr eine Programmgruppe "Systemforschung und Technologische Entwicklung" gegründet, die unter Leitung von Herrn Bohn steht und derzeit etwa 25 Mitarbeiter hat. Diese Gruppe befaßt sich intensiv mit Technologie-Bewertungsstudien auf dem Gebiet der Primär- und Sekundärenergieträger und braucht für ihre Arbeit leistungsfähige Energiemodelle. Dazu unternimmt sie eigene Anstrengungen, und einige erste eigene Ansätze werden heute nachmittag von Herrn Voß vorgetragen. Darüber hinaus suchen wir natürlich den Dialog mit allen anderen Gruppen, die auf diesem Gebiet tätig sind, und gerade deshalb freuen wir uns, daß heute so viele sachkundige Gäste anwesend sind. Ganz besonders freuen wir uns auf die Beiträge aus Brookhaven und aus Laxenburg. In Laxenburg hat im vergangenen Jahr schon einmal eine internationale Veranstaltung über "Energy Modelling" stattgefunden, und man wird bei der heutigen Tagung einen Eindruck davon bekommen, welche Fortschritte seitdem gemacht worden sind.

Erlauben Sie mir als einem Laien auf diesem Gebiet noch eine Bemerkung. Für diejenigen, die am "Energy Modelling" aktiv arbeiten, ist es eine neue Wissenschaft, innerhalb der sie gestalten und schöpfen wollen. Für diejenigen im Bereich von Politik und Wirtschaft, die diese Methoden später einmal anwenden sollen, ist aber das Energy-Modelling eine Methode oder ein Werkzeug, und ich glaube, daß dieses Werkzeug umso bereitwilliger, umso eher und umso wirksamer eingesetzt wird, je klarer die Ergebnisse, die Voraussetzungen und die Randbedingungen der einzelnen Modelle dargestellt werden, insbesondere aber in einer Sprache, die auch den späteren Benutzern verständlich und vertraut ist. Ich würde mich freuen, wenn die Diskussionen bei dieser Veranstaltung dazu beitragen könnten, auch diesem Ziel ein wenig näherzukommen.

Meine Damen und Herren, es bleibt mir schließlich noch sehr herzlich denen zu danken, die die Vorbereitung dieser Tagung durchgeführt haben, vor allen Dingen dem wissenschaftlichen Sekretär, Herrn König. Ich sollte vielleicht verraten, daß Herr König am übernächsten Freitag sein Doktorexamen macht. Es ist, so meine ich, bemerkenswert, daß er die letzten Wochen seiner Vorbereitungszeit mit uns allen teilt, und ich hoffe mit dem

gleichfalls im Saale befindlichen Doktorvater, daß sich das nicht zum Nachteil bei der Prüfung auswirkt. In diesem Sinne möchte ich Ihnen einen angenehmen und interessanten Verlauf des Seminars wünschen und bitte Herrn Dr. Däunert, für das BMFT ein paar Worte der Begrüßung zu sagen.

BEGRÜSSUNG

U. Däunert
Bundesministerium für Forschung und Technologie
Bonn

Meine sehr geehrten Damen und Herren!

Im Namen des Bundesministers für Forschung und Technologie begrüße ich Sie sehr herzlich zu diesem Arbeitsseminar über "Energiemodelle für die Bundesrepublik Deutschland". Die Kernforschungsanlage Jülich hat es dankenswerterweise übernommen, diese Veranstaltung auszurichten. Als Vertreter des Gesellschafters dieser Kernforschungsanlage bin ich gebeten worden, einige Grußworte zu Ihnen zu sprechen. Ich nehme dieses wörtlich. Ich möchte mich hier nicht verbreiten über die Wichtigkeit der Energieplanung im Bereich der Regierung und Wirtschaft, sondern ich möchte mich auf ganz wenige Gedanken beschränken, die ich Ihnen mitgeben wollte für die Arbeit der nächsten zwei Tage, und die Sie dabei begleiten sollen. Es hieße Energiemodelle in dieses Auditorium tragen, wenn ich mich hier über die Bedeutung Ihrer Arbeit aus der Sicht der Energieplanung verbreiten wollte. Stellen wir uns die Frage, worum geht es denn heute?

In einer Zeit, in der Menschen in einer hochtechnisierten Umwelt leben und in nahezu allen Bereichen ihres Lebens von ihr in einem außerordentlichen Umfang abhängen, wird auf allen Ebenen dieser Gesellschaft eine Entscheidungsbereitschaft gefordert, wie sie bisher noch niemals wahrgenommen worden ist, und die Fähigkeit, entscheiden zu können. Eine Fehlplanung im Bereich der Energieforschung und Energieplanung hat ungeheuer weitreichende Folgen, denn sie involviert automatisch einen Reifungszeitraum neuer Technologien, der in der Größe eines Generationenalters liegt. Dazu kommt, daß nach wie vor auch heute noch bei allen Überlegungen, die wir anstellen, wir nicht vergessen dürfen, daß nach wie vor der zweite Hauptsatz seine Gültigkeit hat. Die Bewältigung solcher Aufgaben erlaubt weder ein emotionales Extemporieren noch ein "Vor-sich-hin-Wursteln". Sie verlangt solide Planungsvoraussetzungen, ein Instrumentarium, das es den Verantwortlichen ermöglicht, Energiesysteme zu übersehen, ihre Empfindlichkeit gegen Veränderungen der Randbedingungen zu kennen und gezielte prioritäre Entwicklungsaufgaben zu definieren. Es scheint mir evident, daß die Beherrschung vielschichtiger Systeme nur im Zusammenspiel aller Experten erreicht werden kann.

Als 1972 der Club of Rome mit seinen Prognosen an die Öffentlichkeit trat, bedurfte es nicht erst einer öffentlichen Aufforderung, um sich mit den Konsequenzen dieses Papiers auseinanderzusetzen. Der Themenkatalog Ihrer heutigen Veranstaltung und die Vielzahl der hier vertretenen Institutionen zeigen doch, daß diese Herausforderung vielseitig von Ihnen aufgenommen worden ist, in einem Umfang, der das interaktive Zusammenspiel einzelner Gruppen heute zu organisieren geboten sein läßt, um im wissenschaftlichen Disput die Konsistenz von Einzelmodellen und das Zusammenfügen von Einzelprogrammen zu einem Ganzen zu erreichen. Der Staat kann bei der Bewältigung dieser Aufgaben eine Mittlerrolle spielen durch die Schaffung geeigneter Voraussetzungen, indem das eigenverantwortliche Aufgreifen neuer gesellschaftspolitischer relevanter Fragen möglich wird in der Bereitung eines fruchtbaren Bodens, auf dem Gedanken gedeihen können.

Die Kernforschungsanlage in Jülich hat uns ein Stück dieses Bodens heute zur Verfügung gestellt, wofür ihr zu danken ist. Ich wünsche Ihnen und ich erhoffe uns allen einen erfolgreichen Verlauf des Arbeitsseminars "Energiesmodelle für die Bundesrepublik Deutschland".

ENERGIEMODELLE UND WIRTSCHAFTSORDNUNG

H. J. Burchard
Deutsche BP Aktiengesellschaft
Hamburg

Auch wenn die Ereignisse in der Weltenergiewirtschaft seit dem Herbst 1973 für jedermann deutlich gemacht haben, wie unverzichtbar energiepolitische Planungsmodelle für hochindustrialisierte Volkswirtschaften geworden sind, geht die Erkenntnis ihrer Bedeutung keineswegs auf den Ausbruch der Krise zurück.

Definiert man den Begriff des Energiemodells mit dem Versuch, die realen Abläufe und komplexen Zusammenhänge der Energiewirtschaft

- mit Hilfe statistischer Aggregierungen,
- in systematischer, geordneter und übersichtlicher Form abzubilden,
- um auf diese Weise ein Informationssystem für Entscheidungshilfen zu erhalten, und zwar sowohl für wirtschaftspolitische wie für unternehmenspolitische Entscheidungen,

dann verfügen wir in der Bundesrepublik Deutschland über ein Energiemodell bereits seit den 50er Jahren. Hierbei handelt es sich um das zunächst statische Modell der Energiebilanz. Alle weiteren Modellansätze, auch die der jüngeren Zeit, sind im Grunde

- entweder darauf gerichtet, das bereits vorhandene Grundschema der Energiebilanz noch einmal neu zu entdecken,
- oder das statische Modell der Energiebilanz zu dynamisieren, um es für Simulationen alternativer Verläufe operabel zu machen,
- oder aber schließlich, um die Anwendbarkeit der aus den Energiebilanzen zu gewinnenden Informationen auf Fragestellungen außerhalb des engeren energiepolitischen Bereichs auszudehnen.

Wenn nun das Grundmodell der Energiebilanz schon seit längerem existiert, muß gefragt werden, warum denn trotzdem gerade in den letzten Jahren eine so stattliche Anzahl verschiedenster Ansätze zu Energiemodellen vorgelegt wurde. Das hat meines Erachtens eine Reihe sehr interessanter Gründe.

Der eine ist der nach wie vor erstaunlich geringe Bekanntheitsgrad der Energiebilanzen, der manche Forscher immer wieder auf die Suche nach längst bekannten Eilanden verführt.

Hinzu kommt der weitverbreitete Fehlschluß, daß die bis vor kurzem geübte energiepolitische Abstinenz des Staates - wobei Energiepolitik im Sinne einer geschlossenen Konzeption mit langfristigen Zielsetzungen verstanden wird - in einem Mangel an wissenschaftlichen Vorarbeiten begründet sei. Bereits die Energie-Enquete von 1961 enthielt eine 10 Jahre umfassende Energiebilanz-Reihe. Seither wäre jede Bundesregierung in der Lage gewesen - so sie dies gewollt hätte -, auf dieser modellhaften Darstellung aufbauend ein Energieprogramm ähnlicher Geschlossenheit zu erstellen, wie es im September 1973 erstmalig vorgelegt und im Oktober 1974 fortgeschrieben wurde, wobei hier um der Klarheit willen deutlich gesagt werden muß, daß mit diesem Hinweis nicht Energieprogramm gleich Energiemodell gesetzt werden soll. Es geht lediglich um die Aussage, daß ein rationales energiepolitisches Gesamtkonzept des Staates zur Steuerung der Energiewirtschaft in ihrer Gesamtheit und in Teilbereichen anhand der wissenschaftlichen Vorarbeiten in Form der Energiebilanzen und ihrer Auswertungen seit langem bereits möglich gewesen wäre.

Schließlich gibt es noch einen weiteren Grund für die Modellflut auf dem Energiesektor. Er ist meines Erachtens im Bereich interdisziplinärer Verständigungsschwierigkeiten zu suchen. Die Energiebilanzen sind als Produkt der Wirtschaftsstatistik ihrer Herkunft nach den Wirtschaftswissenschaften zuzuordnen, d.h. mit anderen Worten, sie dürfen schon deshalb manchem Vertreter der Naturwissenschaften, insbesondere der Ingenieurwissenschaften, als suspekt erscheinen. Den Sarkasmus aus dieser Bemerkung abgezogen, bleibt doch in manchen Fällen ein genügend großer Vorbehalt, den instrumentalen Charakter der Energiebilanz für die Bewältigung langfristiger Planungsprobleme im Energiebereich zu akzeptieren. Das muß indessen nicht so sein, wie das Beispiel von Prof. Schäfer, München, zeigt, der sich gerade auf diesem Gebiet in verdienstvoller Weise um interdisziplinäres Denken bemüht hat und stets die Symbiose wirtschaftswissenschaftlicher und naturwissenschaftlicher Denkmodelle ansteuert.

Daran kommen wir auch gar nicht vorbei, wenn die Energiemodelle im Rahmen unserer Wirtschaftsordnung in erster Linie Entscheidungshilfen für rationales Handeln der staatlichen Wirtschaftspolitik, der die Energiepolitik ja eingegliedert ist, sein sollen.

Ich sage hier ausdrücklich "Entscheidungshilfen", da mancher Politiker sich von einem Modell so gerne die unbequeme Notwendigkeit einer Entscheidung abnehmen lassen möchte. Auch mancher von seiner Aufgabe faszinierte Modellkonstrukteur kommt nur allzu leicht in die Versuchung, sein aus der Vergangenheit abgeleitetes, in die Zukunft projiziertes Modell als die Wirklichkeit anzusehen. Dabei kann das Modell doch nur eine simplifizierte Abbildung dessen liefern, was aufgrund vergangener Erfahrungen unter bestimmten zukunftsbezogenen Annahmen eintreten könnte. Wenn der ein Modell benutzende Prognostiker tatsächlich die Wirklichkeit getroffen oder die wirkliche Entwicklung seine

Prognoselinie irgendwo berührt hat, dann möchte ich das als reinen Zufall bezeichnen. Möglicherweise ist es sogar ein unglücklicher Zufall, und zwar deswegen, weil das denjenigen Auftrieb gibt, die gerne eine Abbildung als das Wirkliche - die Ikone für den Heiligen selbst - nehmen.

Alles das spricht nicht gegen Modelle als Mittel, Zustände und Entwicklungen zu analysieren und klarer zu erkennen, um auf diesen Erkenntnissen aufbauend ein besseres Fundament für Entscheidungen zu haben; nicht mehr, aber auch nicht weniger, denn ich meine, ein gutes Fundament ist bereits eine ganze Menge.

Lassen Sie mich an dieser Stelle eine kurze Einordnung der Idee der Energiemodelle in modelltheoretisches Denken aus der Sicht der Wirtschaftswissenschaften vornehmen.

Die modellartige Abbildung des Wirtschaftsprozesses und seiner Teilabläufe ist seit je instrumentaler Grundansatz der theoretischen Volkswirtschaftslehre gewesen. Innerhalb eines vorgegebenen Datenkranzes werden die für einen zu untersuchenden Ablauf relevanten Parameter zunächst festgelegt und definiert, durch Veränderungen eines oder mehrerer Parameter werden sodann Wirkungen und Wirkungszusammenhänge aus dem so dynamisierten Modellansatz abgeleitet bzw. auf ihm aufgebaut.

Die Nutzbarmachung der von den Wirtschaftswissenschaften erarbeiteten modelltheoretischen Analysen für die staatliche Wirtschaftspolitik ist in Kernbereichen bereits weitgehend erfolgt. Sowohl im Bereich der Konjunkturpolitik (Geld und Kredit) als auch der Wachstums- und Verteilungspolitik stellen die aus modelltheoretischen Analysen abgeleiteten Ergebnisse in den meisten Industrieländern grundlegendes Datenmaterial für staatliche Wirtschaftspolitik dar. Durch die Institutionalisierung des jährlich vorzulegenden Sachverständigengutachtens ist die staatliche Wirtschaftspolitik in der Bundesrepublik Deutschland sogar verpflichtet, ihre politischen Initiativen an den aus der wissenschaftlichen Analyse resultierenden Ergebnissen zu orientieren. Aber nicht nur der Staat, auch die Tarifparteien sind in gewisser Weise angehalten, ihre Überlegungen an den Werten der Modellanalysen des volkswirtschaftlichen Kreislaufprozesses auszurichten.

Was für den gesamten volkswirtschaftlichen Kreislaufprozeß gilt, gilt jedoch bisher nicht für wichtige Teilsektoren.

So ist aufgrund sowohl strukturpolitischer und gesellschaftspolitischer als auch außenwirtschaftlicher Erfordernisse seit längerem der energiewirtschaftliche Sektor in den Mittelpunkt derartiger Überlegungen geraten. Hinzu kommen mit stärkerem Bewußtsein auf diesem Gebiet die Probleme einer bisher nicht vorhandenen Ressourcenpolitik. Es ist weithin erkannt worden, daß aufgrund der strukturellen Eigenarten des Energiesektors und seiner zentralen Stellung im volkswirtschaftlichen Produktions- und Konsumtionsprozeß die Nutzung von Energiemodellen für energiepolitisches Planen heute ebenso wichtig geworden ist wie es die modelltheoretischen Ergebnisse aus der Analyse des gesamten Kreislaufprozesses für die allgemeine Wirtschaftspolitik seit langem sind.

Ebenso wie im Falle der Auswertung der Modellanalysen des volkswirtschaftlichen Kreislaufprozesses für die allgemeine Wirtschaftspolitik sollten auch die Energiemodelle einen grundlegend instrumentalen Charakter für rationales Handeln des Staates im Bereich der Energiepolitik, aber auch in solchen Bereichen haben, die mit dem Energiebereich in Wechselwirkungen stehen. So wäre denkbar, und es gibt ja auch Ansätze dafür, daß Energiemodelle wichtige Entscheidungshilfen für so unterschiedliche Bereiche wie Regional- und Strukturpolitik, energiepolitisches Krisenmanagement und nicht zuletzt für die Umweltschutzpolitik liefern könnten. In allen diesen Fällen wären die Energiemodelle darauf auszurichten, ein umfassendes und über die statische Energiebilanz hinausreichendes dynamisiertes Informationssystem aufzubauen, das eine rationale staatliche Wirtschaftspolitik in diesem Bereich erst möglich machen würde. Die Schaffung derartiger Energiemodelle würde dabei nicht nur der staatlichen Wirtschaftspolitik, sondern auch der Energiewirtschaft zur Orientierung ihrer langfristigen Planungen dienen können und damit die Effizienz unseres Wirtschaftssystems steigern helfen.

Hier sind wir meines Erachtens an einer Kernfrage der Anwendbarkeit von Energiemodellen in einem marktwirtschaftlichen System angelangt. Für wen wird das gesuchte "ideale Energiemodell" erarbeitet, wer wendet es zu welchen Zwecken an?

Wir berühren damit einen sehr kritischen Punkt. In den westlichen Demokratien wird der kontinuierliche Prozeß des Wirtschafts- und Gesellschaftslebens nicht nur durch die Summe individueller Planungsansätze und Entscheidungssysteme innerhalb der Wirtschaft gesteuert. Auch die ergänzende staatliche Globalsteuerung erfolgt nach dem Prinzip der Dezentralisierung - und das auch noch in doppelter Hinsicht, nämlich fachressortmäßig und regional.

Einerseits sind unterschiedliche Fachministerien nach ihren jeweiligen Ressortschwerpunkten an energiepolitischen Planungsmodellen interessiert, wie

- Wirtschaftsministerium
(z.B. für Ressourcen-, Versorgungs-, Investitionspolitik)
- Forschungsministerium
(z.B. für technologische Ansätze zur Entwicklung neuer und zum besseren Einsatz vorhandener Energien)
- Außenministerium
(z.B. für Fragen der Rohstoffsicherung im Rahmen internationaler Beziehungen)
- Innenministerium
(z.B. für den Umweltschutz)

Diese Vielfalt der Fachinteressen könnte auf den ersten Blick dazu verleiten, das Energiemodell mit den modellhaften Vorstellungen der einzelnen Bereiche direkt und unmittelbar zu verzahnen. Ich meine indessen, daß das nicht zur Übersichtlichkeit und Klarheit beitragen, vielmehr den Benutzer des Modells eher verunsichern dürfte. Ich spreche mich damit nicht etwa dagegen aus, daß Zielvorstellungen und Erkenntnisse anderer Bereiche als exogene Faktoren bzw. als Prämissen in ein dynamisches Energiemodell eingehen sollten. Das muß selbstverständlich gesche-

hen, wenn es nicht sozusagen im "luftleeren Raum" stehen soll. Eine direkte Verzahnung hingegen würde meines Erachtens zu einer Art Supermodell führen, dessen Abläufe möglicherweise gedanklich nicht mehr nachvollziehbar sind und die dadurch zur Modellgläubigkeit und zur Modellhörigkeit führen könnten.

Eine weitere Dezentralisierung besteht darin, daß neben den Bundesbehörden auch Landesbehörden seit geraumer Zeit dabei sind, Energieplanungsmodelle zur rationalen Abstützung ihrer regional- und strukturpolitischen Zielsetzungen zu erarbeiten. Das gleiche gilt für supranationale Institutionen, wenn wir an die EG-Kommission, an die OECD und möglicherweise an die im Entstehen begriffene Internationale Energie-Agentur denken. An dieser Stelle muß ich auch die weltweiten Modelle erwähnen, die meines Erachtens nur dann und nur insoweit aussagefähig sind, als sie dem unterschiedlichen Entwicklungsstand, den unterschiedlichen Verhältnissen, Notwendigkeiten und Möglichkeiten in den verschiedenen Regionen dieser Welt Rechnung tragen und auf ihnen aufbauen. Ein Beispiel dafür ist der zweite Bericht an den Club of Rome.

Ich halte diese unterschiedlichen Initiativen im gegenwärtigen Stadium der Entwicklung hin zu einem "idealen Energiemodell" für nützlich, weil nur eine Vielzahl von Ansätzen auch eine Vielzahl von Erfahrungen bringt. Allerdings sollte möglichst frühzeitig versucht werden, die sich als fruchtbar erweisenden Ansätze in das zu suchende "ideale Energiemodell" zu überführen.

Welchen Anforderungen müßte dieses Modell genügen? Es dürfte zunächst kein geheimes Planungsmodell einer staatlichen Planungsbehörde sein, sondern es müßte ein transparentes Modell sein, für das zwar eine einzige beauftragte Behörde verantwortlich wäre, das aber mit seinen Orientierungsdaten nicht nur für sämtliche staatlichen Instanzen von Bund und Ländern, sondern auch für alle in der Energiewirtschaft planenden Entscheidungsträger verfügbar sein sollte. Ich habe angesichts nicht nur der so stark differierenden Situationen in den einzelnen Ländern, sondern mehr noch wegen der unterschiedlichen Einstellung zur Aufgabe und Verwendbarkeit von Modellen das Gefühl, daß Modelle auf übernationaler Basis zwar gemacht werden können, daß sie für das einzelne Land aber nur sehr bedingt praktikabel sind.

Das Modell müßte so aufgebaut sein, daß es als komplexes System von Entscheidungshilfen für alle energiepolitischen und von der Energiepolitik ableitbaren Problemfelder nutzbar wäre - und zwar gleichermaßen für individuelle Planungsentscheidungen von Wirtschaftssubjekten als auch für Globalsteuerungen staatlicher Stellen in Bund und Land.

Für welche Problemfelder müßte das Energiemodell Orientierungshilfen bereitstellen? Ich meine, daß folgende Bereiche aus heutiger Sicht am wichtigsten wären:

- Versorgungspolitik
- Investitionspolitik
- Regional- und Strukturpolitik
- Umweltschutzpolitik
- Energiepolitisches Krisenmanagement

- Technologiepolitik (sowohl neue Energietechnologien als auch rationellere Nutzung angewandter Technologien).

Ich halte die Entwicklung eines Energiemodells, das für diese unterschiedlichen Problemfelder Orientierungs- und Entscheidungshilfen bieten kann, durchaus für möglich, sofern man sich bezüglich der Anzahl der zu verwendenden Parameter weise Bescheidung auferlegt. Sofern man zu dieser Bescheidung bereit ist, meine ich, daß wir über ein Grundmodell auch bereits verfügen und daß es eigentlich nur noch einer differenzierten und problemspezifischen Ausgestaltung bedarf.

Wenn ich es recht sehe, ist am Energieprogramm der Bundesregierung bereits ein Orientierungsrahmen abgesteckt, dem ein Energiemodell - wenn auch einfacher Art - zugrunde liegt. Kernstück des Energieprogramms der Bundesregierung ist eine Energieprognose bis zum Jahre 1985, die aus der dynamisierten Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland abgeleitet wurde. In dieser Energiebilanz ist der Mengenfluß der Energieträger in ihrer Rohstoffeigenart und in abgeleiteten Energieerzeugnissen von der Aufkommenseite (Urproduktion und Importe) über Bestandsveränderungen und den Umwandlungsbereich bis in die einzelnen Verbrauchssektoren hin statistisch nachgezeichnet. Auf diese Weise entsteht eine Matrix von (beim gegenwärtigen Stand der deutschen Energiewirtschaft) $42 \times 80 = 3.360$ Datenfeldern, die untereinander mehr oder weniger starke Interdependenzen aufweisen. Die Energiebilanz ist in ihrem Aufbau offen für neue Energieträger, die im Laufe der technologischen Entwicklung entweder real oder im theoretischen Simulationsfall in den Energiefluß einzubeziehen sind. Entsprechendes gilt für neue Verfahren der Umwandlung und/oder bisher nicht erfaßte Verbrauchssektoren.

Allerdings müssen - was ich keineswegs für einen Fehler halte - die einzelnen energieverbrauchenden Sektoren und die den Energieverbrauch nach Quantität, Qualität und Struktur bestimmenden Faktoren einzeln analysiert und prognostiziert werden. Das ist der Weg, der bei den detaillierten Prognosen sowohl der einschlägigen wirtschaftswissenschaftlichen Institute als auch der Mineralölwirtschaft seit langem beschritten wird.

In ihrer statischen Form deckt die Energiebilanz den Fluß jener Energiemengen ab, die innerhalb eines Jahres in unserer Volkswirtschaft produziert, importiert, bestandsverändert, umgewandelt und verbraucht werden. In ihrer dynamisierten Form bildet sie für isolierte oder zusammengefaßte Teilverläufe (zunächst für die Vergangenheit) unterschiedliche Zeitreihen, die zu Gleichungssystemen zusammengefaßt werden können und in ihrer Idealform alle wichtigen funktionalen Abhängigkeiten zwischen einzelnen Datenfeldern einschließen können. Die auf diese Weise ermittelten und miteinander interdependenten ex-post Zeitreihen sind als Ausgangsbasis für Prognosemodelle jeweils gewünschter Fragestellungen und damit auch für Simulationsmodelle jeder Art geeignet. Zusammenfassend möchte ich hierzu feststellen, daß ich mir kein Energiemodell vorstellen kann, das nicht im Kern auf der Energiebilanz aufbaut.

Bei näherem Hinsehen wird man auch feststellen, daß bereits heute in einem sehr viel stärkeren Maße als vielfach angenommen

wird die Praxis der staatlichen Energiepolitik und die Praxis der Planungsentscheidungen innerhalb der Energiewirtschaft auf den Modellansatz der Energiebilanz zurückgreift.

So ist das Ausmaß der Energie-Importabhängigkeit und die Suche nach Möglichkeiten einer Verminderung bzw. stärkeren Diversifikation ohne die Energiebilanz nicht darstellbar. Langfristige Investitionsentscheidungen der energiewirtschaftlichen Unternehmen orientieren sich an den mit dem Energiebilanzschema in Verbindung stehenden Energiebedarfsprognosen. Die Möglichkeiten von Energieeinsparungen können im ersten Ansatz anhand der Energiebilanz durchaus ermittelt werden. In diesem Fall kann das Modell der Energiebilanz beispielsweise darstellen, daß mit Hilfe rationeller Verfahren der Energieumwandlung sowie der Erhöhung und Verbesserung der Wirkungs- und Nutzungsgrade im Endenergieverbrauchsbereich noch ein beträchtlicher Spielraum für ein Energieverbrauchswachstum "nach innen", d.h. eine Steigerungsmöglichkeit des Nutzenergieverbrauchs selbst bei stagnierendem oder gar rückläufigem Primärenergieverbrauch gegeben ist. Allerdings bedarf es hier noch einer Erweiterung des bisherigen Bilanzschemas um eine Nutzenergiebilanz, wobei ich mir über die Schwierigkeiten auf diesem Feld durchaus im klaren bin.

Die bis jetzt erstellten Schadstoffbilanzen als Instrument der Umweltschutzpolitik wurden aus dem Energiebilanzschema abgeleitet. Schließlich greift das Modellschema des energiepolitischen Krisenmanagements, das den interdependenten Zusammenhang zwischen Lieferkürzungen, Bestandsveränderungen, Substitutionen und Verbrauchseinschränkungen darstellen muß, auf die Energiebilanz zurück.

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich, daß Energiemodelle im Rahmen unserer Wirtschaftsordnung dann ihren Zweck erfüllen, wenn sie als Orientierungs- und Entscheidungshilfen für Staat und Wirtschaft gleichermaßen verfügbar, einsetzbar und auswertbar sind. Um diesem Ziel gerecht zu werden, wird man vielleicht um einen Kompromiß nicht umhinkommen, bei dem der wissenschaftliche Anspruch zugunsten der Praktikabilität hier und dort etwas zurückzuschrauben wäre. Energiemodelle dürfen nicht in sterile Modellschreinerei ausarten, ihr Wert wird immer daran zu messen sein, inwieweit sie konkrete Antworten für die drängenden Probleme der praktischen Politik parat haben.

Vor diesem Hintergrund wäre es aus meiner Sicht wenig realistisch, sich Energiemodelle auszudenken, die ihrer Natur nach ein integriertes System staatlicher Planung mit einer gewissen Vollzugsverbindlichkeit für die Planungsgrößen gegenüber den einzelnen Wirtschaftssubjekten voraussetzen würden. Ich meine, daß bei der Beurteilung von Energiemodellen ein Trennungsstrich zu ziehen ist zwischen solchen, die auf ein umfassendes Informationssystem zur Ermöglichung rationaler Energiepolitik im Rahmen unserer Wirtschaftsordnung gerichtet sind und solchen, die als Bestandteil eines die gesamte Wirtschaft und Gesellschaft durchgreifenden Planungssystems projiziert sind. Letztere würden nur in einer Zentralverwaltungswirtschaft Anwendung finden können und dürfen. Sie wären mit unserer Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung nicht vereinbar.

Dennoch könnte man vielleicht der Meinung sein, daß wegen der zentralen Stellung der Energiewirtschaft in hochindustrialisierten Volkswirtschaften eine durchgreifende staatliche Planung speziell dieses Sektors auch in einem marktwirtschaftlichen System möglich sein müßte. Dagegen möchte ich aber mit Entschiedenheit einwenden, daß gerade die zentrale Stellung des energiewirtschaftlichen Sektors in unserer Volkswirtschaft eine Ein-Sektor-Planung zum Scheitern verurteilen müßte. Die komplexe Verzahnung der Energiewirtschaft mit allen anderen Wirtschaftszweigen müßte zwangsläufig dazu führen, daß vollzugsverbindliche Plandaten in diesem Kernsektor in eine Abhängigkeit der Entscheidungsspielräume in allen anderen mit der Energie verbundenen Sektoren umschlagen müßte.

Aus diesem Grund betrachte ich alle Modellansätze, die mit dem Anspruch einer "Steuerung des Gesamtsystems" verknüpft sind, nicht nur sehr zurückhaltend, ich sehe sie sogar als eine Gefahr an. Solche Modelle sind für Politiker zu verführerisch, als daß sie ihnen auf die Dauer widerstehen könnten.

Nicht ganz so skeptisch würde ich einem an sich nützlichen System einer energiepolitischen Globalsteuerung (nach dem Modell der bei uns praktizierten Konjunkturpolitik) gegenüberstehen, das als permanentes Korrektiv zu individuellen Entscheidungen der Wirtschaftssubjekte wirksam ist. Auch hier ist aber die Verführung groß, das Globalsteuerungssystem nicht nur als Korrektiv zu benutzen, sondern es als ständigen Steuerungsmechanismus einzusetzen.

Wenn man diese Mißbrauchsgefahren im Auge behält, so sollten auch Energiemodelle im Ergebnis darauf gerichtet sein, Signale für das Einzelverhalten zu setzen, anstatt dieses Einzelverhalten unverrückbar zu determinieren. Im letzteren Fall wäre ein Abtöten unternehmerischer Initiativen zur unablässigen Innovation und Umsetzung des technischen Fortschritts die Folge, und zwar mit allen Weiterungen hin zu umgreifenden Effizienzverschlechterungen der volkswirtschaftlichen Leistungserstellung, wie dies die mageren Ergebnisse der heute praktizierten Zentralverwaltungswirtschaften anschaulich vor Augen führen.

So wie sektorale Planung mit Hilfe von Energiemodellen, die den Anspruch planerischer Vollzugsverbindlichkeit erheben, eine intersektorale und damit gesamtwirtschaftliche Planung nach sich ziehen müßte, gilt dies auch für die Interdependenz von Regional- und Globalplanung.

Bei dem heute erreichten Stand weltwirtschaftlicher Arbeitsteilung wären Energiemodelle im Sinne verbindlicher Planungssysteme theoretisch nur als regionale Teilmodelle eines umfassenden weltweiten Globalmodells denkbar. Globale Energiemodelle zur Inangasetzung einer weltumspannenden energiepolitischen Planung dürften aber heute und auf absehbare Zeit als unrealistische Zielvorstellung gelten. Ich halte sie auch für unerwünscht, wenn wir weitgehende individuelle Freiheit und unternehmerische Flexibilität als erhaltungswürdige Faktoren unseres wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens ansehen wollen.

Das bedeutet nicht, um das noch einmal zu unterstreichen, daß globale Modelle, wie beispielsweise das Forrester-Modell, als Informationssystem und Signalgeber für politische Zielsetzungen der Staaten dieser Welt wie auch für das einzelne Individuum keine Bedeutung hätten. Wie die weltweite Diskussion und auch die tatsächliche Anpassung politischen Verhaltens an die Ergebnisse des MIT-Modells zeigen, ist das Gegenteil der Fall. Das gilt ebenso für die verdienstvolle Weiterentwicklung der Ideen und Modelle durch Mesarovic/Pestel.

Meine Vorbehalte gegen Energiemodelle mit gesamtplanerischem Anspruch richten sich ausschließlich gegen die Blendwirkung, die Modellresultate im Rückkopplungseffekt auf Forderungen nach Veränderung unserer Wirtschaftsordnung haben könnten. Etwa der Art, daß aus den mit Hilfe von Modellen ermittelten Negativresultaten die "Schuld" des Wirtschaftssystems an diesen Resultaten konstatiert und dann zwangsläufig der Anspruch auf Umgestaltung der gegebenen Wirtschaftsordnung abgeleitet wird, weil angeblich nur auf diese Weise eine Gesamtsteuerung auf Positivresultate hin möglich sei.

Ich neige demgegenüber mehr zu dem weniger anspruchsvollen, dafür aber wohl realistischeren und pragmatischeren und im Endeffekt auch effizienteren Ansatz, den instrumentalen Orientierungscharakter von Energiemodellen für vielfältigste Problemlösungen im Rahmen unserer alles in allem bewährten Wirtschaftsordnung zu betonen. Es wäre schon viel, wenn das zu entwickelnde Energiemodell unseinige "Leitseile" für unsere zukunftsgerichteten Entscheidungen liefern könnte.

DISKUSSION

Th. Bohn, KFA Jülich: Sie bemerkten: "Die Energiebilanzen sind und sollten das Grundmodell" aller Energiemodelle sein. Ich glaube, die Energiebilanzen haben eine große Bedeutung für die Projektierung aller Energiemodelle, können aber nur als Elemente für wirklich operable und sinnvolle Modelle in Zukunft angesehen werden. Glauben Sie nicht, daß neue Begriffe über jene hinaus, die in den Energiebilanzen beschrieben werden, eingeführt werden müssen? Wir müssen doch darüber hinaus Begriffe wie Versorgungssicherheit, Umwelt, technologische Entwicklung etc. in neue Modelle einbauen. Ist in diesen Modellen die Energiebilanz nicht doch mehr ein Element und Randbedingung als ein Grundmodell?

H.J. Burchard, B.P. Hamburg: Ich halte die Energiebilanzen in dynamisierter Form für die von Ihnen angeführten Fragestellungen nicht für irgendein Element, sondern für das zentrale Element und somit für das Grundmodell. Darauf aufbauend sind gewiß spezielle Modelle erforderlich. Aber da die Energiebilanzen in sich offen sind für weitere Faktoren und sich eignen, um aus ihnen Angaben für spezielle Fragestellungen abzuleiten - wie es ja auch in der Praxis bereits geschieht, z.B. bei Versorgungsfragen, Krisenmanagement oder aus der Energie herrührenden Umweltproblemen, sollten wir uns dieses guten Instruments nicht begeben, nur um etwas Neues zu machen.

R. Quack, Universität Stuttgart: Ich glaube, etwas ist die Diskrepanz zwischen Vortrag und Diskussionsbemerkung auch durch die Definition, die Sie dem Begriff Modell in Ihrem Vortrag gaben, entstanden. Sie hatten gesagt, nach Ihrer Vorstellung gehört hierzu nur die Definition der Parameter und ihrer Variationen. Wenn wir uns jetzt bemühen um eine Sprachregelung gegenseitiger Verständigung zwischen Naturwissenschaften und Technik einerseits und Wirtschaftswissenschaften andererseits, so geht der Naturwissenschaftler und Techniker wohl davon aus, daß er das Modell dazu verwendet, um ein System nachzubilden. Dieses System stellt für ihn ein Gebilde dar, das Eingangs- und Ausgangsgrößen hat, die untereinander verknüpft sind, sein Modell stellt also eine Struktur dar, und innerhalb dieser Struktur müssen die Signalverknüpfungen nun irgendwie gewichtet werden, was

im allgemeinen durch entsprechende Parameter bestimmt wird. Man kann also in einem Modell dadurch, daß man nach unterschiedlichen Ausgangsgrößen fragt, z.B. auch Umweltrelevanz etc. erfassen. Das Primäre ist doch, daß wir uns vorher über die Verknüpfungen, die wir ins Modell einbauen, geeinigt haben.

H.J. Burchard: Herr Quack, ich glaube, Sie haben mich nicht ganz richtig interpretiert. Ich habe zwar an einer Stelle mal von den Parametern und ihrer Veränderung und den daraus resultierenden Auswirkungen gesprochen. Eingangs habe ich aber das Modell etwas anders definiert, nämlich reale Abläufe und komplexe Zusammenhänge mit Hilfe statistischer Aggregationen in eine systematische, geordnete und übersichtliche Form bringen. Ich sehe das "Modell" im Grunde genommen genauso wie Sie, als eine Struktur, in die man gewisse Eingangsdaten und ihre Abläufe gebracht hat.

W. Häfele, IIASA, Laxenburg, Österreich: Ich kann Herrn Burchard voll zustimmen. Jedoch meine ich, daß neben der Frage der Energiebilanzen auch andere Probleme gleich wichtig sind. Es gibt normative Modelle (Strategien), deskriptive Modelle (Simulationen), Optimierungsmodelle und vorhersagende Modelle (Prognosen). In solchem größeren Zusammenhang entsteht sicher auch das Problem der angemessenen Formulierung und Fassung z.B. von Zielfunktionen und einschränkenden Bedingungen (constraints). Solche Formulierung sollte die Wirklichkeit einfangen und sich nicht in erster Linie an der Mathematik orientieren.

H.J. Burchard: Ich meine, daß die Energiebilanzen für Simulationsmodelle und für Prognosen eine gute Grundlage bilden und sich in dieser Hinsicht bereits bewährt haben. Bei normativen Modellen und bei Optimierungsmodellen sind gewiß weitere Faktoren erforderlich, aber auch möglich, insbesondere die von Ihnen erwähnten Zielfunktionen.

G. Modemann, RWTH Aachen: Inwieweit sind Ihrer Meinung nach die statischen Energiebilanzen geeignet, aus den Zeitreihen ex post Übergangsfunktionen und Gleichungssysteme zu gewinnen, die für Simulationsmodelle zur Untersuchung der dynamischen Entwicklung eingesetzt werden können?

H.J. Burchard: Die Vergangenheit hat gezeigt, daß aus den ex post Zeitreihen der Energiebilanzen sehr gut Gleichungen abzuleiten sind, die sich für Simulationsbetrachtungen wie auch für Prognosen eignen. Das Problem im Augenblick ist allerdings, daß sich die Entwicklung des letzten Jahres durch einen Bruch äußert, nicht dem Modell immanente Bedingungen beeinflußt ist, und ich vermag noch nicht zu sagen, welche Auswirkungen das haben wird.

R. Quack, Universität Stuttgart: Herr Modemann hat die Frage gestellt, ob und gegebenenfalls wie Brüche in der zeitlichen Entwicklung einer Größe in das Modell einzuführen sind. Hat man ein Modell erstellt, so muß man sich fragen, an welchen Stellen Eingangs- oder Störgrößen wahrscheinlich oder möglicherweise einwirken können und gegebenenfalls mit welcher Amplitude und mit welchem zeitlichen Verlauf. Mathematisch ist es also kein Problem, beliebige Brüche in der Entwicklung in einem Modell zu berücksichtigen, solange sie vorausdenkbar sind. Was nicht denkbar ist, kann allerdings nicht berücksichtigt werden.

J.H. Burchard: Denkbar ist vieles, dennoch meine ich, daß nicht alles, was denkbar ist, auch berücksichtigt werden muß. Man wird die Wahrscheinlichkeit des Eintritts berücksichtigen müssen, und auch dann noch möglicherweise zu Fehlbeurteilungen kommen können.

K.H. Beckurts, KFA Jülich: Sie haben in Ihrem Vortrag die Rolle der Energieplanung in Staatswirtschaften erwähnt. Wissen Sie etwas Näheres über "Energy Modelling" in sozialistischen Ländern, insbesondere in der Sowjetunion und der DDR?

H.J. Burchard: Es ist mir bekannt, daß es in der UdSSR Energiemodelle gibt, mit denen auch gearbeitet wird, doch kenne ich keine Einzelheiten. Auch Ungarn hat Energiemodelle, deren Vollzugsverbindlichkeit meines Wissens pragmatisch gehandhabt wird. Aus der DDR ist mir nichts bekannt, was nicht besagen will, daß dort nicht mit Energiemodellen gearbeitet wird.

W. Häfele, IIASA, Laxenburg, Österreich: In Beantwortung der Frage von Herrn Beckurts: Das Zentrum der theoretischen Bemühungen zur mathematischen Modellbildung in der UdSSR liegt wohl in Irkutsk, Sibirien. Insbesondere ist wohl der Name von Prof. Belyavev zu nennen. Die Tradition solcher Bemühung geht offenbar auf die Aufgabe der Elektrifizierung nach der Revolution von 1918 zurück.

H.W. Schmidt, RWI Essen: Ich halte es zum gegenwärtigen Zeitpunkt für verfrüht, die Eignung der von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen jährlich für die Bundesrepublik aufgestellten Energiebilanzen für die Entwicklung von Energiemodellen zu diskutieren. Nach der Lektüre der Kurfassungen der Referate habe ich allerdings den Eindruck, daß die Energiebilanzen sehr wohl eine Basis für Energiemodelle sein können. So ließen sich beispielsweise die Daten der Energiebilanz leicht in das von Herrn Hoffman vorgestellte Brookhaven-Energie-Modell einbauen. Im übrigen enthält bereits die von den Instituten für den Bundestag im Jahre 1961 erstellte Energie-Enquête ähnliche Energie-Modell-Vorstellungen. Gestatten Sie mir noch eine Frage zu der Feststellung des Herrn Dr. Burchard, daß Energiemodelle, die auf

ein durchgreifendes Planungssystem im Energiesektor projektiert würden, mit unserer Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung nicht vereinbar wären. Ist dabei nicht auch folgendes zu beachten:

1. Wäre ein solches Planungsinstrument elastisch genug, auf die in einem modernen Industriestaat zu erwartenden dynamischen Veränderungen auf dem Energiesektor zu reagieren?
2. Würde eine straffe staatliche Planung im Energiesektor nicht zu erheblichen Störungen in den übrigen, unternehmerischer Planung überlassenen Wirtschaftssektoren führen?

Das Geschehen auf dem Energiemarkt im vergangenen Jahr hat deutlich gemacht, wie elastisch ein weitgehend auf der Wirkung des Marktmechanismus beruhendes System auch auf starke Veränderungen der Marktbedingungen reagieren kann.

H.J. Burchard: Wir haben in den Energiebilanzen über 24 Jahre hinweg Zeitreihen, nachdem wir den Bruch 1960 nun auch beseitigt haben, also vergleichbare Zeitreihen. Ich bin der Meinung, daß man diese Matrix doch aufgrund ihrer doch so guten Bewährung für andere weiterentwickelte Modelle als Ausgangsbasis benutzen sollte. Weiterhin bin ich, um auf Ihre zweite Frage zu kommen, der Auffassung, daß planerische Regelungen mit Vollzugsverbindlichkeit sich auf die Flexibilität negativ auswirken müssen, und ich glaube, daß wir mit der zur Zeit vorhandenen Flexibilität und mit dem Vertrauen darauf insgesamt gesehen nicht schlecht, sondern vergleichsweise besser gefahren sind als andere Länder, die in besonderen schwierigen Krisensituationen mit ihren Planungsvorstellungen eingegriffen haben. Um dafür ein Beispiel zu haben, brauchen wir gar nicht einmal so weit zu gehen. Beim Energieprogramm der Bundesregierung stelle ich mir immer wieder auch die Frage, inwieweit wird dieses Programm, das zunächst nicht als vollzugsverbindliches Schema gedacht ist, in der Tat von dem einen oder anderen so angesehen, so gehandhabt und tritt damit, ungewollt im Ansatz, den Weg in eine stärkere Einengung der Flexibilität ein. Umgekehrt muß man natürlich die Frage stellen, sollte man deswegen auf die Vorstellung eines Energieprogramms verzichten. Das wäre sicherlich auch nicht richtig. Den richtigen, den schmalen Grat zu finden, der dem Staat ein notwendiges Maß an Einflußmöglichkeit eröffnet, aber dem flexiblen, individuellen Anpassungsmechanismus genügend Spielraum läßt, ist die Kunst der Politik und derjenigen, die versuchen, die Politik zu beraten, und dazu gehören eben auch die Institute.

R. Quack, Universität Stuttgart: Der Vortragende erwähnte die Notwendigkeit, beim Umgang mit Modellen von Vorstellungen auszugehen, die sowohl dem Wirtschaftswissenschaftler einerseits als auch dem Naturwissenschaftler und Ingenieur andererseits vertraut sind. Dies dürfte die Vorstellung sein, daß das Modell sich zwar vereinfachte, aber doch möglichst ähnliche Beschreibung eines Systems ist, in dem der Zustand und der zeitliche Verlauf von Eingangsgrößen, die als ab-

sichtlich veränderte Stellgrößen oder unbeeinflussbar sich ändernde Störgrößen einwirken, den Zustand und zeitlichen Verlauf von Ausgangsgrößen sowie von (meß- oder berechenbaren) inneren Systemgrößen bestimmen, und zwar entsprechend dem Signalverknüpfungs- und Signalübertragungsverhalten des Modells, das demjenigen des Systems optimal nachzubilden ist. Die primäre Aufgabe ist also stets die Konzipierung dieses Modells und die Angabe, innerhalb welchen Änderungsbereiches es als gültig betrachtet wird.

H.J. Burchard: Ich stimme Ihnen durchaus zu und meine, daß die Energiebilanzen in ihrer Struktur eine Abbildung der Wirklichkeit sind, die natürlich erweitert oder mit anderen Faktoren verknüpft werden können, die mit der Energie im Zusammenhang stehen. Ich sehe jedenfalls keinen Widerspruch zu Ihren Ausführungen.



A SYSTEMS APPROACH TO ENERGY RESOURCE PLANNING*

K. C. Hoffman
Head, Engineering and Systems Division
Department of Applied Science
Brookhaven National Laboratory
Upton, New York 11973, U.S.A.

Abstract

Strategic planning is a responsibility of both industry and government and must deal with the complexities of the energy system embedded in the economy and environment. The systems approach can contribute to more rational strategic planning in the energy sector by providing a conceptual framework for discussion and a basis for quantitative analysis.

Energy research and development policy is an important component of strategic planning and a comprehensive systems methodology has been developed and applied to this policy area. The Reference Energy System and Energy System Optimization Model were designed for application to strategic planning and have been used in the assessment of new energy technologies. These models and their application are discussed in detail. Extensions of the methodology involving coupling of the energy system model to an economic model are discussed.

1. Introduction

Energy systems analysis is an activity as diverse as the many facets of the energy-economy-environment triad itself. To be of maximum utility to policy formulation in this important area, quantified systems analysis must be responsive to the unique requirements posed by specific energy policy issues and must be supplemented by a broad range of policy analysis related to those political and social aspects that are not amenable to quantitative analysis. Most important to the responsiveness of systems analysis to policy formulation is a close working relationship between systems analysis groups and those with policy responsibility and a clear distinction between research on policy issues using developed analytical techniques and re-

search on advanced methodologies for policy research.

The role of systems analysis varies considerably among the various policy issues. In many instances, the benefits of quantitative analysis of complex systems derive as much from the insight and experience gained by the analyst and user in the disciplined application of a methodology that addresses a policy issue than from the specific results indicated on computer output. In any case, the systems approach outlined here is quantitative in nature. Hence, it provides only a partial analysis or input to policy-making, which must be complemented by other less quantifiable inputs and considerations.

Energy policy analysis and planning activities involve federal, state, and local government as well as industry and citizen groups. The federal role in the past has largely involved regulation, sponsorship of research and development on advanced energy technologies, and the leasing of federal lands and off-shore areas where significant energy resources are found. Of late, the federal government is becoming increasingly involved in a more comprehensive strategic planning process in an attempt to coordinate these activities to achieve the goals of national policy such as increased self-sufficiency and environmental protection.

The major energy industries perform the bulk of the tactical and operational planning required to implement energy systems and interact strongly with state and federal regulatory agencies. As energy industries are tending to diversify into all primary energy resources they must become increasingly involved in the strategic planning process.

The system methodologies discussed in this paper are directed towards strategic planning and cover the technical, economic, and environmental aspects of the energy system. They involve a conceptual description of the technical structure of the energy system and of interfuel substitution in the network format of a Reference Energy System, and a linear programming optimization model that is used to analyze the response of the energy system to price changes and resource and environmental constraints.

Although quantitative systems analysis has been useful when applied to specific issues of somewhat limited scope, such as the supply of a given resource or the optimal mix of electric generating facilities for strategic planning purposes there is a need to achieve better understanding of the complex interrelationships between energy and other sectors of an industrialized society. The development of such comprehensive analytical models is discussed in this paper. Other approaches are being developed throughout the world and more interchange and coupling between different methodologies are needed to develop measures of consistency among alternate approaches. This type of research as well as the operational application of systems and policy analysis to planning is best conducted in an interdisciplinary environment that is closely coupled with policy-making groups. Information exchange and pertinence to regional policy issues can be fostered by regional research centers having these responsibilities.

The following sections of this paper deal, respectively, with a comprehensive methodology for strategic planning consisting of models of the energy system and economy, and a review of the application of these models.

2. Energy System - Economic Models

The energy system-economic analysis techniques developed for strategic planning encompass the technological features of the energy system as well as economic and environmental factors /1/. The energy system model is based on the Reference Energy System and the Brookhaven Energy System Optimization Model (BESOM) that has been developed and applied to energy technology assessment and studies of patterns of interfuel substitution. The coupling of this model to an Input-Output representation of the United States economy is in progress. These coupled models will be employed for energy-economic analysis at the national level although they can also be applied at the regional level given an appropriate regional data base. Work on the incorporation of a more sophisticated treatment of biomedical and environmental effects of the energy system is in the planning stage.

The Reference Energy System format and associated projection techniques are employed for developing energy supply-demand projections at a high level of technological and functional disaggregation. The BESOM model provides a methodology for the detailed analysis of energy resource allocation and the energy technologies that may be employed under the influence of constraints on the availability of those resources and technologies. The usual objective in the optimization process is cost minimization; however, a variety of objectives and special constraints including environmental considerations may be reflected in the formulation of the model.

The coupling of the energy system optimization model with the Input-Output model overcomes certain difficulties in the conventional Input-Output approach by providing for technological change and interfuel substitution in the energy sector. This coupling also makes explicit the relationship between the energy demands used in the energy system model and the GNP structure represented in the final demand sector of the Input-Output model. The effort to couple these models is a joint program between the Energy Systems Analysis Group at Brookhaven and the University of Illinois, Center for Advanced Computation.

The scope of the Brookhaven energy system-economic models, their interrelationship with supporting data bases, and applications are illustrated in Fig. 1. Following is a summary and definition of the elements shown in Fig. 1.

EMDB - Energy Model Data Base. A model independent data base including efficiency, air and water emission, and occupational hazard coefficients expressed in

appropriate units per 10^{12} Btu for approximately 600 supply processes and 200 end uses.

- I-O - Input-Output Model.
- ESYG - Energy System Generator. Computer program designed to extract data from EMDB and convert to coefficients for BESOM.
- ESNS - Energy System Network Simulator. Energy flow computer program designed to produce resource and emissions inventory in RES format using data from EMDB.
- BESOM- Brookhaven Energy System Optimization Model. A linear programming model for analysis of optimal supply-demand configurations of the energy system.
- RES - Reference Energy System. Network description of energy system including all processes from extraction through conversion and transportation to end use. Resource consumption and emissions and environmental effects inventories are included.

Reference Energy System and Optimization Model

The Reference Energy System (RES) and linear programming optimization model (BESOM) include a detailed representation of energy supply and utilizing technologies. These models were designed for application of the analysis of future development of the energy system and of interfuel substitution patterns that may take place in response to constraints on the supply of individual fuels. A version of BESOM incorporating demand elasticities is under development and will enhance the projection capability of the model by accounting for changes in the level of demand for energy in response to price changes.

The RES is essentially a specialized format for representing the detailed technological structure of the energy system along with resource consumption and emissions to air and water. As such, RES's can be developed with or without the aid of a simulation or optimization model. Computerized network-type flow models have been developed at Brookhaven to construct RES's drawing on efficiency, cost, and environmental data from the Energy Model Data Base (EMDB) /2/. The EMDB is available on the Brookhaven computer and includes about 600 individual supply processes and 200 end uses.

The BESOM provides an optimization technique for use in the development of RES's reflecting supply constraints and their influence on interfuel substitution. The features of this model that are important in projecting energy supply and demand are the scope of the model in allowing for substitution between the electric and non-electric sectors, the incorporation of a load-duration curve for the electric sector, and the inclusion of the

utilizing device as an important element in interfuel substitution. The major shortcoming of the model at present is the lack of regional detail which may lead to somewhat different fuel use patterns based on variations in transportation cost of different energy forms.

The RES and BESOM techniques require a special type of demand specification as input. The demand is specified as a Basic Energy Demand in Btu, which is the amount of energy required to support an energy utilizing activity such as space heat, automotive propulsion, etc. assuming that the energy could be used at 100 % technical efficiency. The models incorporate the efficiencies of supply and utilizing technologies and thus are employed to determine the resource demands (e.g., oil, gas, coal, electric) associated with the Basic Energy Demands that are specified as input.

The linear programming model of the U.S. energy system /3/ includes provision for full range of interfuel substitution, including substitution between electric and non-electric energy forms. It encompasses the entire energy system including all resources and demand sectors as shown in the Reference Energy System, Fig. 2. Since the range of interfuel substitutability that is feasible depends on the supply and utilization technologies that are available, the model includes the characteristics of these technologies. The technology related parameters that appear explicitly in the model are the efficiencies of energy conversion, delivery, and utilization devices; the emissions produced by the devices, and their cost. The intent in establishing the scope of the model was to include the technical elements that are of major importance in a framework that is as simple as possible. Simplicity is a requirement if all assumptions are to be evident and the results easily interpreted.

The Reference Energy System shown in Fig. 2 is quantified with a set of projected energy flows for the year 1985 from alternate resources through the various energy conversion and delivery activities to specific end uses. Each link in the network represents a process or mix of processes used for a given activity, such as the refining of crude oil. Cost, efficiency, and emission coefficients may be associated with each link. The energy flows indicated in Fig. 2 reflect the technical efficiencies of the individual processes and thus the flows decrease progressively through the network. The projected energy flows correspond to several projections that had been prepared earlier /4,5/ to indicate the degree of reliance on imported fuels that might result unless action were taken to move toward self-sufficiency and conservation. This projection has been used in several studies as a point of departure for the development of alternative configurations. The links shown in the network diagram reflect only existing technologies. Using the linear programming model, alternative energy flows may be determined which employ new technologies and which also involve the substitution of domestic resources to replace imported oil and gas.

The model determines the optimal energy flows within the energy demand and resource supply constraints that are applied for a particular analysis. The output of the analysis includes the

total annual cost of service and an inventory of emissions to the environment associated with a given energy flow solution. Examination of the energy demand sectors at the right-hand side of the network indicates the degree of disaggregation included in the analysis. The substitution possibilities are dependent on these functional end uses and are quite different between the air-conditioning, automotive, and process heat categories, for example. The load-duration structure of electrical demands is also reflected in the model since the type of electric generating equipment employed is dependent on the portion of the load curve that it is to operate on. This is an important consideration in substituting electric energy for other fuels in such categories as space heating and transportation where there are significant peak demands.

The optimization of the energy system is performed with respect to cost and the objective is to minimize the cost of service, subject to policy, economic, and other constraints that may be represented in the objective function and constraint equations. Amortized capital costs, fuel costs, and other operating costs are included. A fixed charge rate of 15 % is used for capital costs. Additional constraints are included to reflect existing systems that would not be replaced and to specify certain fuel uses that will probably occur for special reasons, such as regional viability, that are not reflected in an overall cost optimization of the U.S. energy system.

The linear programming methodology is rich in economic interpretation. Of particular interest is the marginal value or "shadow price" of scarce resources in a given solution. These represent the unit change in overall cost of the system resulting from a unit change in availability of given resources. They are dependent on the cost differential between the scarce resource and a more costly but abundant substitute as well as on the relative technical efficiencies of the alternatives. The shadow prices provide a measure of the economic equilibrium of the system in terms of a comparison of the cost of expanding capacity of a given type with the value of that additional capacity. They may also be used to assess the structural changes that might occur in response to changes in economic values assumed in a given analysis. The output for a given analysis also provides an extensive study of the range of cost and efficiency over which given technologies are competitive.

Input-Output Model

A special version of the energy Input-Output model constructed at the University of Illinois, Center for Advanced Computation is under development to allow coupling this detailed model of the overall economy with the energy system model, BESOM.

The coupled Energy System/Input-Output model will be used primarily as an analytical technique to investigate the impact of al-

ternative energy systems on industrial requirements. The coupled models also provide a means of developing energy demand projections that are internally consistent with projected vector of final demands for the Input-Output (I-O) model that represent GNP.

A matrix for the Input-Output model is shown schematically in Table I. The matrix is partitioned into four input and output sectors. R represents resource supplies, S represents secondary energy forms (electricity, hydrogen, etc.), P represents Energy Products or Basic Energy Demands (space heat, lighting, process heat, etc.), and I represents industrial sectors.

The development procedure to be followed involves extracting the energy technological coefficients from the current 365 sector I-O model /6/ and the expression of energy inputs in the I-O model in terms of Basic Energy Demands which are independent of the fuel form. The fuel mix used to satisfy those demands will then be determined by the BESOM. Energy supply-demand coefficients are also incorporated in the I-O model and represent fuel allocations determined by BESOM. The sequence in performing an analysis with the coupled model is as follows:

1. Develop projected final demand vector for the I-O model representing GNP.
2. Insert approximate energy supply-demand coefficients in I-O model (A_{RS} and A_{SP}).
3. Run I-O model to determine Basic Energy Demands, or Energy Products, associated with GNP projections.
4. Run BESOM with Basic Energy Demands as inputs to determine energy supply-demand configuration.
5. Convert BESOM output to energy supply-demand coefficients for I-O and insert these into I-O model.
6. Perform iterative run and test for convergence of Basic Energy Demands.

3. Applications to Strategic Planning

The Reference Energy System and Optimization Model have been applied extensively to energy research and development planning. In this section the general approach to this planning task will be described, followed by an outline of the type of information produced in using the models for technology assessment and of the capabilities that will be provided by the systems analysis techniques that are under development.

The reserach and development policy area is of great importance to the future development of our energy system. Only through the development of new technologies can the diversity and flexibility

be realized to allow the energy system to adapt to the changes in resource availability and environmental concerns that will occur over time.

There have been three major energy research and development plans within the past 10 years /7,8,9/. In the last two assessments, performed respectively by the Office of Science and Technology and the Chairman of the Atomic Energy Commission, systems analysis techniques were applied to the evaluation of the potential impact of new energy technologies. This involved the use of Reference Energy Systems which represent projections of the energy technologies and of the systems that would be employed to satisfy increasing energy demands. The Reference Energy Systems assume little in the way of new technology. A quantitative estimate of the relative impacts of new technologies is obtained by placing a new technology in the system as a replacement for some other technology and by considering its relative efficiency, cost, and environmental characteristics. Consequently, the quantitative changes in resource usage, cost, and emissions attributable to the employment of the technology are obtained. This is a relatively simple analytical approach yet was quite well suited to the task at hand. Reference projections and levels of implementation assuming successful development were arrived at by something close to a Delphi approach. This assessment technique provided a resolution of the typical problem associated with such activity when each proponent of a technology tends to overestimate the importance of the area impacted by his concept as well as taking an overly optimistic view of economic performance and level of implementation.

The analysis then answers questions regarding the effect of the technology assuming the research and development is successful. This obviously is but a small part of the larger question dealing with the appropriate allocation of available funds among competing concepts, among near and long term options, and between the research, development, and demonstration phases of the programs. Portfolio theory and game theory may be applicable to such questions, but little progress has been made toward the quantitative analysis of these questions. A basic problem is the extreme uncertainty that exists regarding scientific feasibility and engineering and economic feasibility of new technologies. The most suitable approach to this problem of allocation of R&D funds among competing technologies is to develop R&D goals and establish criteria for termination of an approach when it is clearly not competitive with alternatives. Such criteria should not give undue emphasis to economics and must consider the possibility of changing objectives.

The priorities for demonstration projects, which tend to be much more costly than research and development work are probably most easily established since they tend to be near term and can be analyzed in terms of potential market impacts. Research and development priorities are much more difficult to establish, however. If economic criteria are used, the uncertainties are so great that it is difficult to interpret a cost-benefit analysis. Social and environmental benefits of such technologies are frequently overlooked as are potential changes in the cost of competing systems.

A broad and comprehensive systems analysis approach that focuses on the diversity, flexibility, and adaptability of the energy system provides superior approach to the evaluation of technologies prior to the demonstration phase. Such analysis presents objectives to be met in terms of technical, economic, and environmental parameters. The early phases of the research and development program are seen as the purchase of information regarding a particular option. When the degree of uncertainty is reduced, support can be increased or decreased as appropriate. The options should be selected from the point of view of the potential for increasing the flexibility of the system with less emphasis on cost competitiveness which existing systems.

The strategic planning methodology outlined in this paper provides for the quantitative analysis of alternative technical and resource options. Table II shows a sample of the type of information obtained by applying the Reference Energy System and Optimization Model to the assessment of new energy technologies. A set of supply and demand constraints, technical coefficients, and costs were estimated for the year 2000 and a series of optimization runs were made to evaluate the cost, efficiency, and environmental impacts of a non-electric air-conditioning system and a battery-driven automobile by comparison with a base-case analysis in which these options were excluded. These options are introduced into the base case individually and then simultaneously. The results are presented primarily to illustrate the application techniques and the output information that may be obtained. Additional runs using a range of technical parameters and cost estimates are required before any final conclusions may be drawn with respect to the technologies evaluated.

The supply and demand categories identified for this study are shown in Table III which also illustrates the optimal solution for the base case in which the new technologies under consideration were excluded. Each feasible supply-demand combination in Table III is represented by a variable in the linear programming model. The supply and demand constraints that applied throughout the series of runs are given in units of 10^{15} Btu. Note that the rows and columns do not sum to the constraint values since supply and utilization efficiency coefficients must be applied to the variables.

Throughout this series of analyses it was assumed that the new technologies could completely displace the systems appearing in the base case. It was further assumed that all battery charging for the electric automobile is done using off-peak power. Additional constraints may be easily added to limit the introduction of new technologies and a more complex load structure assumed for battery charging. Such modifications would be included in a more extensive analysis along with analyses of the sensitivity of the solution to variations of costs and constraints.

In the static optimization model that was used in the above analysis, the focus is on a particular planning year in the future and the economic benefits are obtained for that planning year. As a basis for cost-benefit analysis, the cost of the re-

search and development program should be compared with the discounted present worth of the ultimate benefits of implementing the technology over the entire planning horizon. These benefits may be estimated with the static model by applying it at several points in time, interpolating the benefits between those points, and calculating the present worth of that stream of annual benefits. A dynamic, or multitime-period, optimization model would use minimum present worth as the objective and optimize simultaneously over all time periods. Using such a model, the benefits would be calculated directly in terms of their present worth.

The coupling of the Energy Systems Optimization Model to an input-output model will provide for analysis of the interaction between energy demands and costs, and the overall economy. It will also facilitate study of the industrial requirements, e.g., steel, pressure vessels, piping, for alternative energy strategies.

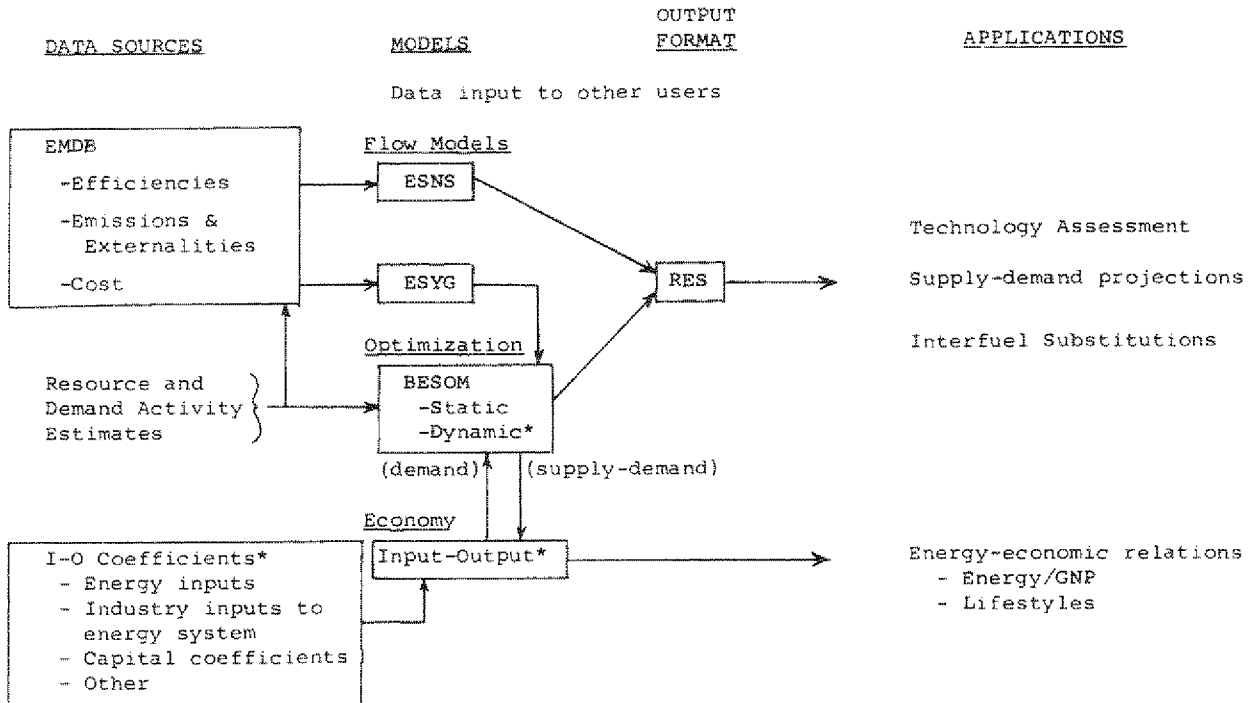
Finally, increased sophistication is required in the treatment of environmental impacts. Regional definition of the energy system is important in most applications, but is of extreme importance with respect to environmental affects. More information is required on the transport, conversion, and fate of pollutants so that gross emissions can be interpreted in terms of biomedical effects on people. These phenomena have a strong regional dependence and cannot be addressed adequately in models representing a national average situation.

References:

- /1/ HOFFMAN, K.C., PALMEDO, P.F., MARCUSE, W., and GOLDBERG, M.D.:
Coupled Energy System-Economic Models.
Conference on Energy Modelling and Forecasting, Berkeley, California,
June 28, 1974.
- /2/ GOLDBERG, M.D.:
An Energy Model Data Base.
Internal Memorandum, BNL-ESAG-5, March 30, 1973.
- /3/ HOFFMAN, K.C.:
The United States Energy System--A Unified Planning Framework.
Doctoral Dissertation, Polytechnic Institute of Brooklyn, June 1972.
- /4/ Associated Universities, Inc., Reference Energy Systems and Resource
Data for Use in the Assessment of Energy Technologies, AET-8, April 1972.
- /5/ DUPREE, W.G., Jr., and WEST, J.A.:
United States Energy Through the Year 2000.
Department of the Interior, December 1972.
- /6/ HERENDEEN, R.A.:
An Energy Input-Output Matrix for the U.S., 1963: Users Guide.
CAC document No. 69, University of Illinois, March 4, 1973.

- /7/ CAMBEL, A.B.:
Energy R&D and National Progress.
USGPO, 1964.
- /8/: Energy Advisory Panel, Office of Science and Technology, An Assessment of New Options in Energy Research and Development, AET-9, November 1973.
- /9/ U.S. Atomic Energy Commission, The Nation's Energy Future, WASH-1281, December 1, 1973.
-

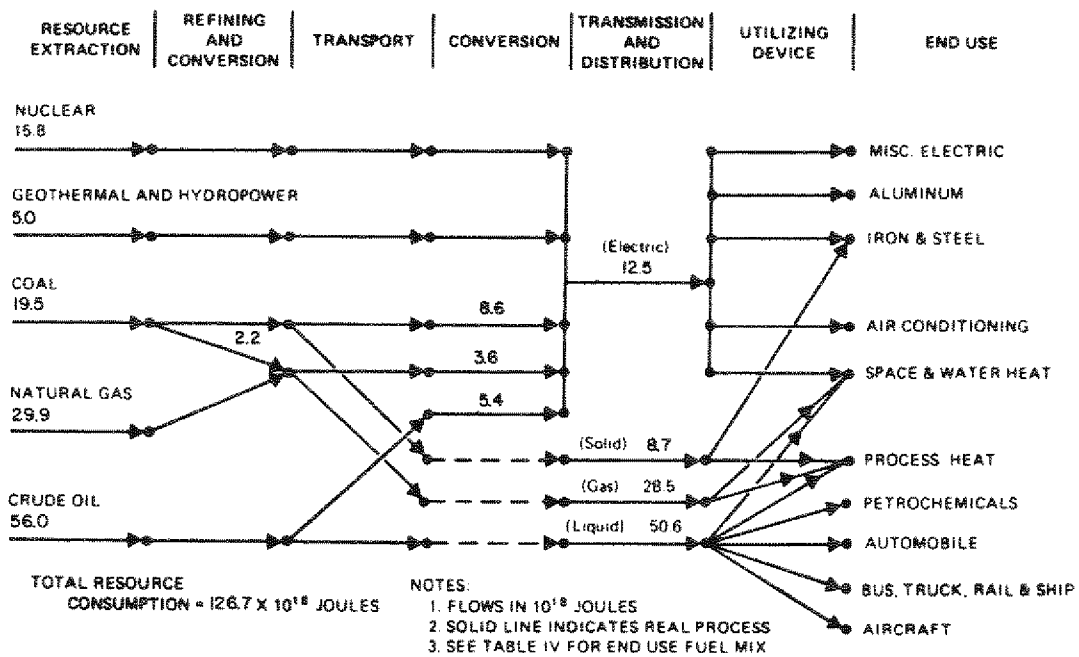
* Work performed under the auspices of the U.S. Atomic Energy Commission.



* - under development

BROOKHAVEN ENERGY SYSTEM-ECONOMIC MODELS

Figure 1



ENERGY SYSTEM NETWORK (1985)

Figure 2

Table I

STRUCTURE OF INPUT-OUTPUT MODEL
FOR COUPLING WITH ENERGY MODEL

"A" matrix:

	R	S	P	I
P	O	A _{RS}	O	O
S	O	O	A _{SP}	O
P	A _{PR}	A _{PS}	O	A _{PI}
I	A _{IR}	A _{IS}	O	A _{II}

Terminology R = Primary energy resource
S = Secondary energy form
P = Energy Product (or Basic Energy Demand)
I = Industry flows

Table II. Cost and emissions summary for alternative technological strategies

	Base Case (T-1)	Admit non-electrical air-conditioner (T-2)	Admit battery-driven automobile (T-3)	Admit both options, Standard Case (T-4)
Objective, minimised	Cost	Cost	Cost	Cost
Annual cost (\$10 ³)	213.5	207.6	170.1	164.3
Efficiency ^a (%)	43.5	43.5	46.7	47.2
CO ₂ (10 ¹¹ lb)	305.0	305.5	301.1	295.5
CO (10 ⁹ lb)	37.0	36.3	9.0	8.9
NO _x (10 ⁹ lb)	25.9	22.1	41.1	36.1
SO _x (10 ⁹ lb)	27.3	20.1	54.8	48.0
Particulates (10 ⁹ lb)	9.6	8.6	11.6	10.5
Hydrocarbons (10 ⁹ lb)	50.9	49.6	13.9	13.7
Radioactive waste (10 ⁴ Curies)	65.0	65.0	65.0	65.0
Thermal energy ^b (10 ¹¹ Btu)	213.1	213.0	200.1	198.1

^aHydropower and solar energy are excluded from this calculated efficiency
^bMay also be interpreted as consumption of exhaustible resources.

Table III. Optimal solution for base case, T-1 (10¹⁵ Btu)

SUPPLY	DEMAND													
	Space heat	Air cond.	Intermed. LF 0.5	Electricity Base LF 1.0	Peak LF 0.1	Water & synth. desal.	Pump stage fuel	Water heat	Misc. thermal uses	Air trans.	Ground trans. publ. & coml.	Ground trans. private	Iron prod.	Cement prod.
Hydroelectric			*	1.09			*	0.58			0.73			
Geothermal elec.					0.20									
Coal steam elec.	1.25	1.00	*	2.72		*	*	*			0.41			
LWR elec.	*		1.13	8.57		3.00	*	*			*			
LMFBR elec.			1.20	*		*	1.00	1.78			2.27			
Gas turb. elec.					0.48									
Pumped storage					0.71									
Oil products										8.50	30.17			
Natural gas	*								18.18	*				
Synthetic fuel														
Coal gas & coal	13.38					*			29.07	*			5.00	1.75
Solar						2.30		0.34						
Tot. energy syst.	0.25	0.20	0.14									0.11		
Demand slack						49.1								
Demand constraint	12.2	3.9	2.7	13.0		2.6	50.0	2.7	37.8	1.7	3.0	6.1	2.0	1.4

* Indicates that variable would enter the optimal base with a cost reduction of less than 0.10 \$10⁶ Btu. -- Indicates variable blocked



DISKUSSION

W. Häfele, IIASA, Laxenburg, Österreich: I am somewhat familiar with your work, as you know. It is against this background that I would like to inquire about the possibility to extend the present work which is for a given point in time to a dynamic version that covers a whole time interval, i.e. to cover problems of best strategies for technological transistives. Could you elaborate?

K.C. Hoffman, Brookhaven, USA: Dynamics can be inserted into even a static model by special constraints that consider time dependent problems. We do have a 4 time period dynamic model that includes the same level of detail as the static model, and we are developing a 15 time period (~50 years) model.

H. Fuß, DFVLR, Porz-Wahn: Given the "Energy System Network" (Fig. 2) the flow of energy to the end use looks very much straight forward. But at any transition of energy (resp. its source) (from place to place or from form to form) end uses (e.g. trucks, heat) are involved. The question aimed to these interconnections.

K.C. Hoffman: The requirements for industrial and consumer products at various stages of the Reference Energy System may be presented in the input-output matrix. A_{IR} denotes industrial products required in resource extraction (e.g. drag times for strip mines), A_{IS} denotes industrial products required for the production of secondary energy forms (e.g. unit trains nuclear pressure vessels) and A_{IP} denotes industrial products required gas end uses (e.g. autos, trucks, furnaces, heat pumps).

G. Egberts, KFA Jülich: In your optimization model in the electricity generating sector did you low coupling of electricity and heat generation, if you did, how did you incorporate the problem of the different low duration lines of heat demand and electricity and if you did it, why?

K.C. Hoffman: There is a supply option in the LP model for an electric generating plant with byproduct heat utilisation

for space heating and cooling. This is set up for an oil fired turbine operating at an electrical load factor of 0.5. Constraints are included on the amount of heat available as a by-product and could be applied to other electric generating options (e.g. nuclear).

H.W. Nürnberg, KFA Jülich: The sole correlation of nuclear energy as primary energy form with the secondary energy form electricity in the presented energy system network for 1985 is to be regarded as a rather restricted view point. Why is there no connection of nuclear energy also with gasification of coal? In many parts except the task of the coupling of high temperature reactors to gasification devices the coal gasification is already a well established technology, and the introduction of its nuclear version in the eighties seems feasible. It should be noted that the nuclear gasification of coal via high temperature reactor process heat is economically attractive and with respect of environmental aspects mandatory, as it offers a possibility to reduce the emission of CO₂ into the atmosphere, which would otherwise lead to possibly very dangerous results with respect to climate changes.

K.C. Hoffman: The reference energy system RES I described was a base case for 1985, representative if there would be no new technologies developed and then, as people want to propose new technologies, they put in the appropriate that exercises left to the reader, to put in the appropriate answers and modifies the flows accordingly. The object you speak of is a feasible one and one we are considering. In the USA the current thinking is that the CG, the direct gasification of coal, if you run a coal field and you have the coal to gasify, the cheapest heat source at that side is coal. Some conclusions of our project independent activity and the conclusions of the FEA with the restraints on the construction of nuclear power plants will be doing well to build those be required to produce electricity and going to have to burn more coal directly in the USA, if we are going to do any substitution for oil and in the near term, the direct burning of coal is just going to have to be accomplished. We are not concerned about the CO₂, but we are concerned on SO₂ and particulates.

P. Gonschior, DFVLR, Porz-Wahn: Please allow me to ask a rather special economical question: It seems to me very interesting that you try to combine your technical models with an important economic subject like "elasticities" - for example direct price elasticity. As far as we all know, elasticities are only for a very short time model. Can you give some ideas how you can use the quantitative elasticities for a longer range of time?

K.C. Hoffman: In our previous analyses, we ignored supply and

demand elasticities. Although these are difficult to estimate, for either the near or long term, we feel that we must now allow for such effects. We will rely on other research groups to estimate these parameters and will use their best values for our analyses.

G. Modemann, RWTH Aachen: You couple the different models with your linear optimization model and make some iterations (cycles). Can you say more about your experience with the convergence of these iterations? Which concession of the coefficient was needed?

K.C. Hoffman: We can only report the results for the iterative coupling with a 100 sector I-O model. Four iterations were required for convergence. More details can be obtained from W. Maruce or D. Behling of Brookhaven.

K. Conrad, Universität Tübingen: Dr. Hoffman reports that an input-output model with 365 sectors is under development which should be coupled with the Hudson-Jorgenson Model. The Hudson-Jorgenson Model has 5 energy sectors and 4 non-energy sectors. It follows that the national economy, divided into 4 non-energy sectors, is coupled with 361 energy sectors. I would like to ask, Dr. Hoffman, whether the course subdivision of the national economy in 4 non energy sectors is able to deliver the detailed information which is necessary for a subdivision into 361 energy sectors to produce a reasonable coupling.

K.C. Hoffman: The 365 sector IO model contains considerable technical details, but does not have price responsive coefficients while the smaller Hudson-Jorgenson model has price responsive coefficients but less technical detail. We will be coupling our energy system model to each of these and hope to do sensitivity analysis to determine the appropriate level of detail in our IO model.

K.H. Beckurts, KFA Jülich: This question is not directly related to the BNL work. You mentioned the zero energy growth scenario which had been considered in the Ford Foundation Study and which has to be enforced by a 1 \$/million BTU tax. Could you tell us which effects this had on other sectors of the economy, especially on inflation, employment, and GNP?

K.C. Hoffman: The detailed analysis is reported in Appendix F of the report of the Energy Policy Study - Ford Foundation "A Time to Choose". In the year 2000, the zero energy growth (zero per capital growth) scenario has a 50 % reduction in energy resource consumption from the Base Case. This was achieved with a "BTU tax" which was allocated to medical

care in the Service Sector. The resultant effect on GNP 2000 was about a 5 % reduction (increase in service sector, decreases in industry, transportation and agriculture). Inflation rate increased, and unemployment decreased.

DIALOGPROGRAMM
ZUR ENTWICKLUNG UND ÜBERPRÜFUNG VON LANGFRISTKONZEPTEN
FÜR DAS ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM
UND ANWENDUNG AUF DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

H. Bossel
P. v.d. Hijden
W. Hudetz
R. v. Denton
Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)
Karlsruhe
und
Psychologisch Laboratorium
Universität Nimwegen

Zur Untersuchung, Beurteilung und Vorbereitung langfristiger und kurzfristiger energiepolitischer Maßnahmen sind relativ komplexe Planungswerkzeuge notwendig, d.h. Rechenmodelle, mit denen sich zumindest die wichtigsten gesellschaftlichen Konsequenzen energiepolitischer Entscheidungen bestimmen lassen. Diese Modelle sollten vom Entscheidungsträger selbst benutzt werden können; sie müssen daher interaktiv und benutzerfreundlich sein.

Es wird ein strukturelles Modell des Energieversorgungssystems für eine beliebige Region besprochen. Das Modell enthält nur physikalisch mögliche Pfade von Energieflüssen und keinerlei Daten. Alle Anfangs- und Szenariendaten werden im Dialog mit dem Rechner durch den Benutzer eingegeben. Es können Szenarien mit den folgenden Aspekten untersucht werden:

- Art, Zusammenstellung und Höhe der verschiedenen Primärenergieeingaben,
- Art, Höhe und Verteilung der Energieeinfuhren und -ausfuhren,
- unterschiedliche Verteilung der Energieflüsse auf Umwandlungsprozesse,
- unterschiedliche Verteilung der Sekundärenergieflüsse auf Endverbraucher,
- unterschiedliche technologische Entwicklungen,
- Preis- und Kostenverschiebungen.

Das Programm berechnet Zeitreihen für über 700 Veränderliche des Energieversorgungssystems (vor allem Energieflüsse, Kosten, Investitionen, Wachstumsraten), auf die einzeln "fokussiert" werden kann. Zusammenstellungen der wichtigsten Veränderlichen stehen am Bildschirm und Drucker zur Verfügung. Ein weiteres interaktives Unterprogramm ermöglicht die Bewertung der Ergebnisse in bezug auf sieben Entscheidungskriterien und damit die Identifizierung von Problemstellen.

Das interaktive Programm bietet die Möglichkeiten

- Betrieb auf verschiedenen Schwierigkeitsstufen,
- Rückkopplung der Konsequenzen einer Eingabe und damit:
- Möglichkeit der sofortigen Korrektur von Eingaben und das
- Lernen des Benutzers durch Versuch und Irrtum.

Damit kann der Benutzer durch einen längeren Dialog an der Datensichtstation die Konsequenzen verschiedener Alternativen relativ rasch durchspielen und sich allmählich auf akzeptable Lösungen "einschießen".

Als Anwendungsbeispiel werden einige Ergebnisse für die Bundesrepublik Deutschland gezeigt.

I. DIALOGPROGRAMM ZUR ENTWICKLUNG UND ÜBERPRÜFUNG VON LANGFRISTKONZEPTEN FÜR DAS ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM

Allgemeines

Im Rahmen des von der Stiftung Volkswagenwerk geförderten multi-regionalen Weltmodellprojekts /1/ (Direktoren: M. Mesarovic, E. Pestel) wurde im Winter 1973/74 von H. Bossel am Systems Research Center, Cleveland, Ohio, ein strukturelles Modell des Energieversorgungssystems ESP /2/ für eine beliebige Region oder ein beliebiges Land erstellt. Das Modell selbst enthält nur physikalisch mögliche Pfade von Energieflüssen und keinerlei Daten. Vor Anwendung auf eine bestimmte Region oder ein bestimmtes Land müssen historische Daten (meist für 1970) und Szenarioannahmen für den Rechenzeitraum (meist 1970 bis 2025) eingegeben werden. Die Daten betreffen die Art und Höhe der Energieeingaben in das zu untersuchende Energiesystem, Energieeinfuhren und -ausfuhren, die Verteilung der Energieflüsse auf Umwandlungsprozesse und Verbraucher, die Wirkungsgrade der verschiedenen Energieumwandlungen, die Preise der verschiedenen Primär- und Sekundärenergien und die Investitionskosten für Umwandlungswerke und Energieverteilung zum Verbraucher. Eine Zusammenstellung der im ESP-Modell berücksichtigten Umwandlungsprozesse gibt Abb. 1.

Nach Eingabe entsprechender Daten⁺⁾ können mit dem ESP-Modell alternative Szenarien für das Energieversorgungssystem mit den folgenden Aspekten untersucht werden:

- Art, Zusammenstellung und Höhe der verschiedenen Primärenergieeingaben;
- Art, Höhe und Verteilung der Energieeinfuhren und -ausfuhren;
- unterschiedliche Verteilung der Energieflüsse auf Umwandlungsprozesse;
- unterschiedliche Verteilung der Sekundärenergieflüsse auf Endverbraucher;
- unterschiedliche technologische Entwicklungen;
- Preis- und Kostenverschiebungen.

Das Programm berechnet Zeitreihen für die Höhe der Energieflüsse an (fast) allen Punkten des Energiesystems und für die entsprechenden Energie- und Investitionskosten. Ausgewählte Zeitreihen werden auf einem 17-seitigen Ausdruck wiedergegeben.

Die Vorbereitung eines Simulationslaufs auf dem ESP-Modell erfordert die sorgfältige Erstellung einer großen Zahl von Zeitreihen, das Ablochen und die Eingabe von Lochkarten und das Abwarten der Rechnerausdrucke, die trotz Wiedergabe der Zeitreihen für eine große Zahl von Veränderlichen u.U. nicht die gewünschte Information enthalten. Unter dieser Beschränkung leidet die Flexibilität und Benutzerfreundlichkeit. Diese Nachteile des Off-line-Betriebes lassen sich durch Übergang zum Dialogbetrieb zum Teil vermeiden. Unter anderem bietet der interaktive (Dialog-)Betrieb die folgenden Möglichkeiten:

- Betrieb auf verschiedenen Schwierigkeitsstufen,
- Rückkopplung der Konsequenzen einer Eingabe und damit:
- Möglichkeit der sofortigen Korrektur von Eingaben und des
- Lernens des Benutzers durch "Versuch - und - Irrtum".

Damit kann der Benutzer durch einen längeren Dialog an der Datenstation die Konsequenzen verschiedener Alternativen relativ rasch durchspielen und sich allmählich auf akzeptable Lösungen "einschießen".

Im Hinblick auf diese Vorteile wurde das ESP-Modell im September/Oktober 1974 auf interaktiven Betrieb umgestellt (Programm ESPINT). Die Kausalstruktur des ESP-Modells wurde dabei geringfügig erweitert durch feinere Auffächerung der Investitionskostenkategorien. Die Arbeit wurde wiederum im Rahmen eines Forschungsauftrags der Stiftung Volkswagenwerk durchgeführt, der zu besserer Simulation komplexer Entscheidungsvorgänge beitragen soll.

Um die Benutzung des Programms auch dem Ungeübten zu ermöglichen, erfolgt der Dialog ausschließlich in natürlicher Sprache (auf Wunsch Englisch, Deutsch oder Holländisch) und Zahlen. Auf Wunsch können ganze Abfrageblöcke, die das technische Wissen des

⁺⁾ Im ursprünglichen ESP-Modell auf 109 Lochkarten

Benutzers übersteigen, oder deren Parameter nicht verändert werden sollen, übersprungen werden. Das Programm rechnet dann mit den historischen Daten von 1970 bzw. mit den zuletzt eingegebenen Daten. Im einfachsten Fall läßt sich das Programm durch Angabe von Gesamtprimärenergieeinträgen oder deren Wachstumsrate betreiben. Im kompliziertesten Fall muß der Benutzer für jeden Zeitschritt 146 Parameter eingeben. Durch entsprechende Logik werden ausschließlich problemrelevante Fragen gestellt.

Nach der Parameterabfrage für einen Zeitschritt hat der Benutzer die Möglichkeit, sich am Bildschirm Zusammenfassungen der aus der Parameterwahl folgenden Konsequenzen zeigen zu lassen, oder gezielt sich den zeitlichen Ablauf von einer oder mehreren aus insgesamt über 700 Veränderlichen zu betrachten. (Jede einzelne dieser Variablen ist an einer Suchhierarchie in drei bis fünf Schritten schnell und gezielt ansprechbar.) Weiter ist die Möglichkeit einer Ergebnisbewertung für jeden Zeitschritt nach sieben für das Energieversorgungssystem wichtigen Entscheidungskriterien gegeben. Diese Bewertung wird in Form einer "Problemlandkarte" wiedergegeben, die dem Benutzer Problemstellen anzeigt.

Bei der Szenarientwicklung kann der Benutzer nach Belieben zu früheren Zeitabschnitten zurückgehen, um "Fehlentscheidungen" rückgängig zu machen und neu zu beginnen. Das Rechenprogramm ist als Prototyp einer neuen Generation interaktiver Planungsprogramme für den Betrieb auf Kleinrechnern ausgelegt, die einen relativ problemlosen Anschluß unterstützender Peripheriegeräte gestatten (Kleinplattenspeicher, Bildschirme, Projektoren, Bandgeräte). Die ergonomische Erfahrung zeigt, daß mit diesen audiovisuellen Geräten während des Dialogverkehrs bei komplexen Sachverhalten Zusatzinformationen vermittelt werden müssen, um den Benutzer nicht über Gebühr zu belasten.

Das interaktive Planungsmodell des Energieversorgungssystems soll vor allem zwei Zwecke erfüllen:

1. Ermöglichung der Bearbeitung eines komplexen Planungsvorgangs durch interessierte Laien;
2. Bereitstellung eines Werkzeugs für die Untersuchung komplexer Entscheidungsprozesse am konkreten und aktuellen Objekt.

Um dem ersten Zweck gerecht zu werden, ist im Programm lediglich das problemspezifische Kausalnetz festgelegt, dessen Komplexität bei weitem menschliche Informationsverarbeitungskapazität übersteigt. In dieses Kausalnetz muß der Benutzer seine Kenntnisse und subjektiven Vorstellungen über Einzelaspekte einbringen, deren Konsequenzen das Programm dann errechnet.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, daß das Modell einen gemeinsamen Nenner benutzt, der für Experten und Nichtexperten aller Schattierungen gleichermaßen gültig ist: über das "Woher" und "Wohin" von Energieflüssen gibt es keine Debatte. Die Debatten beginnen, wenn es um das "Wieviel" geht, insbesondere das zukünftig Machbare oder Wünschbare. Diese Vorstellungen fließen hier ausschließlich vom Benutzer her ein. Die Rechenergebnisse sind damit Ergebnisse seiner Entscheidungen, ohne die das Programm nicht laufen kann. Damit dürfte auch klargestellt sein, daß es sich bei ESPINT nur um ein bedingtes Prognoseinstrument

handelt, das lediglich die direkten Konsequenzen einer bestimmten Eingabe wiedergeben kann.

Die Erfüllung des zweiten Zwecks wird ebenfalls durch klare Trennung zwischen objektiven Gegebenheiten (physikalischen Kausalitäten und historischen Bedingungen) und subjektiven Eingaben (Szenarien und dazu erforderliche Daten) erleichtert.

Entscheidungen werden im allgemeinen durch mehrere Entscheidungskriterien bestimmt (z.B. werden heute keine energiepolitischen Entscheidungen allein aufgrund von Kostenoptimierungen getroffen werden). In einem Unterprogramm ESPINT sind Indikatoren für sieben verschiedene energiepolitische Entscheidungskriterien zusammengestellt, deren Zustand vom Benutzer subjektiv bewertet werden kann. Damit lassen sich interaktiv und indirekt die Präferenzen und Prioritäten des Benutzers feststellen. Mit den daraus sich ergebenden relativen Gewichten der verschiedenen Entscheidungskriterien lassen sich entsprechende Zielfunktionen aufstellen, die von Optimierungsalgorithmen benutzt werden können. Entsprechende "optimale" Lösungen können dem Benutzer zur Einengung seines Suchraums vorgeschlagen werden. Entsprechende Programm-erweiterungen sind vorgesehen.

Übersicht über das interaktive Rechenprogramm ESPINT

Der Programmablauf von ESPINT ist in Abb. 2 gezeigt. Die wesentlichen Komponenten des Programms sind:

- Datei
- Abfrageprogramm
- Strukturmodell des Energieversorgungssystems
- Benutzerorientierte Ergebnisausgabe am Bildschirm oder Drucker

Durch Aufruf DO ENERGY an der Datenstation startet der Benutzer das Programm. Auf eine "Titelseite" folgt die Frage, in welcher Sprache (jetzt Deutsch, Englisch oder Holländisch) der Benutzer arbeiten will. Alle weiteren Fragen, Informationen, Tabellen usw. werden in dieser Sprache vorgelegt. Bei der nächsten Frage entscheidet der Benutzer, für welches Land oder welche Region er ein Energieszenarium untersuchen möchte (Möglichkeiten Okt. 1974: USA, Westeuropa, Niederlande, Bundesrepublik). Den Rechnungen werden entsprechende Währungen zugrunde gelegt (§, hfl, DM). Als Energieeinheit wird ausschließlich die Tonne Steinkohleneinheit (tSKE) verwendet.++)

Der Benutzer kann nun entscheiden, ob er (beginnend mit den historischen Daten für 1970) ein Energieszenarium neu entwickeln will, ob er eines der in der Datei vorgegebenen Szenarien untersuchen möchte, oder ob er schließlich ein von ihm auf Lochkarten vorbereitetes Szenarium einlesen und betrachten möchte.

++) Die Benutzung einer anderen Energieeinheit ist ohne weiteres möglich. Auf Ausdrucken, Diagrammen und Tabellen erscheint allerdings weiterhin "tSKE" als Einheit.

Im ersten Fall folgt die interaktive Parameterabfrage.⁺⁾ Diese je nach vom Benutzer gewünschten Detail kürzere oder längere Prozedur wird in Zeitschritten von fünf Jahren bis zum Ende der Rechenperiode (meist 2025) wiederholt. Aus den Antworten des Benutzers ergeben sich alle für die Durchrechnung des Energiesystems erforderlichen Größen. Falls die erforderlichen Parameter über die Datei oder über Lochkarten eingegeben werden, erübrigt sich das interaktive Abfrageprogramm.

Nach der Parameterabfrage besteht bei jedem Zeitschritt die Möglichkeit, das bisher entwickelte Szenarium durchzurechnen und die Ergebnisse auf drei verschiedene Weisen am Bildschirm (oder Drucker) zu betrachten:

- (1) Zusammenfassung der Ergebnisse nach den Sektoren des Energiemodells⁺⁺⁺⁾ (Primärenergieeingaben, Primärenergieverteilung auf Umwandlungsprozesse, Energieeinfuhr und -ausfuhr, Umwandlungswerke, Energiekosten und -Investitionen, Energieverteilung auf Verbraucher).
- (2) Zusammenfassung von entscheidungsrelevanten Indikatoren und Entscheidungskriterien⁺⁺⁺⁾ (hier: Energieangebot nach Art und Menge, Kosten, Verfügbarkeit, Änderungsgeschwindigkeit, Nutzungsgrad, Sicherheit und Umweltbelastung).
- (3) Fokussierung auf eine beliebige aus über 700 im Programm berechenbaren Größen.⁺⁺⁺⁾

Der Benutzer kann jeden dieser Schritte selbstverständlich überspringen, falls er es wünscht. Am Ende der Phase kann er sich für "Abbrechen" oder "Weitermachen" entscheiden. Entscheidet er sich für "Weitermachen", so beginnt das Programm nach einem Zeitschritt (von 5 Jahren) wieder mit der Parameterabfrage bzw. der Durchrechnung und Darstellung der Ergebnisse für den nächsten Zeitschritt. Falls der Benutzer "abbrechen" möchte, kann er entweder zu einem früheren Zeitpunkt zurückkehren (etwa um eine festgestellte Fehlentwicklung rechtzeitig aufzufangen), oder den Programmlauf ganz abschließen. Auf Wunsch werden die Szenarioergebnisse ausgedruckt.

+) Weiter unten genauer beschrieben.

+++) Weiter unten genauer beschrieben.

Beschreibung wichtiger Teilprogramme

(1) Rechenprogramm des Energieversorgungssystems

Das Rechenprogramm des Energieversorgungssystems ist - bis auf größere Auffächerung bes. der Investitionskosten - identisch mit dem des Off-line-Rechenprogramms ESP. Dieses Programm ist an anderer Stelle bereits beschrieben worden /2/. Auf den folgenden Seiten sind die Flußdiagramme des Programms wiedergegeben (Abb. 3). Das Programm besteht aus Blöcken:

- Primärenergieeingaben; Ein- und Ausfuhren.
- Primärenergieverteilung auf Umwandlungsprozesse und Verbraucher.
- Energieumwandlung (in gasförmige und Flüssigbrennstoffe, Elektrizität und Wärme).
- Sekundärumwandlungen und Eingabe in den Verbrauchersektor.
- Verteilung der verschiedenen Sekundärenergien auf die verschiedenen Verbrauchergruppen.

Außer dem Rechenprogramm für die Energieflüsse folgen sowohl die interaktive Parameterabfrage als auch die Ausdrucke der Rechenergebnisse, deren Zusammenfassung am Bildschirm und die sechs Zweige des Fokussierprogramms dieser Reihenfolge.

(2) Ausdruckprogramm

Das Ausdruckprogramm liefert auf den vier ersten Seiten die Zeitreihen der Eingabeparameter. Auf den restlichen 13 Seiten folgen Zeitreihen und Kurven für ausgewählte Ergebnisgrößen (siehe Abb. 4).

(3) Interaktive Parameterabfrage

Der Lauf der Parameterabfrage folgt den Energieflüssen von der Primärenergieeingabe über Umwandlung und Verteilung bis in die Endverbrauchersektoren. Durch logische Operationen ist sichergestellt, daß ausschließlich relevante Fragen gestellt werden (d.h. wenn z.B. keine Solarenergieeingaben vom Benutzer angegeben wurden, werden auch später keine Fragen über Sonnenenergieumwandler usw. gestellt).

Die Parameterabfrage erfolgt in mehreren Abschnitten. Jeder Abschnitt kann auf Wunsch übersprungen werden. Es werden dann die zuletzt eingegebenen Parameterdaten bzw. die historischen Daten von 1970 vom Programm weiter benutzt. Bei der Abfrage werden jeweils die im vorhergehenden Zeitschritt benutzten Daten zum Vergleich angegeben.

Im ersten Abschnitt wird die Gesamtprimärenergieeingabe (in Millionen Tonnen SKE) oder deren jährliche Wachstumsrate (in Prozent pro Jahr) abgefragt. Weiter wird festgestellt, ob Energieausfuhr bzw. -einfuhr vorhanden sind und

welche Primärenergiearten Verwendung finden. Im folgenden Abschnitt werden die jeweiligen Anteile der verschiedenen Energiearten an der Gesamtenergieeingabe und an der Ein- und Ausfuhr ermittelt.

In einem weiteren Abschnitt werden die Verteilungsanteile der verschiedenen Primärenergien auf die verschiedenen Umwandlungsprozesse festgestellt. Es folgt ein Abschnitt, in dem die Wirkungsgrade der Umwandlungsprozesse ermittelt werden. Daran schließt sich ein weiterer Abschnitt, in dem die Verteilung der Sekundärenergien auf die Verbrauchersektoren abgefragt wird.

In einem letzten Teil des Abfrageprogramms werden die Preise je Energieeinheit für die verschiedenen Primär- und Sekundärenergien, sowie die spezifischen Investitionskosten je Kilowatt effektiver Leistung für Umwandlungswerke und Energieverteilungssysteme ermittelt.

Mit den durch das Abfrageprogramm ermittelten 146 Parametern kann das Modell des Energieversorgungssystems für einen weiteren Zeitschritt durchgerechnet werden. Aus dieser Rechnung folgen über 700 für den Benutzer möglicherweise interessante Größen, deren zeitlicher Verlauf über das Fokussierprogramm vom Benutzer auf Wunsch einzeln ermittelt werden kann.

(4) Ergebniszusammenfassung am Bildschirm

Nach Beendigung der Abfragephase kann der Benutzer sich in jedem Zeitschritt eine Zusammenfassung der wichtigsten bisher erzielten Ergebnisse zeigen lassen. Diese Zusammenfassung steht in 6 Rahmen zur Verfügung, die etwa den erwähnten Abschnitten des Strukturmodells entsprechen:

- Rahmen 1: Gesamtenergieeingabe und -ausgabe
- Rahmen 2: Primärenergiearten
- Rahmen 3: Energieeinfuhr und -ausfuhr;
Einheitskosten für den Verbraucher
- Rahmen 4: Relative Anteile der verschiedenen Endenergien
- Rahmen 5: Zahl der Umwandlungswerke; aktive Investitionen
- Rahmen 6: Energieverteilung an den Verbrauchersektor

Als Beispiel für das Format dieser Rahmen ist in Bild 5 Rahmen 1 gezeigt. In jedem Rahmen sind einige ausgewählte charakteristische Größen des entsprechenden Rechenabschnittes gezeigt, unter Angabe ihrer Werte für den gegenwärtigen Zeitschritt und das Anfangsjahr und der gegenwärtigen jährlichen Wachstumsraten. Diese Wiedergabe erlaubt eine grobe Beurteilung der Szenarioergebnisse; für feinere Untersuchungen müssen das Fokussierprogramm oder das Ausdruckprogramm benutzt werden.

(5) Entscheidungsrelevante Indikatoren und deren Bewertung

Bei energiepolitischen Entscheidungen sind mindestens die folgenden Entscheidungskriterien von besonderer Bedeutung:

- 1) Ausreichendes Energieangebot nach Art und Menge
- 2) Kapitalinvestitionen und lfd. Energiekosten
- 3) Langfristige Verfügbarkeit von Energie
- 4) Änderungsgeschwindigkeiten im Energieversorgungssystem
- 5) Energienutzungsgrad (Effizienz) des Systems
- 6) Sicherheit des Energiesystems
- 7) Umweltbelastung

Um die Simulationsergebnisse unter diesen Gesichtspunkten beurteilen zu können, müssen dem Benutzer die Werte für relevante Zustandsgrößen (Indikatoren) bekannt sein. Durch Einsicht in die Ausdrücke oder die Zusammenfassungen am Bildschirm kann sich der Benutzer zwar einen Eindruck von der Lage der Dinge beschaffen. Die Aufgabe wird aber erleichtert durch entsprechende Zusammenstellung relevanter Indikatoren. Das ESPINT Programm gibt auf Wunsch eine Auswahl von Indikatoren für jedes der oben genannten Entscheidungskriterien wieder. Ein Beispiel zeigt Bild 6. Die Indikatorvariablen für die anderen Entscheidungskriterien sind in Bild 7 wiedergegeben.

In den verschiedenen Rahmen sind jeweils die Werte der Indikatorvariablen für den laufenden Zeitschritt und für das Bezugsjahr (1970) wiedergegeben. Damit kann der Benutzer die Situation von "damals" mit der von "heute" vergleichen und sich ein Urteil über die Entwicklung bilden.

An jeden Rahmen dieser Serie ist eine Bewertungsfrage geknüpft (die der Benutzer durch Eingeben einer "Null" überspringen kann) (s. Bild 6), in der der Benutzer den Grad seiner (Un)Zufriedenheit mit dem durch die Indikatoren beschriebenen Zustand auf einer fünfstufigen ganzzahligen Skala (0 bis 4) ausdrücken kann. Die Antworten werden während des Simulationslaufs gespeichert und, falls gewünscht, in einer "Problemlandkarte" (Bild 8) wiedergegeben. Damit gewinnt der Benutzer ein zusammenhängendes Bild seiner (subjektiven) Beurteilung, das ihm Problemkategorien andeutet, denen er bei der interaktiven Bearbeitung des Programms besondere Aufmerksamkeit schenken muß. Diese Bewertungsmöglichkeit kann auch zur Beurteilung ein und desselben Energieszenariums durch verschiedene Personen benutzt werden. Hier schlagen sich unterschiedliche Auffassungen eindrucksvoll in verschiedenen Problemlandkarten wieder.

(6) Dialogprogramm zur Fokussierung

Das ESP Programm des Energieversorgungssystems kann über 700 Hauptveränderliche und abgeleitete Größen berechnen. Offensichtlich ist es wenig sinnvoll, alle diese Veränderlichen als Zeitreihen ausdrucken zu lassen, geschweige denn am Bildschirm wiederzugeben. Im Ausdruckprogramm ist deshalb eine Auswahl getroffen worden, die die Zeitreihen der 146 beigegebenen Parameter wiedergibt und zusätzlich etwa 35 berechnete Größen. In vielen Fällen, besonders bei genauerer Untersuchung eines Energieszenarios, wird die hierdurch übermittelte Information für eine vollständige Beurteilung bei weitem nicht ausreichen. Es muß dann die

Möglichkeit gegeben sein, auf bestimmte Veränderliche fokussieren zu können, ohne dabei mit nicht gewünschten Informationen überladen zu werden.

Das Fokussierprogramm in ESPINT gestattet es, nach kurzem Dialog mit dem Rechner Zeitreihen für jede der über 700 Veränderlichen als Tabellen und in graphischer Form am Bildschirm zu betrachten und über den angeschlossenen Drucker ausdrucken zu lassen. Diese Auswahl geschieht in drei bis fünf Schritten eines hierarchisch aufgebauten Suchprogramms. Bei jedem Schritt gibt der Benutzer eine einstellige Kennzahl ein (d.h. eine Zahl von 1 bis 9). Aus den aufeinanderfolgenden Kennzahlen setzt sich schließlich eine fünfstellige interne Suchzahl zusammen, die die gesuchte Variable identifiziert und ihre Berechnung ermöglicht.

Bild 9 gibt die Reihenfolge für einen Suchvorgang wieder. In diesem Beispiel wollte der Benutzer die Zeitreihen (von 1970 bis 2020) für die jährliche Wachstumsrate der jährlichen Gesamteingabe an Primärenergie feststellen. Auf diese Veränderliche kann in vier Schritten fokussiert werden:

- Rahmen 1:
Auswahl von:
1 - Primärenergieeingabe; Energieeinführen und -ausführen
- Rahmen 2:
Weitere Einschränkung auf:
3 - Gesamtprimärenergie
- Rahmen 3:
Weitere Einschränkung auf:
1 - Eingabe in die Gesamtwirtschaft
- Rahmen 4:
Der letzte Schritt legt die Veränderliche endgültig fest:
3 - Jährliche Wachstumsraten des Energieflusses (%/Jahr).

Darauf wird im letzten Rahmen die Zeitreihe für die gewünschte Größe wiedergegeben (Bild 10). Im oberen Teil des Rahmens erscheinen als Kennung wieder die hierarchisch angeordneten Textzeilen des Fokussiervorgangs:

- 1 - Primärenergieeingabe; Energieeinführen und -ausführen
- 3 - Gesamtprimärenergie
- 1 - Eingabe in die Gesamtwirtschaft
- 3 - Jährliche Wachstumsrate des Energieflusses (%/Jahr)

Auf deutsch: Jährliche Wachstumsrate der Gesamteingabe an Primärenergie, d.h. die gewünschte Größe. Auf der rechten Seite ist die Zeitreihe graphisch wiedergegeben, wobei auf den größten vorkommenden Absolutwert normalisiert wird, um den vorhandenen Platz bestmöglichst auszunutzen. Positive Werte werden durch ein Plus (+), negative durch ein Minus (-) gekennzeichnet.

Bild 1

Im Energieversorgungsmodell berücksichtigte
Primär- und Sekundärenergien und Umwandlungsprozesse

Primärenergiearten:

Steinkohle und Braunkohle
Rohöl
eingeführte Flüssigbrennstoffe
Erdgas
Ölschiefer und Teersände
Holz, Abfälle, andere Biostoffe verschiedener Art
eingeführte Elektrizität
Wasserkraft
Kernspaltungsenergie
Kernfusionsenergie
geothermische Energie
Sonnenenergie
hypothetische Energie

Sekundärenergiearten:

Elektrizität
Fernwärme
Festbrennstoffe
Flüssigbrennstoffe
gasförmige Brennstoffe
dezentral genutzte Sonnenenergie
Nichtbrennstoffe an die chemische Industrie
Energieexporte nach Umwandlung
Abwärme

Umwandlungsprozesse:

Vergasung und Verflüssigung bzw. Raffination von:
Steinkohle und Braunkohle
Rohöl
Ölschiefer und Teersänden
Holz, Abfällen und anderen Biostoffen
Elektrizitätserzeugung durch
Wärme­kraftwerke mit Standardtechnologie
Wärme­kraftwerke mit fortgeschrittener Technologie
Wasserkraft
Kernspaltungsenergie
Kernfusionsenergie
geothermische Energie
Sonnenenergie
Brennstoffzellstationen
hypothetische Energie

Prozeß(fern)wärmeerzeugung durch
Verbrennungsprozesse
geothermische Energie
Kernspaltungsenergie
Sonnenenergie
Wärmerückgewinnung aus der Elektrizitätserzeugung
Wärmerückgewinnung bei der Elektrizitätserzeugung durch
Wärme­kraftwerke mit Standardtechnologie
Wärme­kraftwerke mit fortgeschrittener Technologie
Kernspaltungsenergie
Kernfusionsenergie
geothermische Energie
hypothetische Energie
Erzeugung gasförmiger Energieträger (Wasserstoff usw.) durch
Elektrolyse
Prozeßwärme

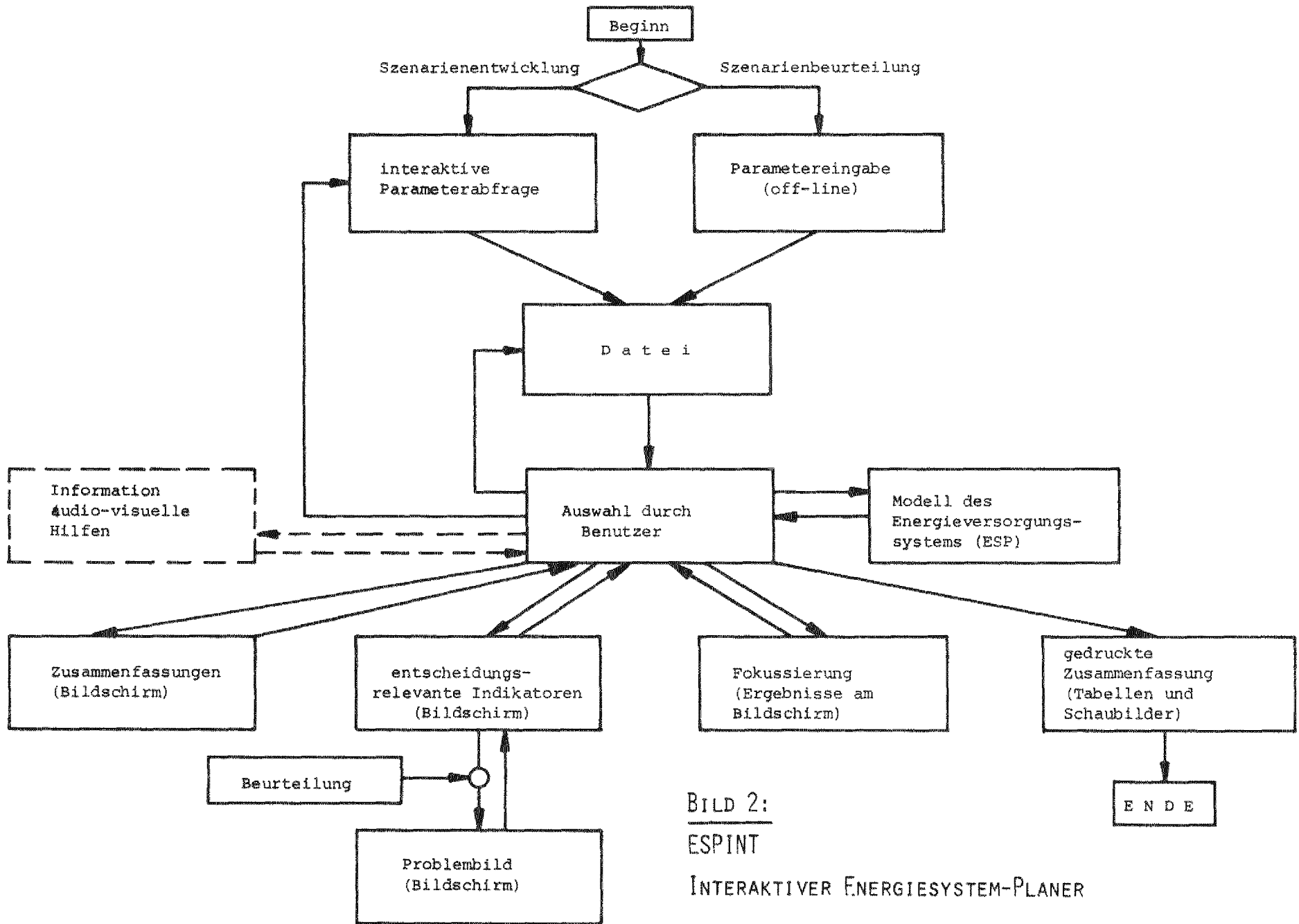


BILD 2:
ESPINT
INTERAKTIVER ENERGIESYSTEM-PLANER

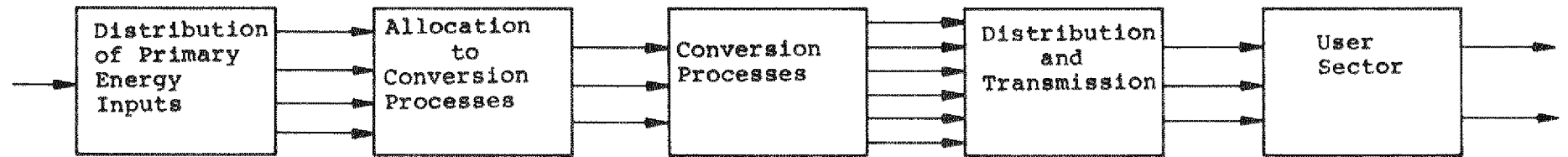


Bild 3a - Overall Structure of Energy Supply Model

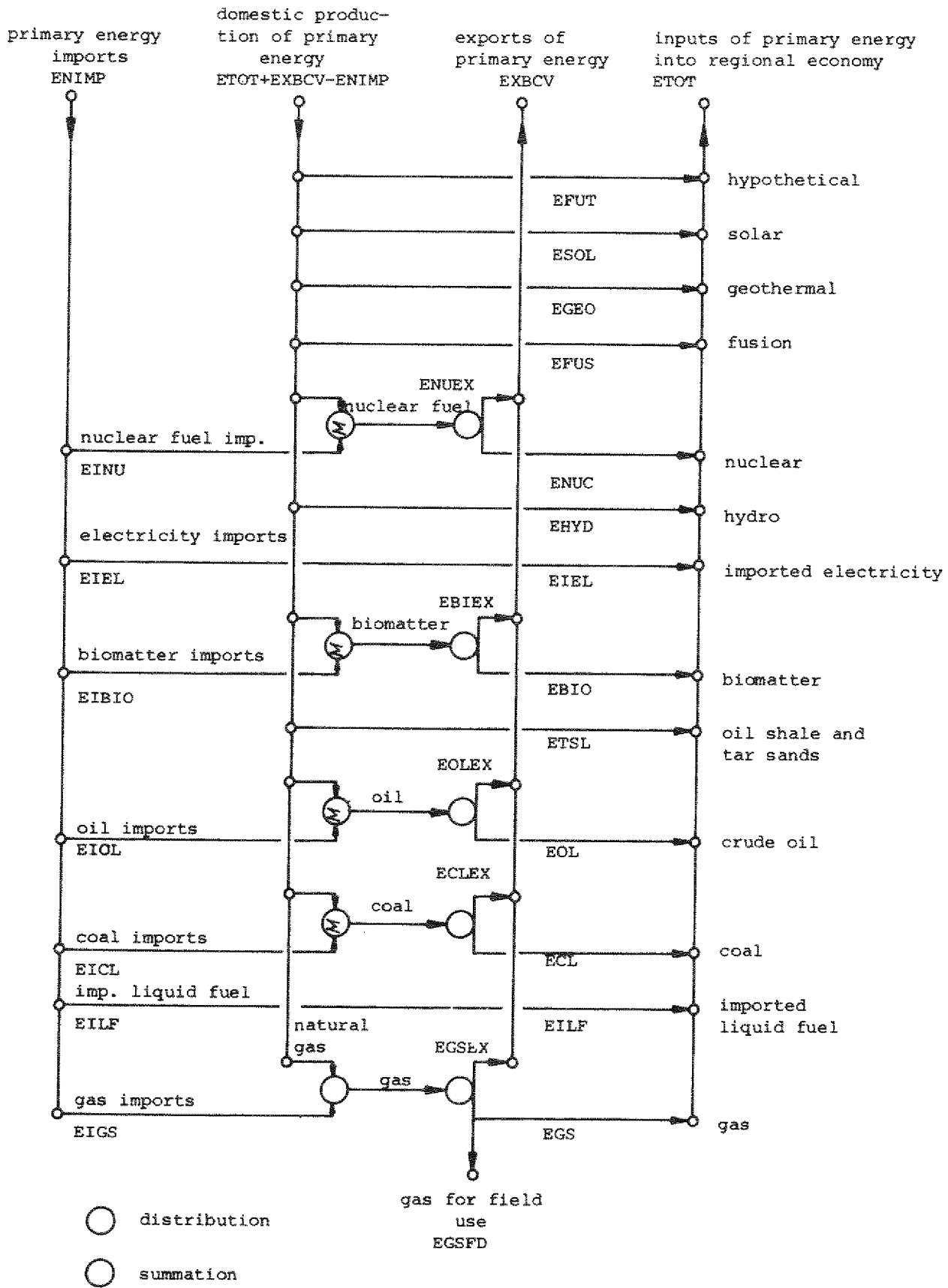


BILD 3B: PRIMARY ENERGY INPUTS; IMPORTS AND EXPORTS

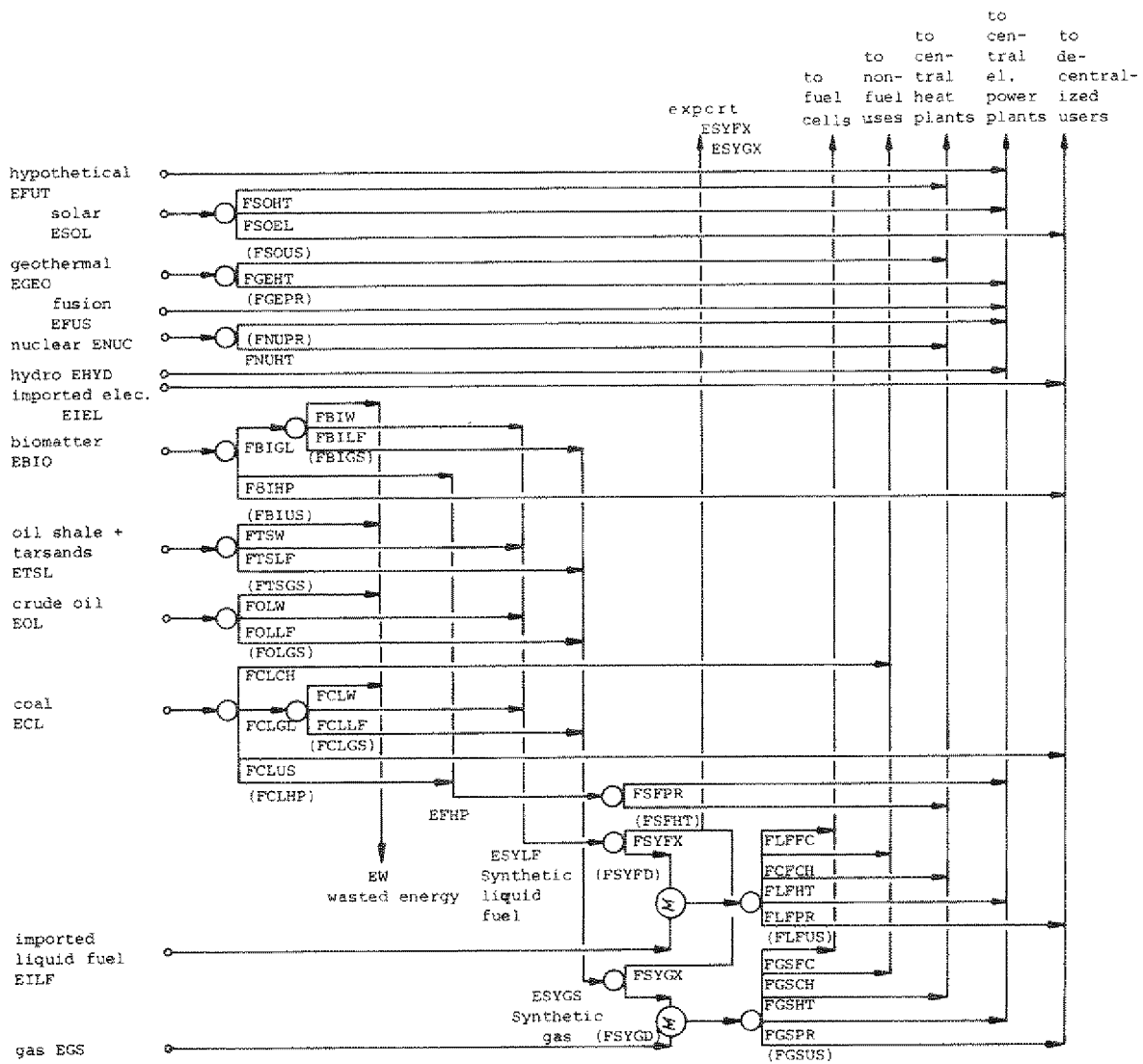


BILD 3c: ALLOCATION OF PRIMARY ENERGY INPUTS TO CONVERSION PROCESSES AND USERS

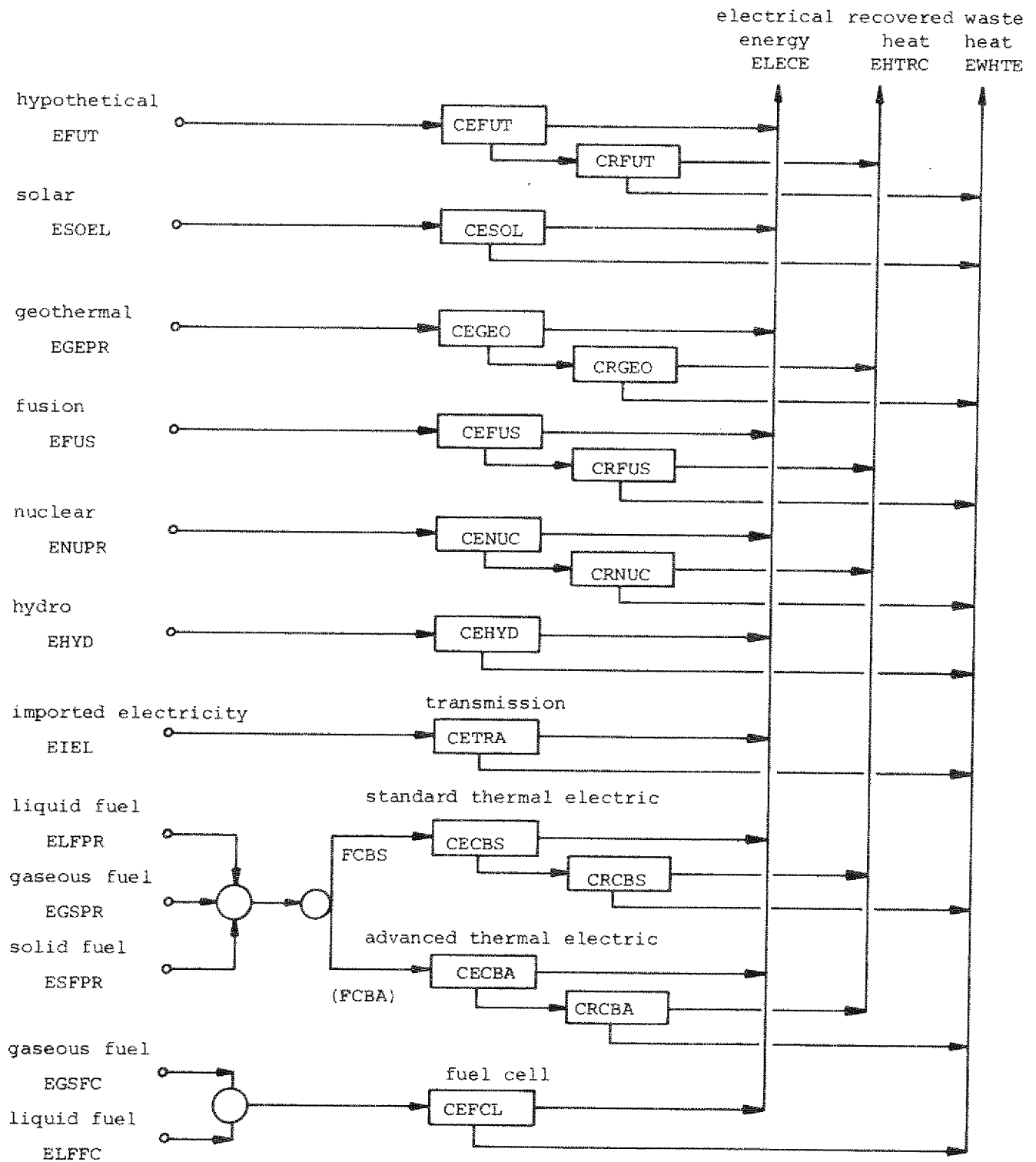


BILD 3D: CONVERSION TO ELECTRICAL ENERGY

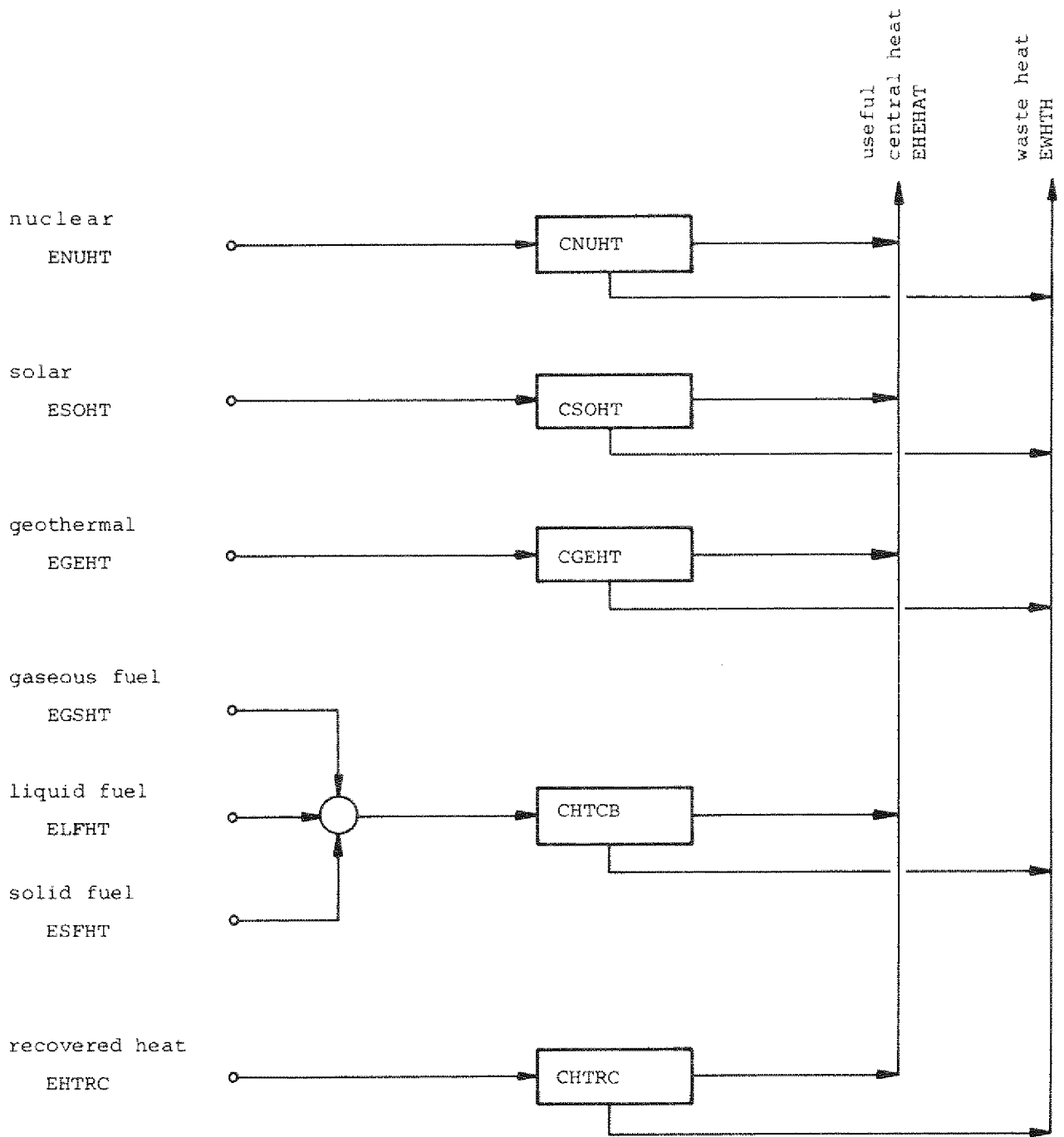


BILD 3E: CONVERSION TO CENTRAL HEAT

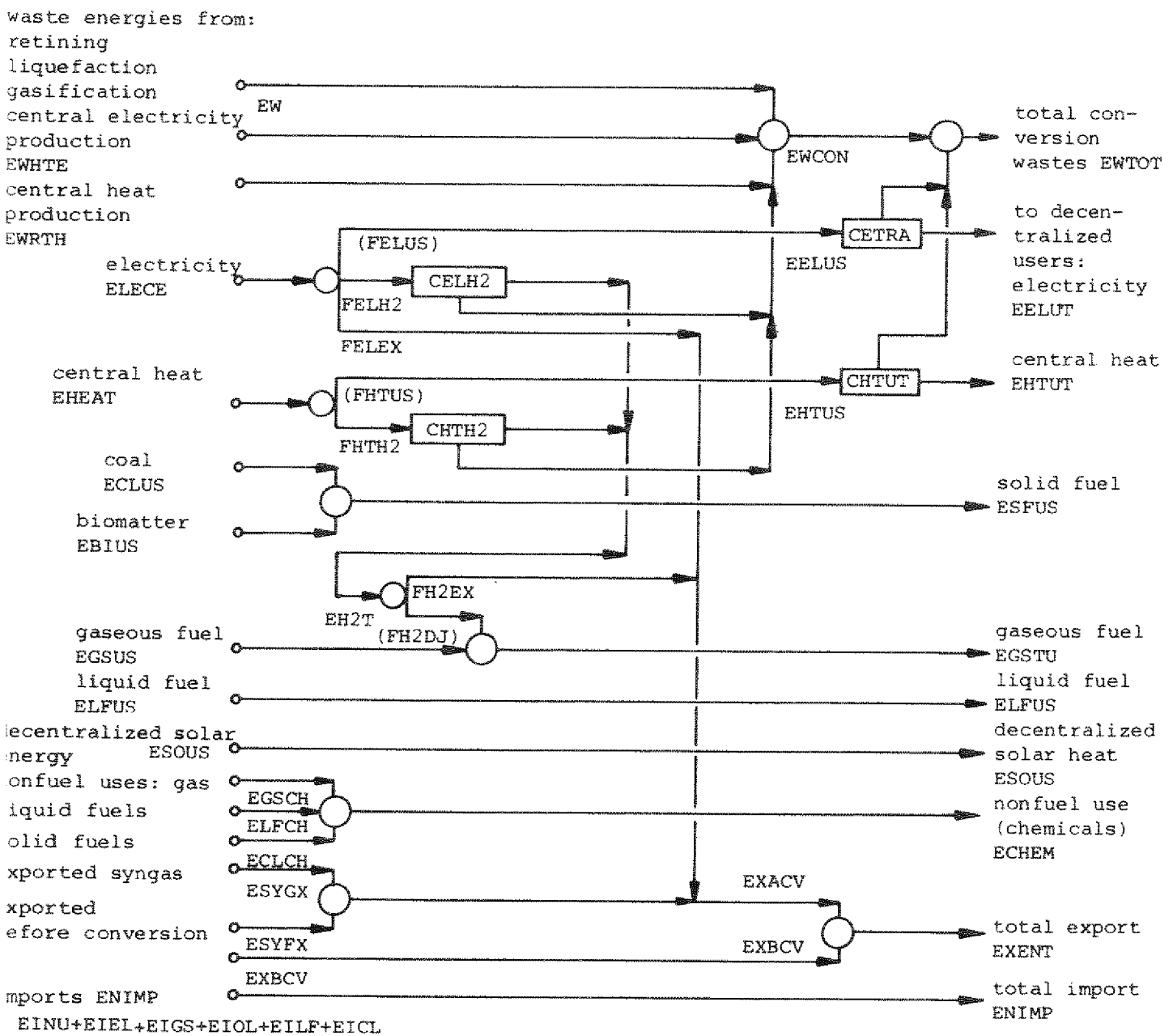


BILD 3F: FINAL STAGES OF CONVERSION AND INPUTS TO
DECENTRALIZED USERS

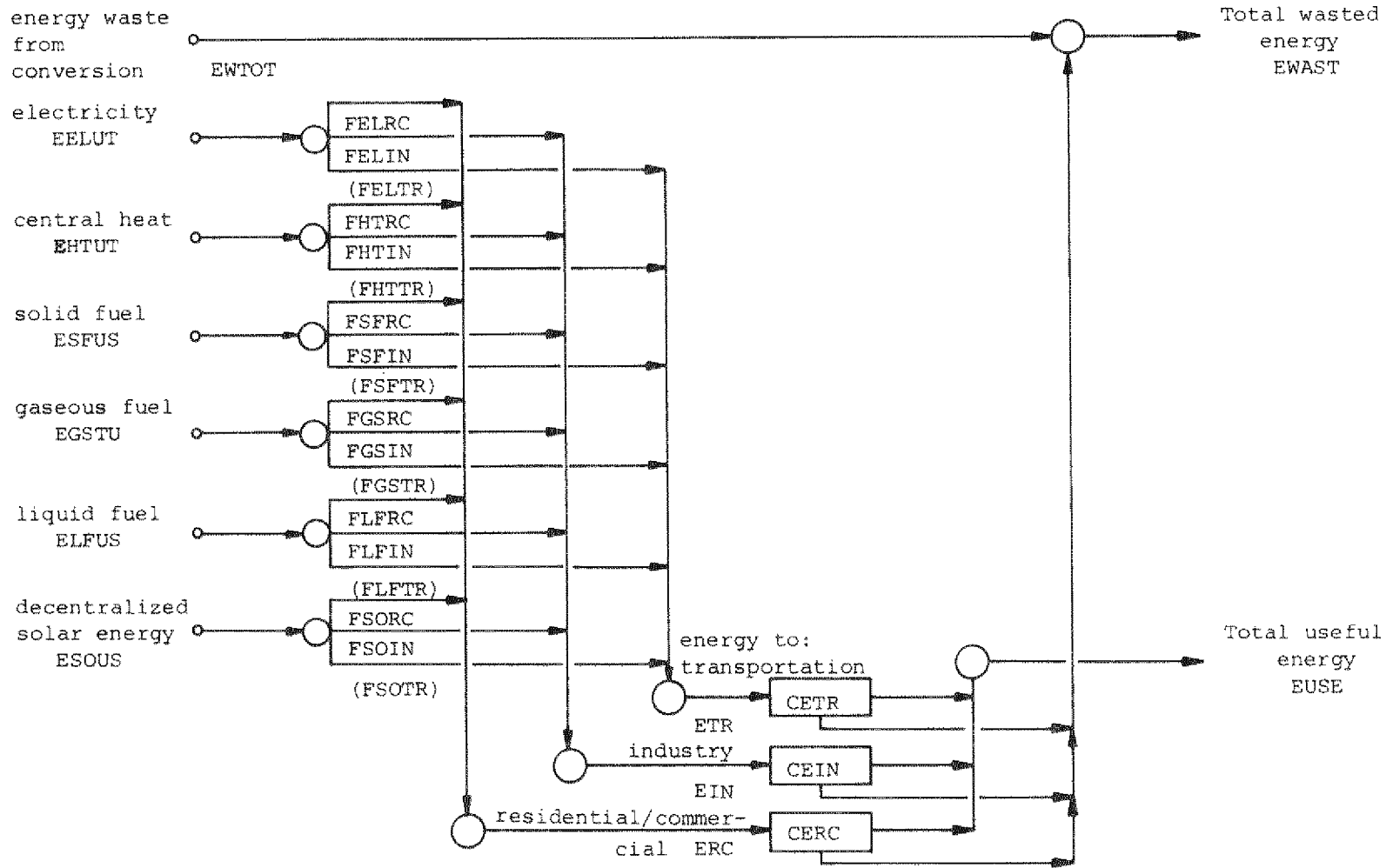


BILD 36: ENERGY ALLOCATION IN USER SECTOR

Bild 4

Inhaltsverzeichnis des Ausdruckprogramms

- Seite 1: Name der Region (bzw. des Landes) und Szenariokennung;
Einheiten; Primärenergieeingaben der Region; Energieeinfuhren,
- ausfuhren.
- Seite 2: Energieverteilungsanteile auf Umwandlungsprozesse
- Seite 3: Energieverteilung auf Verbraucher und Umwandlungswirkungsgrade
- Seite 4: Verbraucherwirkungsgrade; Primär- und Sekundärenergiepreise;
Spez. Kapitalinvestitionen je Kilowatt Leistung
- Seite 5: Nettoprimärenergieeingaben (nach Energieanteil und insgesamt)
- Seite 6: Primärenergieeingaben (Menge und Kosten) nach Energieart
- Seite 7: Schaubild der Primärenergieeingaben (wie Seite 6)
- Seite 8: Schaubild der Primärenergiekosten (wie Seite 6)
- Seite 9: Einfuhr und Ausfuhr von Primär- und Sekundärenergie
- Seite 10: Gesamtbeträge und Gesamtkosten von Energieein- und -ausfuhren
- Seite 11: Schaubild der Gesamtbeträge und Gesamtkosten (wie Seite 10)
- Seite 12: Anzahl der aktiven Energieumwandlungswerke (in 1000 Megawatt
(Ausgang) Einheiten) und entsprechende Kapitalinvestition (je-
weils Absolutwerte und jährlicher Zuwachs)
- Seite 13: Schaubild der Anzahl der aktiven Umwandlungswerke und der ent-
sprechenden Kapitalinvestition (wie Seite 12)
- Seite 14: Sekundärenergien an den Verbrauchersektor:
Gesamtbeträge und -kosten, sowie Aufgliederung nach Energie-
art und Benutzerkategorie
- Seite 15: Schaubild der an den Verbraucher fließenden Energien nach
Energieart
- Seite 16: Schaubild der an den Verbrauchersektor fließenden Energien
nach Benutzerkategorie
- Seite 17: Gesamtwirkungsgrad der Energieumwandlung und -verteilung und
konzentriert anfallende Abwärme

OVERALL ENERGY INPUT AND OUTPUT

	1970	2025	GROWTH RATE
TOT. PRIM-EN. INPUT	360.0*	1300.0*	4.7
TOT. SEC. EN. OUTPUT	260.5*	609.2*	2.4
TOTAL ENERGY WASTED BEFORE REACHING USER	72.1*	626.5*	14.0
OVERALL EFFICIENCY OF ENERGY SYSTEM	78.3	49.3	-0.7

UNITS ARE: * 10**6 (MILLION) METRIC TONS OF COAL EQUIV.

BILD 5

INDICATORS OF ENERGY SUPPLY ADEQUACY

	1970	2025
POWER REACHING USER (W/CAP)	4033	9429
CORR. SERVICE IN TERMS OF 1970 TECHNOLOGIE (W/CAP)	4033	9429
ENERGY MIX GO USER SECTOR (PCT)		
ELECTRICITY	14	50
GAS	5	14
LIQUID FUEL	50	6
COAL AND OTHER SOLID FUEL	28	5
CENTRAL HEAT	0	22

YOUR OVERALL ASSESSMENT OF THIS INDICATOR SET?
(0 = SATISFACTORY, 1 = WORRISOME, 2 = UNSATISFACTORY,
3 = SERIOUS, 4 = UNACCEPTABLE)

*?

BILD 6

<p>INDEPENDENCE INDICATORS</p> <p>DEPENDENCE ON FOREIGN ENERGY SOURCES (PCT)</p> <p>DEPENDENCE ON NONRENEWABLE ENERGY SOURCES (PCT)</p>	<p>COST INDICATORS</p> <p>AVG. COST TO USER PER ENERGY UNIT (\$/TCE)</p> <p>AVG. SPEC CONVERSION PLANT INVESTMENT (\$/KWE)</p> <p>ANN. INVESTMENT IN CONVERSION PLANTS (MEGA\$/YEAR)</p> <p>ANN. IMPORT COST OF PRIMARY ENERGY (MEGA\$/YEAR)</p>
<p>CHANGE INDICATORS</p> <p>ANNUAL RATE OF CHANGE IN PRIMARY ENERGY INPUTS (PCT/YEAR)</p> <p>COAL</p> <p>OIL</p> <p>GAS</p> <p>NUCLEAR</p> <p>ANNUAL RATE OF CHANGE IN SECONDARY ENERGY OUTPUTS (PCT/YEAR)</p> <p>ELECTRICITY</p> <p>GAS</p> <p>LIQUID FUEL</p> <p>SOLID FUEL</p> <p>CENTRAL HEAT</p>	<p>POLLUTION INDICATORS</p> <p>NUMBER OF COAL-FIRED POWERPLANTS (1000 MWE UNITS)</p> <p>NUMBER OF OIL-FIRED POWERPLANTS (1000 MWE UNITS)</p> <p>NUMBER OF NUCLEAR POWERPLANTS (1000 MWE UNITS)</p> <p>HEATING OIL TO RESIDENTIAL/COMMERC. USERS (MEGATCE/YEAR)</p> <p>CONCENTRATED WASTE HEAT FROM CONVERSION PLANTS (MEGATCE/YEAR)</p>
<p>EFFICIENCY INDICATORS</p> <p>OVERALL ENERGY CONVERSION AND DISTRIBUTION EFFICIENCY (ENERGY TO USER/PRIMARY ENERGY INPUT) (PCT)</p> <p>OVERALL ENERGY SERVICE FACTOR (1970 ENERGY SERVICE/ENERGY INPUT TO USER) (1970 = 100)</p>	<p>SAFETY INDICATORS</p> <p>NUMBER OF NUCLEAR POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)</p> <p>NUMBER OF HYDROGEN PLANTS (1000 MWE UNITS)</p> <p>COAL PRODUCTION FOR DOMESTIC CONSUMPTION (MEGATCE/YEAR)</p>

BILD 7

PROBLEM CHART

SUMMARY OF INDICATOR ASSESSMENTS

YEAR	ADEQU	COST	INDEP	CHANG	EFFIC	SAFET	POLLU
1970							
1975			XXX				X
1980	X		XXX	X			X
1985	X		XXX				X
1990	X		XXX				X
1995	X		XXX				X
2000	X		XXX				X
2005	X		XX				X
2010			XX				X
2015	X		X				X
2020	X		X				X

TYPE 0 (ZERO) WHEN READY TO CONTIUNUE
?

BILD 8

WOLLEN SIE SICH EINE BESTIMMTE GROESSE BETRACHTEN?

(0 (NULL) = NEIN; 1 = JA)

?
*
?

TIPPEN SIE DIE GEWUENSCHTE KENNZAHL:

- 1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE
- 2-AUFTEILUNG AUF UMWANDLUNG ODER ENDVERBRAUCHER
- 3-AUFTEILUNG AUF ZWISCHENUMWANDLUNGEN
- 4-ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE
- 5-ENERGIEVERTEILUNGSPROZESSE
- 6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER

?
*
?

1-PRIMÄERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE

TIPPEN SIE DIE GEWUENSCHTE KENNZAHL:

- 1-FOSSILE U. BIOLOGISCHE ENERGIEN
- 2-NICHTFOSSILE, NICHTBIOLOGISCHE ENERGIEN
- 3-PRIMAERENERGIE-EINGABE

?
*
?

1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE
3-PRIMAERENERGIE-EINGABE

TIPPEN SIE DIE GEWUENSCHTE KENNZAHL:

- 1-EINGABE IN DIE GESAMTWIRTSCHAFT
- 2-EINFÜHREN
- 3-AUSFUHREN
- 4-PREIS JE TONNE SKE (\$/TSKE)

?
*
?

1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE
3-PRIMAERENERGIE-EINGABE

1-EINGABE IN DIE GESAMTWIRTSCHAFT

TIPPEN SIE DIE GEWUENSCHTE KENNZAHL:

- 1-ENERGIEFLUSS PRO JAHR (MEGATSKE/JAHR)
- 2-GELDWERT DES ENERGIEFLUSSES (GIGA\$/JAHR)
- 3-JAHERL. WACHSTUM DES ENERGIEFLUSSES (%/JAHR)
- 4-JAHERL. WACHSTUM DES GELDWERTS (%/JAHR)

BILD 9

1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE
3-PRIMAERENERGIE-EINGABE

1-EINGABE IN DIE GESAMTWIRTSCHAFT
3-JAHERL. WACHSTUM DES ENERGIEFLUSSES (%/JAHR)

1970	1	0+++++++
1975	4	0+++++
1980	3	0+++++
1985	3	0+++++
1990	2	0+++++
1995	3	0+++++
2000	2	0+++++
2005	2	0+++++
2010	1	0+++++
2015	1	0+++++
2020	0	0++

TYPE 0 (ZERO) WHEN READY TO CONTINUE---?
*

BILD 10

II. EINIGE ERGEBNISSE VON ENERGIERECHNUNGEN FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Übersicht

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Ergebnisse einiger Simulationsläufe für die Bundesrepublik Deutschland zusammengefaßt. Allen Läufen liegt die Annahme eines zunächst weiter steigenden Bedarfs an Energiedienstleistungen zugrunde. Bis etwa zum Jahre 2000 führen alle Szenarien zu etwa gleichem Energiedienstleistungsangebot, trotz großer Unterschiede in der Primärenergieeingabe und der Umwandlungstechnologien und der sich daraus ergebenden Kosten (siehe Abb. 0).

In den restlichen Diagrammen sind Einzelergebnisse für zwei Szenarien wiedergegeben:

- (1) Fortschreibung der gegenwärtigen Energiepolitik ("Standard"szenarium WGER1)
- (2) Einsparung von Primärenergie durch Erhöhung des Energienutzungsgrades beim Verbraucher ("Alternativ"szenarium WGER6)

Die Ergebnisse wurden mit dem Programm ESPINT berechnet /3/. Dieses Programm besteht im wesentlichen aus einem Energiestromnetz, dessen Parameter ausschließlich vom Benutzer eingegeben werden. Damit werden auch die Ergebnisse leicht überprüfbar.

"Standard"-Szenarium für die Bundesrepublik Deutschland

Die Ergebnisse der Bilder 1 bis 9 entsprechend der Fortschreibung der gegenwärtigen Energiepolitik /4/ bis zum Jahre 2025. Dieses Programm sieht einen starken Anstieg des Kernenergieanteils an der Primärenergieeingabe vor. Die Aufteilung der Primärenergieeingaben ist in Bild 1 gezeigt. Starker Ausbau der Kernenergie findet vor allem zwischen 1980 und 1990 statt. Eine Folge ist starker Anstieg des Elektrizitätsangebots. Es wird angenommen, daß etwa um 1995 der Hochtemperaturreaktor kommerzielle Anwendung findet und dann Prozeß- oder Fernwärme für verschiedene Zwecke liefert. Wegen sinkender Ölvorräte beginnt auch das Angebot an Flüssigbrennstoffen etwa zwischen 1985 und 1990 abzusinken trotz einer etwa ab 1995 bis 2000 stark ansteigenden Kohleverflüssigung. Das absinkende Angebot an Erdgas wird nach 1995 durch Synthesegas aus Kohle ergänzt. Insgesamt ergibt sich ein leicht steigendes Gasangebot für Endverbraucher. Im Umwandlungssektor werden leichte Verbesserungen der Umwandlungswirkungsgrade angenommen. Anfallende Abwärme wird zum Teil weiterverwendet.

Die Bilder 4 bis 8 zeigen einige der Konsequenzen dieses Szenariums. Die Veränderlichen wurden mit dem Fokussierprogramm berech-

net. Hier soll nur auf die Veränderliche Nr. 41531 hingewiesen werden, die Zahl der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke (in 1000 MWe Einheiten). Diese Zahl steigt von 3 im Jahre 1975 auf 32 im Jahre 1985, auf 163 im Jahre 2000 und schließlich auf 363 im Jahre 2025. (Die Zahl im Jahre 2000 entspricht einer Kraftwerksdichte in der Bundesrepublik von je einem 1000 MWe Kernkraftwerk auf jeder Flächeneinheit von 40 km x 40 km). Die Aufstellung der Indikatorvariablen (Bilder 2 und 3) und die dazugehörige Problemkarte (Bild 9) deuten auf schwierige Problemfelder, die dieses Szenarium für die Mehrheit der Bevölkerung unakzeptierbar machen werden.

Ein "Alternativ"-Szenarium für die Bundesrepublik Deutschland

Im Laufe unserer Szenarienuntersuchung für die Vereinigten Staaten, Westeuropa und die Bundesrepublik Deutschland sind wir allmählich zu der Überzeugung gelangt, daß konzentrierte Bemühungen zur Energieeinsparung durch Erhöhung der Energienutzungsgrade beim Verbraucher die problemloseste energiepolitische Alternative darstellt, über die diese Staaten verfügen. Die Ergebnisse eines solchen Einsparungsszenariums für die Bundesrepublik Deutschland sind in den Bildern 10 bis 18 wiedergegeben.

In diesem Szenarium steigen die Energiedienstleistungen mit der gegenwärtigen Zuwachsrate von etwa 3 % bis etwa zum Jahre 2000 weiter an. Danach wird die Sättigung ohne weitere Steigerung angenommen. Es wird angenommen, daß gleichzeitig starke Anstrengungen unternommen werden, um die Energienutzungsgrade in den verschiedenen Verbrauchersektoren stark zu erhöhen. So wird angenommen, daß im Industriesektor zur Erzeugung gleicher Energiedienstleistungen die Energieeingabe über einen Zeitraum von 25 Jahren allmählich um 20 % absinken kann. Weit bedeutendere Einsparungen sind im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher und im Sektor Verkehr zu erwarten, da die Energienutzungsgrade in diesen Sektoren gegenwärtig relativ gering sind. Unter der Annahme einer 40-prozentigen Verringerung der Energieeingabe für gleiche Energiedienstleistung im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher und einer ähnlichen 30-prozentigen Verringerung im Verkehrssektor verringert sich die notwendige Primärenergieeingabe erheblich, verglichen mit dem "Standard"-Szenarium. Einzelergebnisse finden sich in den Bildern 13 bis 17. Die Problemkarte für dieses Szenarium (Bild 18) deutet auf eine Lösung, die von der Mehrzahl der Bevölkerung weit eher akzeptiert werden könnte als das "Standard"-Szenarium. Noch einmal: Es ist zu beachten, daß die den Endverbrauchern angebotene Energiedienstleistung bis zum Jahre 2000 etwa dem des "Standard"-Szenariums entspricht. Im übrigen entsprechen die angenommenen Energieverteilungen und Technologien etwa denen des "Standard"-Szenariums. Die Kernenergie wird allerdings nach 1980 nicht mehr weiter ausgebaut. Die angenommenen Gasimporte könnten später aus solarer Wasserstoffherzeugung in Südeuropa oder Nordafrika stammen.

Literaturhinweise

- /1/ s.M. MESAROVIC, E. PESTEL:
Menscheit am Wendepunkt,
DVA, Stuttgart 1974 und die entsprechenden vom Internationalen Institut
für Angewandte Systemanalyse (IIASA) in Wien veröffentlichten Techni-
cal Reports, 1974.
- /2/ Eine ausführliche Beschreibung des Modells und einige Ergebnisse fin-
den sich in:
H. BOSSEL: Energy Supply System: "Simulation Model, Results and Evalua-
tion", in: Technical Reports of the Multiregional World Model Project,
IIASA, Wien 1974. Deutsche (verkürzte) Fassung:
H. BOSSEL: "Betrachtungen zum westeuropäischen Energieengpaß", in: Sy-
stemtechnik und Innovationsforschung, Bericht des 2. ISI Kolloquiums,
Dokumentation Saur, München 1974.
- /3/ s.H. BOSSEL, W. HUDETZ, P.V. d. Hijden: "ESPINT - Interaktiver Ener-
giesystemplaner: Dialogprogramm zur Entwicklung und Überprüfung von
Langfristkonzepten für das Energieversorgungssystem", Institut für
Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, Oktober 1974.
- /4/ s. "Viertes Atomprogramm der Bundesrepublik Deutschland für die Jahre
1973 bis 1976", Bundesministerium für Forschung und Technologie, 1973,
und "Korrekturen am Energieprogramm", Handelsblatt 25. Sept. 1974.
Auch: "Rahmen-Programm Energieforschung 1974 - 1977", Bundesministerium
für Forschung und Technologie, 1973; "Daten zur Entwicklung der Ener-
giewirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland", Ausgabe 1973, Bundes-
ministerium für Wirtschaft; H. MANDEL: "Primärenergieversorgung in der
Bundesrepublik Deutschland", Vortrag, 11. Gespräch der List-Gesellschaft
Düsseldorf, März 1974; "Rahmen-Programm Energieforschung 1974 - 1977
der Bundesrepublik", Technologie-Nachrichten Nr. 096, 15. Aug. 1974.

Tab. 1 a
Szenarienergebnisse für das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland

	Jahr	'Standard' (WGER1)	'Mischung' (WGER2I)	'Nicht- nuklear' (WGER3I)	'Ein- sparung' (WGER4)	'bessere Nutzung' (WGER6)	
Primär- energieeingabe	1970	360	360	360	360	360	Mio tsKE/Jahr
	2000	880	860	720	700	440	"
	2025	1300	1090	820	730	410	"
Jährliche Pri- märenergie- kosten	1970	17	17	17	17	17	Mio \$/Jahr
	2000	26	29	36	30	20	"
	2025	22	39	41	31	18	"
Kosten je Energie- einheit	1970	48	48	48	48	48	\$/tsKE
	2000	29	34	50	42	46	"
	2025	17	35	50	51	45	"
Jährliche Kosten der Energieeinfuhr	1970	11	11	11	11	11	Mrd. \$/Jahr
	2000	19	20	20	16	13	"
	2025	16	25	15	9	15	"
Zahl der Um- wandlungswerke (1000 MWe)	1970	207	207	207	207	207	
	2000	354	352	367	301	187	
	2025	735	549	582	457	157	
Neue Umwand- lungswerke jährlich	1970	3	3	3	3	3	
	2000	4	4	4	0	-8	
	2025	13	14	17	13	1	
Jährliche Kapital- Investition	1970	1	1	1	1	1	Mrd. \$/Jahr
	2000	5	5	2	0	0	"
	2025	2	3	3	2	0	"
Aktive Kapital- Investitionen	1970	40	40	40	40	40	Mrd. \$
	2000	130	118	84	83	47	"
	2025	261	163	128	98	39	"

Tab. 1 b
Szenarienergebnisse für das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland

Jahr		'Standard' (WGER1)	'Mischung' (WGER2I)	'Nicht- nuklear' (WGER3I)	'Ein- sparung' (WGER4)	'bessere Nutzung' (WGER6)	
Energiemischung an Verbraucher El/Kohle/Gas/Flüss.		15/27/ 4/50 38/13/22/22 51/ 7/15/ 7	15/27/ 4/50 31/18/24/20 23/ 8/39/11	15/27/ 4/50 18/22/24/30 24/13/24/20	15/27/ 4/50 22/22/22/14 22/15/13/24	15/27/ 4/50 21/31/18/28 22/22/35/18	Prozent (Restprozen- te = Fernwärme)
Energie- nutzungsgrad (1970 = 100)	1970	100	100	100	100	100	
	2000	100	100	100	100	147	
	2025	100	100	100	100	150	
Gesamt- energie an Verbraucher	1970	260	260	260	260	260	Mio tsKE/Jahr
	2000	450	500	490	450	290	"
	2025	610	720	540	450	230	"
Energiedienst- leistung beim Verbraucher	1970	260	260	260	260	260	Mio tsKE/Jahr
	2000	450	500	490	450	430	"
	2025	610	720	540	450	350	"
Jährliche Energiekosten des Verbrauchers	1970	27	27	27	27	27	Mrd. \$/Jahr
	2000	73	60	47	46	36	"
	2025	113	75	55	43	32	"
Verbraucher- kosten je Energieeinheit	1970	105	105	105	105	105	\$/tsKE
	2000	162	120	97	102	124	"
	2025	185	105	102	96	141	"
Gesamt- wirkungsgrad des Systems	1970	78	78	78	78	78	Prozent
	2000	56	62	75	72	75	"
	2025	49	70	73	76	76	"
Konzentriert anfallende Abwärme	1970	70	70	70	70	70	Mio. tsKE/Jahr
	2000	330	290	150	160	90	"
	2025	560	270	170	130	70	"

Energiefluß
[10⁶ t SKE/a]

Bundesrepublik Deutschland

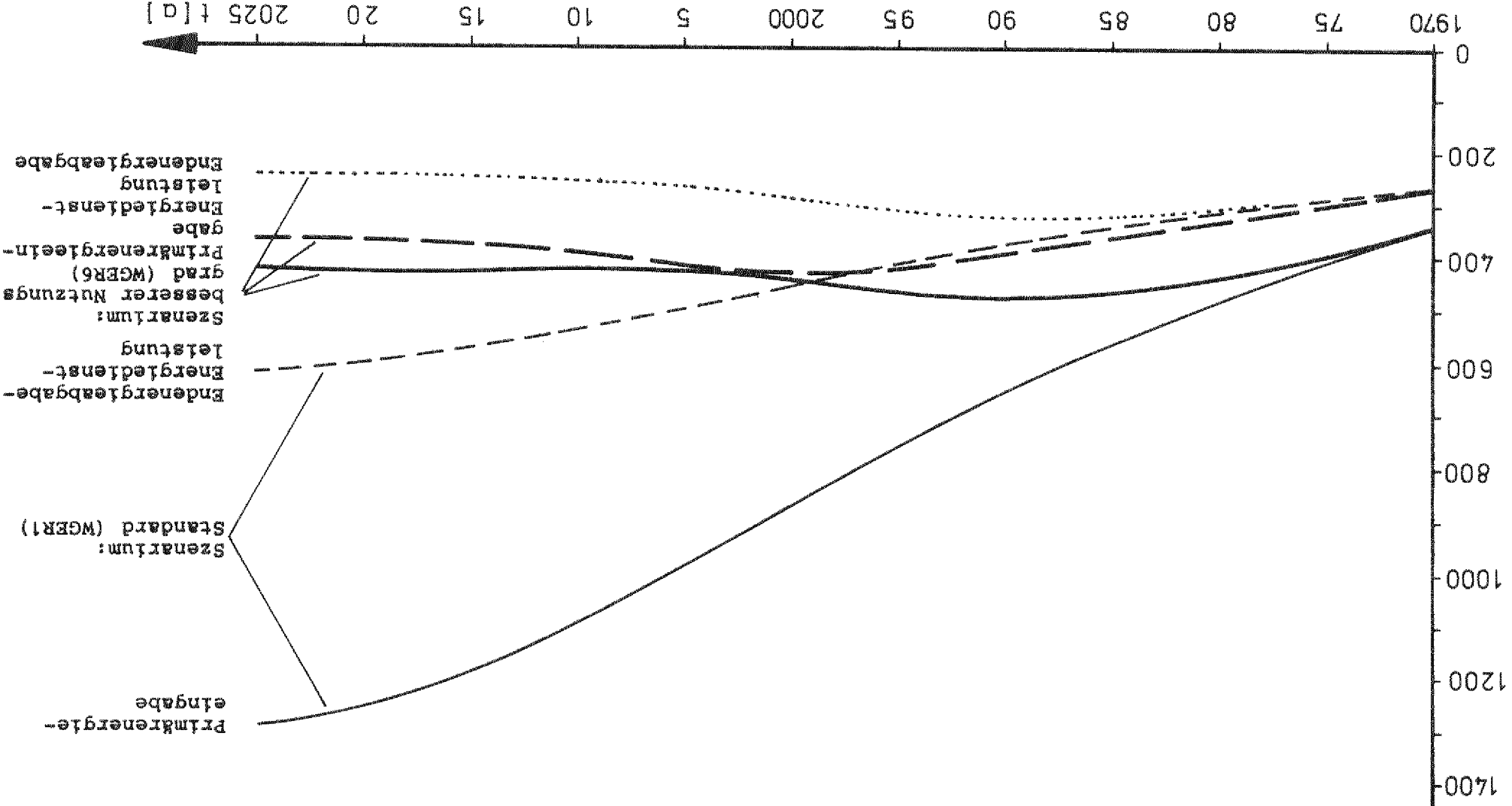
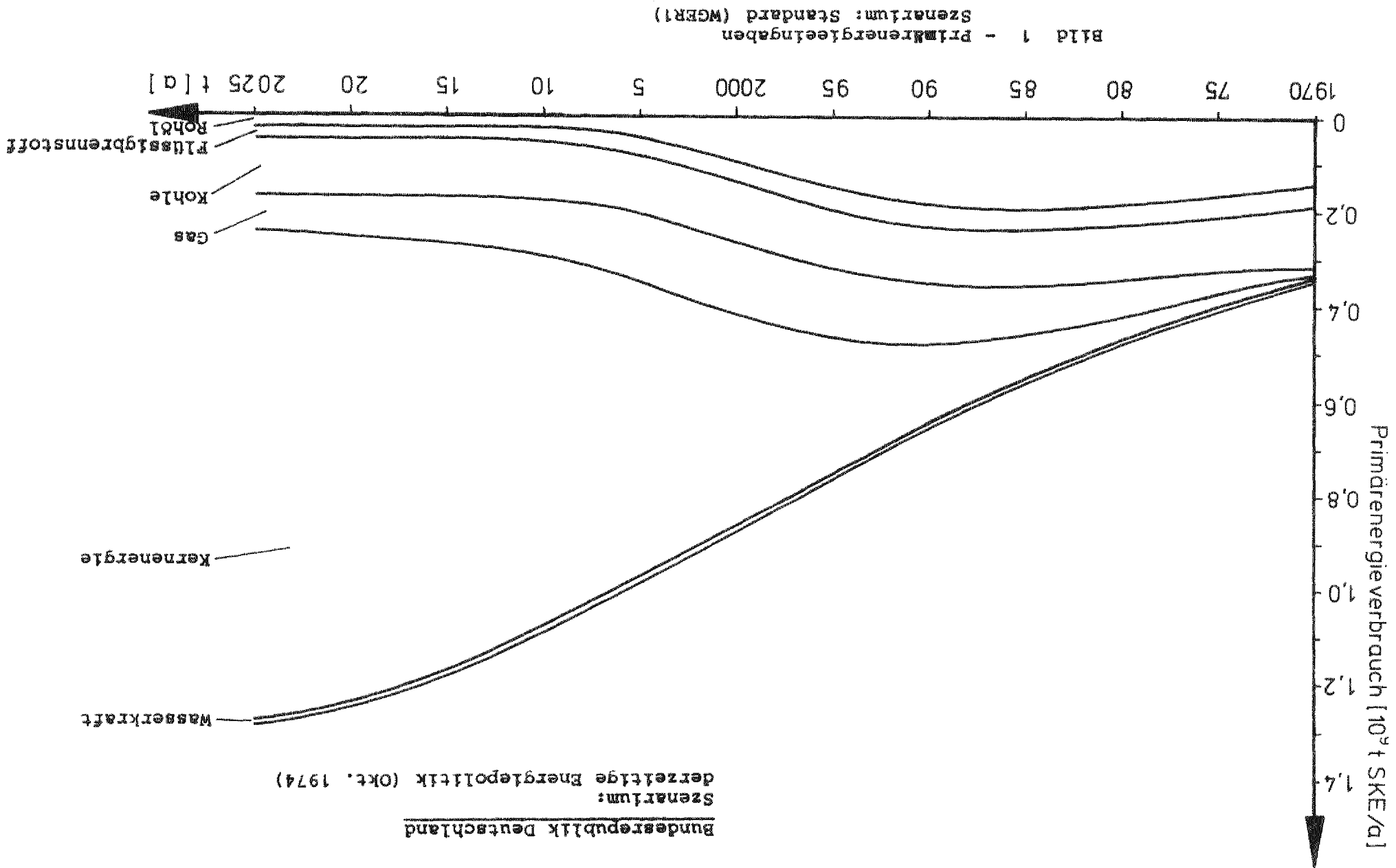


Bild 0 - Bundesrepublik Deutschland - Vergleich der Primärenergieleistungen, der Endenergieabgaben an Endverbraucher und der Energieleistungsleistungen beim Endverbraucher.



<u>INDICATORS OF ENERGY SUPPLY ADEQUACY</u>			
	1970	2000	2025
POWER REACHING USER (W/CAP)	4033	6994	9429
CORP. SERVICE IN TERMS OF 1970 TECHNOLOGY (W/CAP)	4033	6994	9429
ENERGY MIX GO USER SECTOR (PCT)			
ELECTRICITY	14	37	50
GAS	5	21	14
LIQUID FUEL	50	21	6
COAL AND OTHER SOLID FUEL	28	13	5
CENTRAL HEAT	0	5	22
 <u>COST INDICATORS</u>			
	1970	2000	2025
AVG. COST TO USER PER ENERGY UNIT (\$/TCE)	99	139	170
AVG. SPEC. CONVERSION PLANT INVESTMENT (\$/KWE)	193	366	355
ANN. INVESTMENT IN CONVERSION PLANTS (MEGA\$/YEAR)	0	2995	4026
ANN. IMPORT COST OF PRIMARY ENERGY (GIGA\$/YEAR)	10	19	16
 <u>INDEPENDENCE INDICATORS</u>			
	1970	2000	2025
DEPENDENCE ON FOREIGN ENERGY SOURCES (PCT)	55	82	89
DEPEND. ON NONRENEWABLE ENERGY SOURCES (PCT)	94	47	18
 <u>EFFICIENCY INDICATORS</u>			
	1970	2000	2025
OVERALL ENERGY CONVERSION AND DISTRIBUTION EFFICIENCY (ENERGY TO USER/ PRIMARY ENERGY INPUT) (PCT)	72	51	46
OVERALL ENERGY SERVICE FACTOR (1970 ENERGY SERVICE/ENERGY INPUT TO USER) (1970=100)	100	100	100

BILD 2: Indikatoren für Entscheidungskriterien
Szenarium: Standard (WGER 1)

<u>CHANGE INDICATORS</u>	1970	2000	2025
ANNUAL RATE OF CHANGE IN PRIMARY ENERGY INPUTS (PCT/YEAR)			
COAL	0	0	0
OIL	0	-1	-1
GAS	0	23	4
NUCLEAR	0	0	0
ANNUAL RATE OF CHANGE IN SECONDARY ENERGY OUTPUTS (PCT/YEAR)			
ELECTRICITY	0	11	12
GAS	0	18	8
LIQUID FUEL	0	0	-1
SOLID FUEL	0	0	0
CENTRAL HEAT	0	37	123

<u>SAFETY INDICATORS</u>	1970	2000	2025
NUMBER OF NUCLEAR POWER PLANTS (1000 UNITS)	0	184	576
NUMBER OF HYDROGEN PLANTS (1000 UNITS)	0	0	49
COAL PRODUCTION FOR DOMESTIC CONSUMPTION (MEGATCE/YEAR)	130	120	120

<u>POLLUTION INDICATORS</u>	1970	2000	2025
NUMBER OF COAL-FIRED POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)	21	18	18
NUMBER OF OIL-FIRED POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)	7	4	0
NUMBER OF NUCLEAR POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)	0	184	576
HEATING OIL TO RESIDENTIAL/COMMERC. USERS (MEGATCE/YEAR)	58	29	8
CONCENTRATED WASTE HEAT FROM CONVERSION PLANTS (MEGATCE/YEAR)	72	353	626

BILD 3: Indikatoren für Entscheidungskriterien (Forts.)
Szenarium: Standard (WGER1)

1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE
3-PRIMAERENERGIE-EINGABE

1-EINGABE IN DIE GESAMTWIRTSCHAFT

1-ENERGIEFLUSS PRO JAHR (MEGATSKE/JAHR)

1970	360	0+++++
1975	390	0++++++
1980	480	0+++++++
1985	570	0+++++++
1990	670	0+++++++
1995	760	0+++++++
2000	880	0+++++++
2005	990	0+++++++
2010	1100	0+++++++
2015	1190	0+++++++
2020	1270	0+++++++
2025	1300	0+++++++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 2-GESAMTBETRAEGE IM VERBRAUCHERSEKTOR
6-ABWAERME AUS UMWANDLUNGSPROZESSEN

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	72	0++
1975	79	0++
1980	112	0+++
1985	155	0++++
1990	204	0+++++
1995	273	0+++++
2000	353	0+++++
2005	443	0+++++
2010	525	0+++++
2015	569	0+++++
2020	611	0+++++
2025	626	0+++++

88

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 2-GESAMTBETRAEGE IM VERBRAUCHERSEKTOR
1-GESAMTENERGIEEINGABE AN VERBRAUCHERSEKTOR

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	260	0+++++
1975	279	0+++++
1980	332	0+++++
1985	377	0+++++
1990	416	0+++++
1995	428	0+++++
2000	451	0+++++
2005	468	0+++++
2010	506	0+++++
2015	549	0+++++
2020	592	0+++++
2025	609	0+++++

3-AUFTEILUNG AUF ZWISCHENUMWANDLUNGEN
 1-FLUESSIGBRENNSTOFFE

4-AN CHEMISCHE INDUSTRIE

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	24	0+++++
1975	26	0+++++
1980	27	0+++++
1985	30	0+++++
1990	31	0+++++
1995	27	0+++++
2000	21	0+++++
2005	13	0+++++
2010	10	0+++++
2015	9	0+++++
2020	9	0+++++
2025	10	0+++++

BILD 4: Einzelgrößen (Szenarium:Standard (WGER1))

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 1-ELEKTRIZITAET
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	16	0+
1975	17	0++
180	24	0+++
1985	32	0++++
1990	47	0+++++
1995	63	0++++++
2000	84	0+++++++
2005	109	0+++++++
2010	136	0+++++++
2015	153	0+++++++
2020	166	0+++++++
2025	166	0+++++++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 5-GASF. BRENNSTOFFE
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	6	0++
1975	12	0+++++
1980	26	0+++++++
1985	34	0+++++++
1990	43	0+++++++
1995	46	0+++++++
2000	50	0+++++++
2005	48	0+++++++
2010	38	0+++++++
2015	40	0+++++++
2020	42	0+++++++
2025	47	0+++++++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 4-FLUESSIGBRENNSTOFFE
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	58	0+++++++
1975	62	0+++++++
1980	60	0+++++++
1985	61	0+++++++
1990	53	0+++++++
1995	41	0+++++++
2000	29	0+++++++
2005	16	0+++++
2010	12	0+++
2015	9	0+++
2020	9	0++
2025	8	0++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 2-PROZESS (FERN)WAERME
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	1	0
1975	1	0
1980	1	0
1985	1	0
1990	3	0+
1995	9	0++
2000	19	0+++++
2005	32	0+++++++
2010	50	0+++++++
2015	58	0+++++++
2020	67	0+++++++
2025	67	0+++++++

BILD 5: Einzelgrößen (Szenarium: Standard (WGER1))

1-PRIMAENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE

1-FOSSILE U. BIOLOGISCHE ENERGIEN

3-ROHOEL

2-EINFÜHREN

2-GELDWERT DES ENERGIEFLUSSES (GIGA\$/JAHR)

1970	6	Ø+++++
1975	7	Ø+++++
1980	7	Ø+++++
1985	8	Ø+++++
1990	8	Ø+++++
1995	7	Ø+++++
2000	4	Ø+++++
2005	2	Ø++++
2010	1	Ø+++
2015	1	Ø+++
2020	1	Ø+++
2025	1	Ø+++

4-ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE

3-FOSS.U.BIOEN.: VERGASUNG, VERFLUESS., RAFFINATION

4-KOHLEVERGASUNG UND -VERFLUESSIGUNG

3-ZAHL D. UMWANGL.WERKE U. KAPITALINVESTITION

1-UMWANGLUNGSWERKE IM BETRIEB (IN 1000 MWE EINH)

1970	Ø	Ø
1975	Ø	Ø
1980	1	Ø
1985	3	Ø
1990	6	Ø
1995	9	Ø
2000	14	Ø+
2005	19	Ø+
2010	25	Ø++
2015	31	Ø++
2020	38	Ø+++
2025	44	Ø++++

88

2-AUFTEILUNG AUF UMWANGLUNG ODER ENDVERBRAUCHER

1-FOSSILE UND BIOLOGISCHE ENERGIEN

4-KOHLE UND BRAUNKOHLE

2-ZUR VERGASUNG, VERFLUESSIGUNG ODER RAFFINATION

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	Ø	Ø
1975	Ø	Ø
1980	1	Ø
1985	3	Ø+
1990	6	Ø++
1995	8	Ø++++
2000	13	Ø+++++
2005	17	Ø+++++
2010	22	Ø+++++
2015	28	Ø+++++
2020	34	Ø+++++
2025	40	Ø+++++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER

1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER

4-FLUESSIGBRENNSTOFFE

3-EINGABE AN VERKEHRSSSEKTOR

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	37	Ø+++++
1975	44	Ø+++++
1980	54	Ø+++++
1985	66	Ø+++++
1990	68	Ø+++++
1995	60	Ø+++++
2000	48	Ø+++++
2005	31	Ø+++++
2010	26	Ø+++++
2015	23	Ø+++++
2020	25	Ø+++++
2025	27	Ø+++++

BILD 6: Einzelgrößen (Szenarium: Standard (WGER1))

2-AUFTEILUNG AUF UMWANDLUNG ODER ENDVERBRAUCHER
 2-NICHTFOSSILE, NICHTBIOLOGISCHE ENERGIEN
 5-KERNSPALTUNGSENERGIE
 2-ZUR ELEKTRIZITAETSERZEUGUNG

1-JAERL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)		
1970	0	0
1975	10	0
1980	40	0
1985	90	0++
1990	158	0+++
1995	271	0+++++
2000	408	0++++++
2005	567	0+++++++
2010	701	0+++++++
2015	774	0+++++++
2020	831	0+++++++
2025	834	0+++++++

2-AUFTEILUNG AUF UMWANDLUNG ODER ENDVERBRAUCHER
 2-NICHTFOSSILE, NICHTBIOLOGISCHE ENERGIEN
 5-KERNSPALTUNGSENERGIE
 3-ZUR FERNWARMEERZEUGUNG

1-JAERL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)		
1970	0	0
1975	0	0
1980	0	0
1985	0	0
1990	1	0
1995	8	0
2000	21	0
2005	42	0+
2010	78	0+
2015	115	0++
2020	158	0+++
2025	195	0++++

8

4-ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE
 1-UMWANDLUNG IN ELEKTRIZITAET
 5-ELEKTRIZITAET DURCH KERNENERGIE
 3-ZAHL D. UMWANDL.WERKE U. KAPITALINVESTITION
 1-UMWANDLUNGSWERKE IM BETRIEB (IN 1000 MWE EINH)

1970	0	0
1975	3	0
1980	14	0
1985	32	0+
1990	59	0+++
1995	105	0++++
2000	163	0+++++
2005	233	0++++++
2010	297	0+++++++
2015	337	0+++++++
2020	362	0+++++++
2025	363	0+++++++

4-ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE
 2-UMWANDLUNG IN FERNWAERME
 1-PROZESS (FERN)WAERME AUS KERNENERGIE
 3-ZAHL D. UMWANDL.WERKE U. KAPITALINVESTITION
 1-UMWANDLUNGSWERKE IM BETRIEB (IN 1000 MWE EINH)

1970	0	0
1975	0	0
1980	0	0
1985	0	0
1990	1	0
1995	8	0
2000	21	0+
2005	43	0++
2010	81	0++++
2015	123	0+++++
2020	172	0+++++++
2025	213	0+++++++

BILD 7: Einzelgrößen (Szenarium: Standard (WGER1))

5-ENERGIEVERTEILUNGSPROZESSE
 5-GASF.BRENNSTOFFE AN ENDVERBRAUCHER
 1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	14	0+++
1975	28	0+++++
1980	56	0+++++
1985	72	0+++++
1990	89	0+++++
1995	92	0+++++
2000	99	0+++++
2005	92	0+++++
2010	73	0+++++
2015	74	0+++++
2020	78	0+++++
2025	87	0+++++

84

5-ENERGIEVERTEILUNGSPROZESSE
 1-ELEKTRIZITAET AN ENDVERBRAUCHER (VOR UEBERTRAGG)
 4-GESAMTINVEST. IM UEBERTRAGUNGSSYSTEM (GIGA\$)

1970	5	0++
1975	5	0++
1980	7	0+++
1985	9	0++++
1990	13	0+++++
1995	17	0+++++
2000	22	0+++++
2005	28	0+++++
2010	35	0+++++
2015	39	0+++++
2020	41	0+++++
2025	41	0+++++

BILD 8: Einzelgrößen (Szenarium: Standard (WGER 1))

PROBLEM CHART

SUMMARY OF INDICATOR ASSESSMENTS

YEAR ADEQU COST INDEP CHANG EFFIC SAFET POLLU

1970		X	XXX				X
1975		X	XXX	X			X
1980		XX	XXX	XX		X	X
1985		XX	XXX	XX		XX	XX
1990		XXX	XXX	X	X	XXX	XXX
1995		XXX	XXX	XX	XX	XXXX	XXXX
2000		XXX	XXX		XX	XXXX	XXXX
2005		XXX	XXX		XXX	XXXX	XXXX
2010		XXX	XXX		XXX	XXXX	XXXX
2015		XXX	XXX		XXX	XXXX	XXXX
2020	XX	XXX	XXX		XXX	XXXX	XXXX
2025	XX	XXX	XXX		XXX	XXXX	XXXX

ENERGIEANGEBOT

KOSTEN

ABHAENIGKEIT

AEENDERUNGEN

WIRKUNGSGRAD

SICHERHEIT

UMWELTEINFLUSS

BILD 9: Problemkarte

Szenarium: Standard WGER1

(X = beunruhigend

XX = unbefriedigend

XXX = schwerste Bedenken

XXXX = unakzeptabel)

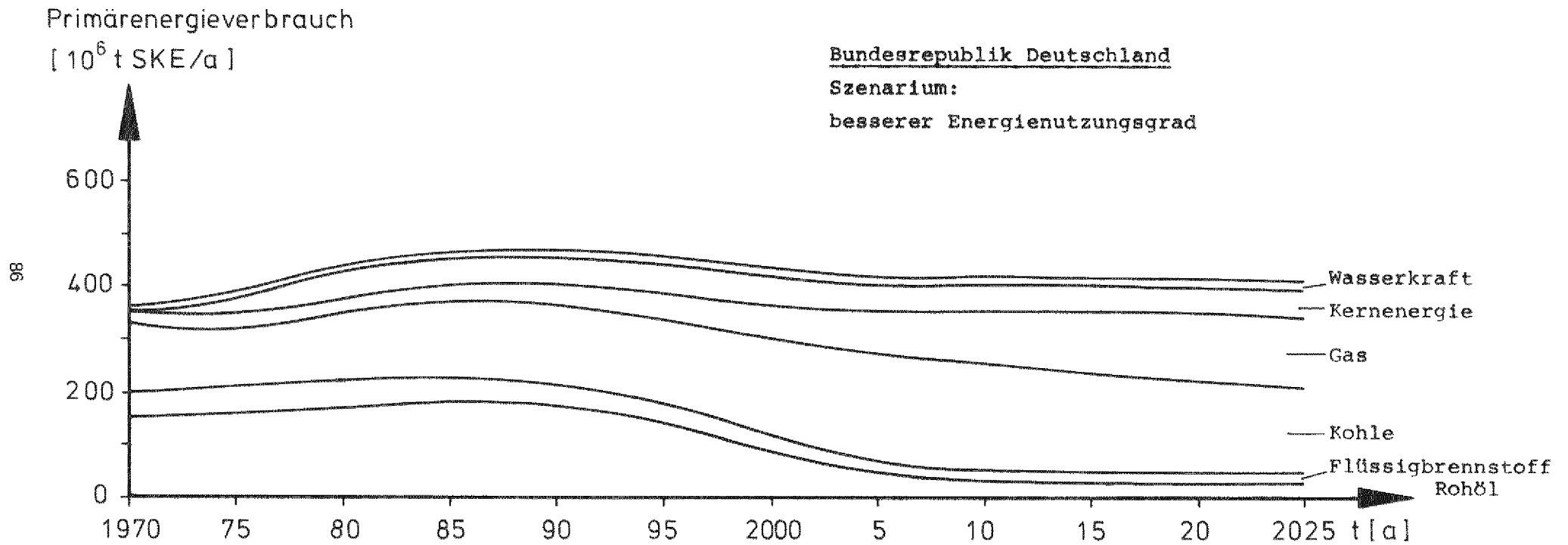


Bild 10 - Primärenergieeingaben
Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6)

INDICATORS OF ENERGY SUPPLY ADEQUACY

	1970	2000	2025
POWER REACHING USER (W/CAP)	4033	4555	3626
CORP. SERVICE IN TERMS OF 1970 TECHNOLOGY (W/CAP)	4033	6700	5430
ENERGY MIX GO USER SECTOR (PCT)			
ELECTRICITY	14	21	23
GAS	5	17	34
LIQUID FUEL	50	28	18
COAL AND OTHER SOLID FUEL	28	31	20
CENTRAL HEAT	0	1	3

COST INDICATORS

	1970	2000	2025
AVG. COST TO USER PER ENERGY UNIT (\$/TCE)	99	104	103
AVG. SPEC. CONVERSION PLANT INVESTMENT (\$/KWE)	193	252	249
ANN. INVESTMENT IN CONVERSION PLANTS (MEGA\$/YEAR)	0	-840	-64
ANN. IMPORT COST OF PRIMARY ENERGY (GIGA\$/YEAR)	10	13	14

INDEPENDENCE INDICATORS

	1970	2000	2025
DEPENDENCE ON FOREIGN ENERGY SOURCES (PCT)	55	61	78
DEPEND. ON NONRENEWABLE ENERGY SOURCES (PCT)	94	84	82

EFFICIENCY INDICATORS

	1970	2000	2025
OVERALL ENERGY CONVERSION AND DISTRIBUTION EFFICIENCY (ENERGY TO USER/PRIMARY ENERGY INPUT) (PCT)	72	66	57
OVERALL ENERGY SERVICE FACTOR (1970 ENERGY SERVICE/ENERGY INPUT TO USER) (1970=100)	100	147	150

BILD 11: Indikatoren für Entscheidungskriterien
Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6)

CHANGE INDICATORS

	1970	2000	2025
ANNUAL RATE OF CHANGE IN PRIMARY ENERGY INPUTS (PCT/YEAR)			
COAL	0	2	-1
OIL	0	-7	0
GAS	0	7	0
NUCLEAR	0	0	0
ANNUAL RATE OF CHANGE IN SECONDARY ENERGY OUTPUTS (PCT/YEAR)			
ELECTRICITY	0	0	0
GAS	0	6	0
LIQUID FUEL	0	-6	0
SOLID FUEL	0	1	-3
CENTRAL HEAT	0	5	0

SAFETY INDICATORS

	1970	2000	2025
NUMBER OF NUCLEAR POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)	0	17	22
NUMBER OF HYDROGEN PLANTS (1000 MWE UNITS)	0	0	2
COAL PRODUCTION FOR DOMESTIC CONSUMPTION (MEGATCE/YEAR)	130	180	160

POLLUTION INDICATORS

	1970	2000	2025
NUMBER OF COAL-FIRED POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)	21	27	24
NUMBER OF OIL-FIRED POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)	7	3	0
NUMBER OF NUCLEAR POWER PLANTS (1000 MWE UNITS)	0	17	22
HEATING OIL TO RESIDENTIAL/COMMERC. USERS (MEGATCE/YEAR)	58	25	8
CONCENTRATED WASTE HEAT FROM CONVERSION PLANTS (MEGATCE/YEAR)	72	98	73

BILD 12: Indikatoren für Entscheidungskriterien (Forts.)
Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER 6)

1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE

3-PRIMAERENERGIE-EINGABE

1-EINGABE IN DIE GESAMTWIRTSCHAFT

1-ENERGIEFLUSS PRO JAHR (MEGATSKE/JAHR)

1970	360	0+++++
1975	390	0+++++
1980	440	0+++++
1985	460	0+++++
1990	470	0+++++
1995	460	0+++++
2000	440	0+++++
2005	420	0+++++
2010	420	0+++++
2015	420	0+++++
2020	420	0+++++
2025	410	0+++++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER

2-GESAMTBETRAEGE IM VERBRAUCHERSEKTOR

6-ABWAERME AUS UMWANDLUNGSPROZESSEN

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	72	0+++++
1975	80	0+++++
1980	106	0+++++
1985	109	0+++++
1990	110	0+++++
1995	105	0+++++
2000	98	0+++++
2005	93	0+++++
2010	87	0+++++
2015	79	0+++++
2020	75	0+++++
2025	73	0+++++

68

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER

2-GESAMTBETRAEGE IM VERBRAUCHERSEKTOR

1-GESAMTENERGIEEINGABE AN VERBRAUCHERSEKTOR

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	260	0+++++
1975	278	0+++++
1980	301	0+++++
1985	317	0+++++
1990	323	0+++++
1995	314	0+++++
2000	294	0+++++
2005	273	0+++++
2010	263	0+++++
2015	253	0+++++
2020	246	0+++++
2025	234	0+++++

(x)

3-AUFTEILUNG AUF ZWISCHENUMWANDLUNGEN

1-FLUESSIGBRENNSTOFFE

4-AN CHEMISCHE INDUSTRIE

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	24	0+++++
1975	26	0+++++
1980	27	0+++++
1985	29	0+++++
1990	28	0+++++
1995	26	0+++++
2000	18	0+++++
2005	11	0+++++
2010	9	0+++++
2015	9	0+++++
2020	10	0+++++
2025	10	0+++++

(x) entsprechende Energiedienstleistung steigt um etwa 50 % bis zum Jahre 2000.

BILD 13: Einzelgrößen (Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6))

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 1-ELEKTRIZITÄT
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JÄHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	16		Ø+++++
1975	17		Ø+++++
1980	23		Ø+++++
1985	24		Ø+++++
1990	29		Ø+++++
1995	30		Ø+++++
2000	31	(x)	Ø+++++
2005	31		Ø+++++
2010	31		Ø+++++
2015	30		Ø+++++
2020	30		Ø+++++
2025	29		Ø+++++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 5-GASF.BRENNSTOFFE
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JÄHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	6		Ø++
1975	9		Ø++++
1980	10		Ø++++
1985	11		Ø++++
1990	15		Ø++++
1995	19		Ø++++
2000	25	(x)	Ø++++
2005	29		Ø++++
2010	35		Ø++++
2015	40		Ø++++
2020	43		Ø++++
2025	43		Ø++++

06

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 4-FLUESSIGBRENNSTOFFE
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JÄHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	58		Ø+++++
1975	62		Ø+++++
1980	60		Ø+++++
1985	58		Ø+++++
1990	48		Ø+++++
1995	39		Ø+++++
2000	25	(x)	Ø++++
2005	14		Ø++++
2010	10		Ø+++
2015	9		Ø+++
2020	9		Ø+++
2025	8		Ø++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER
 1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER
 2-PROZESS (FERN)WAERME
 1-EINGABE AN HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER
 1-JÄHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	1		Ø+++++
1975	1		Ø++++
1980	1		Ø++++
1985	1		Ø++++
1990	2		Ø++++
1995	3		Ø++++
2000	3	(x)	Ø++++
2005	4		Ø++++
2010	4		Ø++++
2015	4		Ø++++
2020	3		Ø++++
2025	3		Ø++++

(x) entsprechende Energiedienstleistung steigt um etwa 66 % bis zum Jahr 2000.

BILD 14: Einzelgrößen (Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6))

1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE

1-FOSSILE U. BIOLOGISCHE ENERGIEN

3-ROHOEL

2-EINFUHREN

2-GELDWERT DES ENERGIEFLUSSES (GIGA\$/JAHR)

1970	6	0+++++
1975	7	0+++++
1980	7	0+++++
1985	8	0+++++
1990	7	0+++++
1995	6	0+++++
2000	3	0+++++
2005	1	0++++
2010	0	0++
2015	0	0++
2020	0	0++
2025	0	0++

4-ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE

3-FOSS.U.BIOEN.: VERGASUNG, VERFLUESS., RAFFINATION

4-KOHLEVERGASUNG UND -VERFLUESSIGUNG

3-ZAHL D. UMWANDL.WERKE U. KAPITALINVESTITION

1-UMWANDLUNGSWERKE IM BETRIEB (IN 1000 MWE EINH)

1970	0	0
1975	0	0
1980	1	0
1985	4	0+
1990	8	0++
1995	12	0++++
2000	21	0+++++
2005	33	0+++++
2010	41	0+++++
2015	47	0+++++
2020	54	0+++++
2025	59	0+++++

91

1-PRIMAERENERGIEEINGABEN; IMPORTE U. EXPORTE

1-FOSSILE U. BIOLOGISCHE ENERGIEN

5-GAS

2-EINFUHREN

2-GELDWERT DES ENERGIEFLUSSES (GIGA\$/JAHR)

1970	0	0
1975	0	0+
1980	1	0++
1985	1	0++
1990	1	0++
1995	2	0++++
2000	3	0+++++
2005	5	0+++++
2010	7	0+++++
2015	8	0+++++
2020	9	0+++++
2025	9	0+++++

6-ENERGIEVERTEILUNG AUF ENDVERBRAUCHER

1-AUFSTELLUNG NACH ENERGIEART U. VERBRAUCHER

4-FLUESSIGBRENNSTOFFE

3-EINGABE AN VERKEHRSEKTOR

1-JAEBRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	37	0+++++
1975	44	0+++++
1980	54	0+++++
1985	63	0+++++
1990	62	0+++++
1995	57	0+++++
2000	41 (x)	0+++++
2005	27	0+++++
2010	22	0+++++
2015	24	0+++++
2020	26	0+++++
2025	28	0+++++

(x) entsprechende Energiedienstleistung steigt um etwa 43 % bis zum Jahre 2000.

BILD 15: Einzelgrößen (Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6))

2-AUFTEILUNG AUF UMWANDLUNG ODER ENDVERBRAUCHER
 2-NICHTFOSSILE, NICHTBIOLOGISCHE ENERGIEN
 5-KERNSPALTUNGSENERGIE
 2-ZUR ELEKTRIZITAETSERZEUGUNG

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)		
1970	0	0
1975	10	0+++++
1980	40	0+++++
1985	40	0+++++
1990	39	0+++++
1995	38	0+++++
2000	38	0+++++
2005	37	0+++++
2010	35	0+++++
2015	34	0+++++
2020	33	0+++++
2025	32	0+++++

2-AUFTEILUNG AUF UMWANDLUNG ODER ENDVERBRAUCHER
 2-NICHTFOSSILE, NICHTBIOLOGISCHE ENERGIEN
 5-KERNSPALTUNGSENERGIE
 3-ZUR FERNWAERMEERZEUGUNG

1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)		
1970	0	0
1975	0	0
1980	0	0
1985	0	0
1990	0	0+
1995	1	0+++
2000	2	0+++++
2005	2	0+++++
2010	4	0+++++
2015	5	0+++++
2020	6	0+++++
2025	7	0+++++

8 4-ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE

1-UMWANDLUNG IN ELEKTRIZITAET

5-ELEKTRIZITAET DURCH KERNENERGIE

3-ZAHL D. UMWANDL.WERKE U. KAPITALINVESTITION

1-UMWANDLUNGSWERKE IM BETRIEB (IN 1000 MWE EINH)

1970	0	0
1975	3	0++++
1980	14	0+++++
1985	14	0+++++
1990	14	0+++++
1995	15	0+++++
2000	15	0+++++
2005	15	0+++++
2010	15	0+++++
2015	15	0+++++
2020	14	0+++++
2025	14	0+++++

4-ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE

2-UMWANDLUNG IN FERNWAERME

1-PROZESS (FERN)WAERME AUS KERNENERGIE

3-ZAHL D. UMWANDL.WERKE U. KAPITALINVESTITION

1-UMWANDLUNGSWERKE IM BETRIEB (IN 1000 MWE EINH)

1970	0	0
1975	0	0
1980	0	0
1985	0	0
1990	0	0
1995	1	0++
2000	1	0++++
2005	2	0+++++
2010	4	0+++++
2015	5	0+++++
2020	6	0+++++
2025	8	0+++++

BILD 16: Einzelgrößen (Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6))

5-ENERGIEVERTEILUNGSPROZESSE
 5-GASF. BRENNSTOFFE AN ENDVERBRAUCHER
 1-JAEHRL. ENERGIEFLUSS (MEGATSKE/JAHR)

1970	14	0+++
1975	21	0+++++
1980	22	0+++++
1985	24	0+++++
1990	31	0+++++
1995	38	0+++++
2000	50	0+++++
2005	57	0+++++
2010	67	0+++++
2015	75	0+++++
2020	80	0+++++
2025	81	0+++++

93

5-ENERGIEVERTEILUNGSPROZESSE
 1-ELEKTRIZITAET AN ENDVERBRAUCHER (VOR UEBERTRAGG)
 4-GESAMTINVEST. IM UEBERTRAGUNGSSYSTEM (GIGA\$)

1970	5	0+++++
1975	5	0+++++
1980	6	0+++++
1985	7	0+++++
1990	8	0+++++
1995	8	0+++++
2000	8	0+++++
2005	8	0+++++
2010	8	0+++++
2015	7	0+++++
2020	7	0+++++
2025	7	0+++++

BILD 17: Einzelgrößen (Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6))

PROBLEM CHART

SUMMARY OF INDICATOR ASSESSMENTS

YEAR ADEQU COST INDEP CHANG EFFIC SAFET POLLU

1970	X	XXX				X
1975		XXX				X
1980	X	XXX	XX		X	X
1985	X	XXX			X	X
1990	X	XXX			X	X
1995	X	XXX			X	X
2000	X	XXX			X	X
2005	X	XXX	X		X	X
2010	X	XXX	X		X	X
2015	X	XXX		X	X	X
2020	X	XXX		X	X	X
2025	X	XXX		X	X	X

ENERGIEANGEBOT

KOSTEN

ABHAENGIKKEIT

AENDERUNGEN

WIRKUNGSGRAD

SICHERHEIT

UMWELTEINFLUSS

BILD 18: Problemkarte

Szenarium: besserer Nutzungsgrad (WGER6)

(X = beunruhigend
 XX = unbefriedigend
 XXX = schwerste Bedenken
 XXXX = unakzeptabel)

DISKUSSION

G. Dietrich, KFA Jülich: Wie lange benötigen Entscheidungsträger (Politiker), um sich in die Struktur Ihres Modells einzuarbeiten? Ist dies nicht erheblich länger als die von Ihnen angegebenen 2 Stunden zur Erstellung eines Szenarios?

H. Bossel, ISI, Karlsruhe: Das hängt von der Vorbildung ab. Benutzer, die mit dem Energiesystem vertraut waren, haben das Programm ohne weitere Anleitungen benutzen können. (Das interaktive Programm ist als Lehrprogramm ausgelegt.) Andere Benutzer brauchen technische Informationen und etwa einen Tag Lernzeit.

H. Fuß, DFVLR, Porz-Wahn: Meine Frage zielt nicht nach der Handhabbarkeit, den Dingen, die da Spaß machen, sondern nach der Idee, die ihr zugrunde liegt, und ich könnte eigentlich die Frage, die ich an Herrn Hoffman gestellt habe, noch einmal wiederholen. Sie sprechen von einem Netz, ich würde lieber sagen von einem Graph, und mich interessieren in diesem Graphen die Knoten, die ja nicht Selbstzweck sind, sondern an denen Umwandlungen stattfinden. An diese Graphenknotten soll der Benutzer Zahlen setzen, nehmen wir an Prozentzahlen oder Verteilungszahlen, aber diese Knoten sind doch nicht Selbstzweck, sondern sie stehen doch in einer engen Interdependenz mit dem gesamten energetischen und wirtschaftlichen Geschehen rundherum. Ich vermissе eigentlich die Berücksichtigung dessen, was im Bild ganz rechts ist und als Ergebnis herauskommt auch an den einzelnen Knoten.

H. Bossel: Wir möchten die rechte Seite in der Weise auffächern, wie das auch Herr Hoffman getan hat.

F. Hossfeld, KFA Jülich:

1. Wo läuft das Programmsystem?
2. Wieviel Mannjahre wurden investiert?
3. Wird der Ausbau auf Graphics innerhalb des Karlsruher Graphics-Projektes geschehen?
4. Sie haben ausgeführt, daß die "Interaktivität" zur Zeit im gewissen Sinne als "Spielzeug" angesehen werden kann. Demgegenüber wird "Interaktivität" qualitativ erst sinn-

voll, wenn das System für Entscheidungssysteme mit mehreren Entscheidungsträgern bei konkurrierenden Interessen zugeschnitten wird! Dort ist es aber wesentlich und unabdingbar. Sehen Sie das auch so?

H. Bossel:

1. Auf Siemens 4004/151 BS 2000 in Karlsruhe und Birlinghoven (GMD), auf PDP 11/45 (Karlsruhe und Nijmegen), ESP, wurde entwickelt auf General Electric Prozeßrechnern. Das Programm ist in FORTRAN-IV geschrieben und kann somit auf fast allen Maschinen laufen.
2. Mannjahreinvestitionen: ESP 6 Mannwochen, ESPINT 6 Mannmonate.
3. Nein; dies ist ein Eigenprojekt für unsere PDP 11/45.
4. Ja; wir arbeiten mit unseren Kollegen in Holland an genau dieser Frage.

K. Zuckschwerdt, BMFT, Bonn: Haben Sie bei der Entwicklung des Szenarios mit Nullzuwachs für den Primärenergieverbrauch irgendwelche Begrenzungen für die Änderungsgeschwindigkeiten von Parametern verwendet?

H. Bossel: Ja, Änderungsgeschwindigkeiten wurden unter etwa 10 % Änderung pro Jahr gehalten.

H.J. Burchard, B.P., Hamburg: Zunächst ein Beitrag zur vorhergehenden Diskussion: Über den Energiebedarf zur Energiebereitstellung einschließlich des Energiebedarfs für den Energietransport gibt es Untersuchungen. Dazu zwei Fragen:

1. Das Modell stellt nur eine Seite der Medaille dar, nämlich die Versorgungsseite, und gibt insoweit eine weitere Auffächerung der Energiebilanz. Eine Nachfrage- oder Bedarfsseite fehlt. Hier sind sehr wahrscheinlich Bestimmungsgrößen in den einzelnen Sektoren maßgebend, die dazu noch im Zeitablauf erheblichen Veränderungen unterliegen können. Wie wird das berücksichtigt? Die Veränderung des spezifischen Energieverbrauchs pro Sektor scheint mir zwar eine interessante, aber grobe Annahme zu sein, die mir nicht ausreichend erscheint.
2. Zu den Energiekosten wurde gesagt, sie ergäben sich durch einfache Multiplikation aus Mengen und spezifischen Kosten. Aber einmal sind Kosten und Preise nicht identisch, zum anderen sind auf der Primär- und Endenergieseite wahrscheinliche Bestimmungsgrößen maßgebend - z.B. einerseits willkürliche Kartellpreise, andererseits flexible Marktpreise. Genügt aber das angewandte Verfahren als Bestimmungsgröße?

H. Bossel: Uns ist selbst nur allzu klar, daß man von einer gründlichen Betrachtung und Auffächerung des Verbrauchersektors ausgehen sollte. Diese Arbeit soll aufgenommen werden, sobald wir dafür einen Forschungsauftrag erhalten

können. Wir benutzen unterschiedliche Primär- und Endenergiepreise. Willkürlichkeiten können nur über Szenarieneingaben berücksichtigt werden.

Th. Bohn, KFA Jülich:

1. Ist nicht auch schon viel Subjektivität im Modell vom Modellbauer eingebaut durch die Vorgabe des Rechennetzes, in welchem ja Angaben wie Wirkungsgrade und Techniken ausgewählt sind?
2. Hängt das Rechennetz nicht auch vom gewählten Szenario des Benutzers ab, oder muß der Benutzer dann auch noch eine Veränderung im Rechennetz vornehmen?
3. Welcher Entscheidungsträger kann ein solches System im Hinblick auf seine Vorbildung benutzen?

H. Bossel:

1. Die Struktur beinhaltet alle physikalisch denkbaren Möglichkeiten und keinerlei Wirkungsgrade oder Verteilungen. Diese quantitativen Angaben müssen vom Benutzer gemacht werden. Das bedeutet, daß viele Pfade durch Einsetzen von Nullen "abgeklemmt" werden.
2. Wie in 1 angedeutet, werden durch Einsetzen von Nullen bei der Szenarioeingabe gewisse Energiepfade ausgeschaltet. Das bedeutet, daß der Benutzer die Struktur entsprechend dem Szenario verändert.
3. Bisherige nichttechnisch vorgebildete Benutzer: Hausfrauen, CDU-Politiker, Staatssekretäre. Allerdings kommen hier Rückfragen nach Wirkungsgraden, geschichtlicher Entwicklung vor, die in einem späteren Ausbaustadium durch das Programm selbst durch Eingabe von "I" (Information) beantwortet werden.

K.C. Hoffman, Brookhaven, USA: I would like to ask a question about your scenarios in which these implies that there is a good bit of substitution by the year 2000 of nuclear energy and other fuel form for liquid fuels. Could you say more about how you desire such substitutions and what technologies are employed or are implicit in the analysis?

H. Bossel: We assume that liquid fuels are almost exclusively used by the year 2000 in the transportation sector because we see there that this substitution ability is most difficult. We assume for example in this country that the liquid fuel used for home heating is being replaced almost entirely by gas and by district heating. We assume an increase in the electricity production in both cases. The first (standard) scenario has problems with respect to substitutions of many processes presently fueled by liquid fuel and gas by electricity. We have taken this scenario from data published now for FRG, by people probably in this room, and we have taken these data without considering the details.

K.C. Hoffman, Brookhaven, USA: Both of the scenarios that you presented indicated significant substitutions for liquid fuels. Could you explain your approach to interfuel substitutions (efficiency and technology) and indicate those that would reduce liquid fuel consumption to the level indicated?

H. Bossel: The reduction is almost entirely due to eventual elimination of home-heating using liquid fuel by district-heating and syngas, (liquid fuel consumption for home-heating now accounts for about 45 % of liquid fuel use in the FRG).

W. Häfele, IIASA, Laxenburg: Die Aussage des zweiten Szenarios überrascht und erweckt Zweifel. In diesem Zusammenhang muß bemerkt werden, daß zu jeder Anpassung der technischen Einrichtungen Kapital und Zeit erforderlich sind. Untersuchungen zur Marktdurchdringung neuer Produkte (logistische Kurve) zeigen immer wieder, daß Jahrzehnte erforderlich sind. Sparmaßnahmen, wie etwa zusätzliche Isolierungen in Häusern, erfordern Kapital. Ist es nicht besser, Zeit und Kapital für den Übergang auf nicht fossile Energieerzeugung einzusetzen, wenn fossile Brennstoffe ohnehin zu Ende gehen, anstatt diese Zeit und dieses Kapital zu Sparmaßnahmen zu verwenden, wenn später der Übergang zu nicht fossilen Brennstoffen doch erforderlich ist?

H. Bossel: Das Szenarioergebnis ist leicht nachprüfbar und sollte eigentlich nicht überraschen. Die Anpassung (bessere Energienutzung) erfolgt über 30 Jahre. (In der Vergangenheit sind dem Verbraucher viel schnellere Umstellungen zugemutet worden, z.B. Einführung der Ölheizung in den meisten Haushalten der BRD innerhalb 10 Jahren.) Das erforderliche Kapital wird mehr als gedeckt durch den Fortfall der Kapitalinvestitionen des Standardszenarios. Unabhängig von der notwendigen Umstellung auf nicht-fossile Primärenergie müssen die angegebenen Verbesserungen der Nutzungsgrade aber sowieso durchgeführt werden. Das sollte aber nicht erst geschehen, wenn das Energiesystem für volle Dauerleistung gebaut worden ist - das würde ein Abschalten teuer erworbener Kapazitäten bedeuten. Um ein Mißverständnis auszuräumen, die Eingabe an fossilen Brennstoffen beider Szenarien ist nicht wesentlich verschieden, d.h. das 2. Szenario bedeutet nicht einen erheblichen Ausbau der Kohle. Übrigens sind die im Standardszenario erforderlichen Umstellungen viel gravierender und viel fraglicher als die des zweiten (starker Anstieg des Elektrizitätsanteils weit über jetzt absehbare Substitutionsmöglichkeiten hinaus).

K.H. Beckurts, KFA Jülich: Ich bin über Ihr letztes Szenario überrascht. Ich stimme Ihnen zwar zu, daß wir alle Anstrengungen zur Einsparung von Energie machen müssen. Aber das wird sehr viel länger dauern als Sie es angenommen haben. Zum Beispiel erscheint es mir unmöglich, den Energiever-

brauch im Haushalt um den Faktor 1,5 zu senken. Wir müssen die steigenden Komfortbedürfnisse der Menschen berücksichtigen und den in der Industrie durch neue Umweltschutzbestimmungen eher steigenden spezifischen Verbrauch.

H. Bossel: Ich muß da doch bitten, daß hier zweierlei auseinandergehalten wird. Es ist zwar klar, daß man an den heutigen Wirkungsgraden heutiger technischer Prozesse nicht mehr sehr viel drehen kann. Man kann aber noch eine Menge einsparen durch Wärme-Kraft-Kopplung und Isolierung im Wohnungsbau.

H.J. Stöcker, KFA Jülich: Wie kommen Sie auf die Abnahme des Verbrauchs flüssiger Brennstoffe? Denn die flüssigen Brennstoffe werden von den reichen Ländern (OECD-Ländern) gekauft. Wenn es 1900 die OECD gegeben hätte, wären ungefähr die gleichen Mitglieder darin gewesen. Woraus schließen Sie, daß im Jahr 2000 nicht immer noch ungefähr die gleichen Mitglieder in der OECD sind, und gerade diese Länder müssen doch das Öl kaufen!

H. Bossel: Wenn Sie sich die Ressourcen ansehen, stellen Sie fest, daß wenige Jahrzehnte nach dem Jahr 2000 die Ressourcen unter die Abbauwürdigkeit fallen werden.

H.D. Harig, RWE Essen: Sie hatten vorhin Herrn Burchard geantwortet, daß es sich nicht lohnt, sehr weit aufzufächern, weil Sie hinterher doch wieder zusammenfassen müssen, um Schlußfolgerungen zu ziehen. Ich habe den Eindruck, daß bei Ihrer Studie die Gefahr besteht, daß man eben genau eine falsche Schlußfolgerung zieht, weil man nicht detailliert genug vorgegangen ist. Sie haben z.B. in der Studie die Kosten für das Jahr 1973 angenommen, und auch diese bis zum Jahr 2020 beibehalten. Daraus kann doch ein erheblicher Fehler erwachsen. Sie kommen dann zu dem Schluß, daß die spezifischen Energiekosten in Ihrem Alternativszenario geringer sind als im Standardszenario, wobei Sie gleichzeitig viel weniger Kernenergie haben. Gerade bei Kernkraftwerken und Kohlekraftwerken sind die Kostenstrukturen so unterschiedlich, daß sich z.B. Primärenergiekostensteigerungen ganz anders bei Kohlekraftwerken als bei anderen auf die Elektrizitätserzeugungskosten auswirken werden. Sie machen also unter Umständen einen gewaltigen Fehler, so daß in ein paar Jahren die Annahmen überhaupt nicht mehr stimmen, wenn Sie Kostensteigerungen, die Sie nicht leugnen können, vernachlässigen.

H. Bossel: Da wird, wie so oft, ein Fehler in der Interpretation unseres Szenarios gemacht. Es ist uns natürlich auch klar, daß die Kosten z.B. der Kernenergie auf der Primärenergie-seite weitaus günstiger liegen als die für Kohle. Wenn Sie aber die Sekundärenergie-seite nehmen und dann vergleichen, ob Sie da nun Elektrizität oder Gas verkaufen, liegen Sie

eben nicht günstiger, sondern es kommt das Ergebnis heraus, was ich Ihnen eben zeigte. Wenn Sie genauere Preisszenarien eingeben wollen, so besteht dazu die Möglichkeit. Aber das erscheint mir unsicherer als unsere Vorgehensweise.

H.D. Harig, RWE Essen: Ich halte es nicht für zulässig, in den vorgetragenen Ergebnissen mehr als ein Rechenbeispiel zu sehen. Allein die Annahme konstanter Preise für den gesamten Prognosezeitraum muß zu falschen Schlüssen führen. So sind z.B. die Stromerzeugungskostenstrukturen für Kernkraftwerke und Kohlekraftwerke so unterschiedlich, daß schon nach wenigen Prognosejahren ohne Berücksichtigung realistischer Preissteigerungsraten der kostenmäßige Vergleich beider Alternativen nicht mehr stimmt.

DYNAMISCHE ENERGIEMODELLE
ALS PLANUNGS- UND ENTSCHEIDUNGSHILFE
DARGESTELLT AN EINEM ENERGIEMODELL FÜR DIE BRD*)

A. Voss
St. Rath-Nagel
K. Schmitz
G. Kolb
D. Elsinghorst
G. Egberts

Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung
der Kernforschungsanlage Jülich G.m.b.H.

Die Entwicklung und Anwendung mathematischer Modelle zur Analyse komplexer Probleme ist der breiten Öffentlichkeit im wesentlichen durch die vom Club of Rome initiierten Arbeiten zu den weltweiten Wachstumsproblemen bekannt geworden. Dennoch herrscht gerade hier und auch bei den Gruppen, die im Rahmen ihrer Entscheidungsfindung Modelle und insbesondere Energiemodelle anwenden oder einsetzen sollen, wenig Klarheit über deren Aussagemöglichkeiten und verbunden damit über deren Gestalt und Struktur.

Damit das nachfolgend vorgestellte Energiemodell, die mit ihm gewonnenen Ergebnisse und die Anwendungsmöglichkeiten richtig verstanden werden, sollen daher zu Anfang dieser Ausführungen die Motivation für die Entwicklung von Energiemodellen, die Einschätzung der zu erzielenden Ergebnisse und insbesondere die Zielsetzungen erläutert werden.

Die Probleme der Energieversorgung, mit denen die Welt heute konfrontiert ist, lassen sich durch Schlüsselbegriffe wie

- Wachstum des Energieverbrauchs,
- zunehmende Abhängigkeit der Wirtschaft und folglich des materiellen Lebensstandards des einzelnen von einer gesicherten Energiedarbietung
- Erschöpfung der fossilen Energiereserven
- zunehmende Importabhängigkeit und in Zusammenhang damit Fragen der Versorgungssicherheit

*) Diese Arbeit wird finanziell von der Stiftung Volkswagenwerk unterstützt.

- lange Zeitkonstanten der Entwicklung neuer Energiesysteme
- Umweltbelastung durch Energieerzeugung und -nutzung

kennzeichnen.

Diese Aufzählung allein macht schon deutlich, daß die Energieversorgung nicht länger als ein isoliertes, technisch-ökonomisches Problem angesehen werden kann. Eine systemorientierte Betrachtungsweise scheint erforderlich, die ausgeht von der Energieversorgung als ein in eine technisch-ökonomisch-ökologisch-gesellschaftliche Umgebung eingebettetes System, dessen Entwicklung wesentlich von seinen Wechselwirkungen mit eben dieser Umgebung bestimmt wird. Für die Beurteilung und Planung der zukünftigen alternativen Energieversorgungssysteme ist also die Berücksichtigung der Einbettung des Energiesystems in seine Umgebung die generelle Forderung, die sich aus einer solchen systemorientierten Problembetrachtung ableitet.

Die Entwicklung mathematischer Modelle scheint ein besonders geeignetes Hilfsmittel für die Erarbeitung von derartigen Entscheidungshilfen zu sein, und zwar von Entscheidungshilfen, die im Prinzip der Vielzahl der zu berücksichtigenden Zusammenhänge und der inneren Verkettung der Probleme gerechter werden als andere z.B. intuitive oder isolierte disziplinäre Analysemethoden. Formal bringen mathematische Modelle zwei Vorteile mit sich:

- Erstens zwingt die Notwendigkeit der mathematischen Formulierung der Zusammenhänge und der Systemstruktur zu einer intensiven Beschäftigung mit den Problemen, was in der Regel ein besseres Problemsverständnis zur Folge hat,
- und zweitens bieten mathematische Modelle bessere Voraussetzungen, die zugrundeliegenden Hypothesen und die verwendeten Zusammenhänge zu diskutieren und die Auswirkungen veränderter Parameter aufzeigen zu können.

Ein Modell ist dabei notwendigerweise immer ein vereinfachtes Abbild des realen Systems, denn eine exakte Abbildung des Systems in einem Modell würde bedeuten, daß ein Modell den gleichen Komplexitätsgrad hätte wie das reale System; es wäre damit ebenso wenig operationalisierbar wie das System selbst. Hieraus leitet sich die Forderung ab, daß ein Modell nur die relevanten Elemente und ihre wechselseitigen Beziehungen enthalten muß. Welches sind aber nun die relevanten Elemente und Beziehungen? Diese Frage ist nur im Zusammenhang mit der Zielsetzung des Modells, d.h. den Frage- und Problemstellungen, die mit dem Modell analysiert werden sollen, beantwortbar. Die Definition der Ziele einer Modellentwicklung ist deshalb der erste notwendige Schritt, der vor allen anderen Arbeiten zu erfolgen hat, denn die Zielsetzungen sind für die Modellelemente und -struktur sowie für den Aggregationsgrad der Modellgrößen bestimmend. Ebenso muß sich die Auswahl des methodischen Ansatzes wie zum Beispiel der linearen oder dynamischen Optimierung, der Input-Output-Rechnung oder der Simulation nach den Zielen der Modelluntersuchung richten. Es gibt deshalb schlechthin keine "beste" Methode. Ein anderer Punkt, der für die Modellentwicklung wich-

tig erscheint, ist die Integration der Modellentwicklungsarbeiten in andere Arbeiten und Untersuchungen. Erst eine enge Wechselwirkung von Einzelstudien, die Daten und Resultate für das Modell bereitstellen, mit der Modellentwicklung selbst kann zu gesicherten und qualitativ guten Ergebnissen führen.

Bevor nun die Modelle, die im Rahmen der Arbeiten der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung der Kernforschungsanlage Jülich entwickelt worden sind, näher vorgestellt werden, soll daher zunächst stichpunktartig auf die übergeordneten Zielsetzungen eingegangen werden.

Das übergeordnete Ziel der Modellentwicklungsarbeiten ist es, ein Instrumentarium für die Analyse der langfristigen Entwicklungsmöglichkeiten des Energiesystems der BRD zu schaffen. Dabei sollen insbesondere die Wechselwirkungen des Systems mit seiner Umgebung, d.h. mit der gesamten Wirtschaft, der Gesellschaft und der Umwelt berücksichtigt werden. Dieses allgemeine Ziel läßt sich in mehrere Teilziele aufgliedern, wie Bild 1 zeigt:

1. Untersuchung der Struktureigenschaften und des dynamischen Verhaltens im Bereich Energienachfrage und Energieangebot.
2. Erforschung und Aufzeigen von Grenzsituationen und kritischen Zuständen in der Energiebedarfsdeckung, wie z.B. Untersuchung der Auswirkungen einer Versorgungskrise.
3. Aufzeigen der Folgen und Bewertung alternativer Energieversorgungsstrategien.
4. Untersuchung von Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten in der Entwicklung der Energiewirtschaft wie z.B. Veränderung des wirtschaftlichen Wachstums oder Einführung von Energieeinsparmaßnahmen.

Diese Ziele sollen mit einem Modell erreicht werden, das in seiner Endphase die in Bild 2 angegebenen Modellsektoren enthalten soll.

Der Wirtschaftssektor beschreibt dynamisch die Entwicklung einzelner Wirtschaftsbereiche. Ausgangspunkt ist dabei die Endnachfrage und die über eine intersektorale Vorleistungsverflechtung ermittelte Zwischennachfrage in den einzelnen Wirtschaftsbereichen. Die Gesamtnachfrage bildet die Grundlage für die Vergrößerung des Produktionskapitals und schafft damit eine der notwendigen Bedingungen für die Erhöhung der Nettoproduktion, deren Summe über alle Wirtschaftsbereiche (korrigiert um den Saldo der Erwerbs- und Vermögenseinkommen zwischen Inländern und der übrigen Welt) das Bruttoinlandsprodukt bildet.

Im Bevölkerungssektor wird die Entwicklung der Bevölkerung und die als Arbeitskräfteangebot zur Verfügung stehende Zahl der Erwerbspersonen ermittelt.

Ausgehend von den in diesen beiden Sektoren ermittelten Grunddaten, wie z.B. der Nettoproduktion der einzelnen Wirtschafts-

zweige, des verfügbaren Einkommens pro Kopf der Bevölkerung, der Zahl der Wohnungen und der Verkehrsleistung pro Kopf bzw. pro Industrieproduktionseinheit werden im Energiebedarfssektor der sektorale Energiebedarf der Industrie sowie der Energiebedarf im Verkehr und in den Sektoren Haushalte und Kleinverbrauch quantifiziert.

Im Substitutionssektor erfolgt die Aufteilung des Energiebedarfs auf die einzelnen Endenergieträger und die Darstellung der Substitutionsvorgänge auf dem Energiemarkt.

Aufgabe des Finanzierungs- und Investitionssektors ist es, die Investitionsvorhaben und den Finanzierungsbedarf der Energiewirtschaft in den gesamtwirtschaftlichen Bedarf an Finanzmitteln einzubetten, um eventuell finanzielle Grenzen des Ausbaus der Energieversorgung aufzuzeigen.

Ziel des Energieversorgungssektors ist die Ermittlung optimaler Ausbaustrategien des Energieversorgungssystems unter Berücksichtigung der jahres- und tageszeitlichen Schwankungen des Energiebedarfs und der stochastischen bzw. periodisch wechselnden Verfügbarkeit einiger Primärenergieträger (z.B. Wasserkraft, Sonnenenergie).

Der Umweltsektor dient der Quantifizierung der Umweltsituation sowie der Beschreibung der Rückwirkungen der Umweltbelastungen auf den Energieverbrauch und die Energieverbrauchsstruktur.

Die Berücksichtigung weltweiter, für die Energiewirtschaft der BRD dominanter Entwicklungen - z.B. der Preis- und Versorgungssituation nicht heimischer Primärenergieträger oder globaler ökologischer Veränderungen - erfolgt mit Hilfe bereits entwickelter globaler Energie- und Umweltmodelle, die zur exogenen Festlegung der Import- und Exportströme verwendet werden. Die im Bild dargestellten von außen wirkenden Pfeile sollen dies andeuten.

Damit ist der Endzustand der Modellkonzeption umrissen. Bild 3 zeigt demgegenüber in der derzeitig vorliegenden und abgeschlossenen Fassung die Grundstruktur des Energiemodells der BRD, also die wesentlichen Strukturelemente und deren funktionale Verknüpfung.

Aus Gründen der Überschaubarkeit und der mathematischen Handhabung einzelner Blöcke ist das gesamte Modell in 8 Sektoren strukturiert, wobei diese Sektoreneinteilung in der derzeitigen Fassung nicht mit der Einteilung des vorangegangenen Bildes identisch ist.

Will man, wie in den Zielen erläutert, das dynamische Verhalten im Bereich der Energienachfrage darstellen, so ist zunächst nach den Determinanten des wirtschaftlichen Wachstums zu fragen. Für eine detaillierte Erklärung der wirtschaftlichen Entwicklung ist neben der Beschreibung der Wachstumsprozesse auch die Darstellung von Strukturänderungen zwischen den einzelnen Wirtschaftsgruppen erforderlich. Es wurde daher ein Ansatz gewählt, der von einer Disaggregation der Wirtschaft in sechs Bereiche

ausgeht. Es sind dies zunächst einmal vier industrielle Bereiche, nämlich die

- Industrie der Steine und Erden,
- Eisenschaffende Industrie,
- Chemische Industrie
- und die anderen Industriebereiche, die den Rest der Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie sowie alle anderen Industriegruppen umfassen.

Darüber hinaus existiert der Bereich der Energiewirtschaft, der zusätzlich in sechs Untergruppen unterteilt wurde, und schließlich ein Bereich, zu dem alle anderen Unternehmen gerechnet werden, die weder der Industrie noch der Energiewirtschaft angehören. Dies sind Landwirtschaft, Industriebetriebe mit weniger als 10 Beschäftigten, Baugewerbe, Handel, Verkehr, Nachrichten, Dienstleistungen, Wohnungsvermietung und staatliche Bereiche.

Der Energieverbrauch wird im sechsten Sektor für die eben erwähnten vier Industriegruppen, für den Verkehr (getrennt nach Güter- und Personenverkehr und Verkehrsträgern), für den Bereich der Haushalte (getrennt nach Sammelheizung, Einzelheizung und übrigen Verbrauch) und für die Gruppe Kleinverbraucher festgelegt. Dabei werden beim derzeitigen Ausbauzustand des Modells 6 verschiedene Primär- und 11 verschiedene Sekundärenergieträger betrachtet. Der Umweltsektor dient dazu, die Emissionen für acht Schadstoffe zu ermitteln. (Die Hintereinanderschachtelung der Symbole der einzelnen Modellparameter soll andeuten, daß die Struktur in den jeweiligen Gruppen für jede Gruppenvariable dieselbe ist.)

Im Bevölkerungs- und Beschäftigungssektor wird ausgehend von der Bevölkerungsentwicklung die Zahl der Beschäftigten in den produzierenden Bereichen durch einen Vergleich des Arbeitskräfteangebots, das aus der Bevölkerungszahl und vorgegebenen Erwerbsquoten ermittelt wird, mit der Arbeitskräftenachfrage der Unternehmen festgelegt. Die Arbeitskräftenachfrage ist dabei von den Produktionsbedingungen in den einzelnen Bereichen abhängig; sie läßt sich über die Kapitalintensität, d.h. die pro Kapitaleinheit eingesetzten Arbeitskräfte bei Kenntnis des zugehörigen Kapitalstocks ermitteln.

Im zweiten Sektor wird der Produktionsfaktor Kapital, gerechnet in realen Preisen (Preisbasis 1962), für die einzelnen Wirtschaftsbereiche bestimmt. Der Kapitalstock vermehrt sich dabei um die Bruttoinvestitionen und vermindert sich um die abnutzungsbedingten Abschreibungen, die im Bild aus Vereinfachungsgründen nicht aufgenommen wurden.

Beschäftigte und eingesetztes Produktionskapital sind Produktionsfaktoren, durch deren Einsatz das Produktionsergebnis, gemessen als Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt, bestimmt wird. Als dritte den Produktionsoutput bestimmende Größe wirkt der technische Fortschritt, der aus Gründen einer möglichst geschlossenen Erklärung nicht exogen vorgegeben, sondern über eine Korrelation mit den kumulierten Bruttoinvestitionen bestimmt wird. Der Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt bzw. die Nettoproduktion

der einzelnen Bereiche wird über eine Produktionsfunktion vom Cobb-Douglas-Typ ermittelt.

Aufgabe des vierten Sektors, des Nachfragesektors, ist die Ermittlung der End- und Zwischennachfrage nach Gütern und Dienstleistungen der einzelnen Wirtschaftsbereiche. Die Endnachfrage besteht aus vier Komponenten, der Nachfrage für

- privaten Verbrauch,
- öffentlichen Verbrauch,
- der Investitionsgüternachfrage,
- der Nachfrage der übrigen Welt (Exportnachfrage).

Die einzelnen Komponenten der Endnachfrage werden dabei im Falle des privaten und öffentlichen Verbrauchs indirekt aus dem Bruttoinlandsprodukt und für den Export über vorgegebene Exportquoten ermittelt. Die Investitionsgüternachfrage wird im fünften Sektor determiniert, der nachfolgend näher beschrieben wird. Die für die Befriedigung der Endnachfrage notwendigen Vorleistungen der einzelnen Wirtschaftsbereiche, also die Zwischennachfrage der Produktionsbereiche, wird mit einer auf die sechs Wirtschaftsbereiche aggregierten Input-Output-Matrix errechnet.

Ist die Nachfrage berechnet, so lassen sich die Investitionsentscheidungen der Unternehmen aufgrund einer auf der vergangenen Entwicklung aufbauenden Nachfrageeinschätzung festlegen, wenn man von anderen das Investitionsverhalten beeinflussenden Faktoren absieht. Die Investitionsaufträge werden also durch die für die Deckung einer bestimmten erwarteten Nachfrage erforderlichen Veränderung des Kapitalstocks ermittelt. Die so bestimmten Investitionsaufträge beeinflussen dabei in zweierlei Weise das gesamte Wachstumsverhalten. Einerseits stellen sie selbst einen Teil der Endnachfrage dar, und andererseits vermehren die fertiggestellten Investitionsgüter den Produktionsfaktor Kapital. Dabei schließt sich hier ein wichtiger Regelkreis, der von den Investitionen, über den Kapitalstock, den Beitrag zum BIP und die Nachfrage wieder zu den Investitionsaufträgen führt.

Im sechsten Sektor werden die in der Industrie, in den Haushalten, bei den Kleinverbrauchern und im Verkehr verbrauchten Energiemengen errechnet. Dabei wird für die vier industriellen Bereiche nach dem energetischen und nicht-energetischen Verbrauch unterschieden. Bei den Haushalten wird eine Trennung nach den Verwendungszwecken Raumheizung und übriger Energieverbrauch vorgenommen, und im Verkehr wird der Energieverbrauch den einzelnen Verkehrsträgern der Bereiche Personen- und Güterverkehr zugeordnet.

Als Bestimmungsgrößen für den industriellen Energieverbrauch werden die jeweiligen Produktionszahlen und die mit den kumulierten Investitionen korrelierten spezifischen Energieverbräuche verwendet. Der Energieverbrauch der Haushalte, der Kleinverbraucher und des Verkehrs wird durch aus der wirtschaftlichen Entwicklung abgeleitete Größen, d.h. durch das verfügbare Einkommen, den Wohnungsbestand und das Verkehrsaufkommen im Personen- und Güterverkehr erklärt. Der so errechnete Endenergieverbrauch wird

anschließend durch Strukturfaktoren auf die angebotenen Endenergeträger aufgeteilt.

Die wesentliche Aufgabe des Energieversorgungssektors besteht in der Bestimmung des für einen bestimmten Verbrauch an Endenergie notwendigen Primärenergieeinsatzes. Dabei wird ein Teil der Endenergie über die verschiedenen Umwandlungsverfahren aus der Primärenergie gewonnen, z.B. Strom aus Kohle, Erdgas, Heizöl, Wasserkraft oder Kernenergie, und der andere Teil der Endenergie wird von den nicht umgewandelten Primärenergieträgern gestellt. Dies ist z.B. der Fall bei der direkten Nutzung des Erdgases zur Raumheizung. Außerdem ist hierbei noch der Energieverbrauch der Energiewirtschaft, also die Energie, die in den verschiedenen Stufen der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung von Energie selbst verbraucht wird, zu berücksichtigen. Mit Hilfe von vorgegebenen Importanteilen und Produktionsgrenzen für die inländische Produktion läßt sich der gesamte Primärenergiebedarf in die Komponenten Energieimporte und Energiegewinnung im Inland aufteilen. Zusammen mit dem Umwandlungseinsatz und dem Aufwand für die Energieverteilung kann somit die Produktion in allen Teilbereichen der Energiewirtschaft (Gewinnung, Umwandlung und Verteilung) angegeben werden. Sie erfordert ebenso wie die Produktion in den anderen Wirtschaftsbereichen den Einsatz von Beschäftigten, von Kapital und die Bereitstellung von Vorleistungen zur Befriedigung der Zwischennachfrage der Energiewirtschaft. Andererseits trägt auch die Energiewirtschaft zur Einkommensschaffung und zum Bruttoinlandsprodukt bei, und ihre Investitionsaufträge sind Teil der Endnachfrage. Hier erfolgt also wieder die Kopplung der Energiewirtschaft, die aus Gründen einer detaillierten energetischen Betrachtung gesondert behandelt wird, an die anderen Wirtschaftsbereiche und an die im Modell dargestellten wirtschaftlichen Entwicklungsmechanismen.

Mit Hilfe der industriellen Produktion und des Energieverbrauchs nach Energieträgern und Verbrauchssektoren werden im Umweltsektor über spezifische Emissionsfaktoren die Freisetzungsmengen der wichtigsten Schadstoffe bestimmt. Gegenüber Ansätzen, die die Umweltschutzmaßnahmen als Funktion der Zeit vorgeben, ist in diesem Modell versucht worden, die Emissionsreduzierungsmaßnahmen, d.h. die Entwicklung der spezifischen Emissionsfaktoren, unter Einbeziehung gesellschaftlicher und interessenpolitischer Verhaltensmechanismen zu simulieren. Prinzipiell wird dabei wie folgt vorgegangen. Die verschiedenen Schadstoffemissionen sind die bestimmenden Größen der Umweltsituation bzw. der Umweltbelastung. Das Bewußtwerden einer nicht tragbaren oder nicht gewünschten Umweltsituation würde, unter der Hypothese der Existenz eines Umweltschadens- und -bewußtseins-Regelkreises, nach einiger Zeit zur Verordnung von Emissionsreduzierungsmaßnahmen, oder was vergleichbar damit ist, zur Aufstellung von Umweltstandards führen, die wiederum die spezifischen Emissionsfaktoren herabsetzen.

Diese Ausführungen sollen zur Erklärung der Grundstruktur dienen; die einzelnen Sektoren des Modells sind strukturell weiter aufgegliedert und enthalten eine Vielzahl von Funktionszusammenhängen, die hier nicht im einzelnen erläutert werden können. Faßt man die vorstehenden Ausführungen zusammen, so läßt sich der erarbeitete Modellansatz wie folgt kennzeichnen:

1. Es handelt sich um ein quasi-geschlossenes dynamisches Simulationsmodell aus einem System gekoppelter Differentialgleichungen.
2. Die wirtschaftliche Entwicklung wird für sechs Wirtschaftsbereiche durch eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit einer endogenen Erklärung für die Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Technischer Fortschritt beschrieben. Die Investitionen werden aus der Nachfrageentwicklung der Vergangenheit abgeleitet, wobei die Nachfrage auch die über eine intrasektorale Vorleistungsverflechtung ermittelte Zwischennachfrage enthält.
3. Der Energieverbrauch wird für die einzelnen Verbrauchsgruppen durch aus der wirtschaftlichen Entwicklung abgeleitete Faktoren, d.h. Produktionsziffer, Einkommen, Wohnungsbestand, Verkehrsaufkommen errechnet.
4. Die Energieversorgung wird mit Hilfe eines detaillierten Energieflußmodells dargestellt.
5. Der Umweltsektor beschreibt dynamisch die Implementierung von Umweltschutzmaßnahmen.
6. Die Simulation alternativer Strategien oder Szenarien und das Aufzeigen ihrer Auswirkungen erfolgt durch Parametervariation.

Bevor nun exemplarisch einige Ergebnisse von den mit diesem Modell durchgeführten Rechnungen vorgestellt werden, sind noch zwei Anmerkungen erforderlich. Die erste bezieht sich auf die Modellergebnisse, die zweite auf die Modellverifikation.

Es ist nicht das primäre Ziel der Modellentwicklung, Prognosen zu liefern, sondern es sollen vielmehr die Folgen alternativer Entscheidungen aufgezeigt und Strategien entwickelt werden, mit denen sich energiepolitische Ziele erreichen lassen. Zur Überprüfung der Modellstruktur und des Modellverhaltens sind zahlreiche Tests durchgeführt worden. Dies waren vor allem neben der Analyse des generellen Systemverhaltens über die Ermittlung der Stoßantwort des Systems auf eine zuvor festgelegte Veränderung wichtiger Parameter, Tests zur Teilverifizierung des Modells an der vergangenen Entwicklung.

In Bild 4 sind für zwei Modellgrößen, den Primärenergieverbrauch und die Primärenergiegewinnung im Inland, der reale und der mit dem Modell errechnete Verlauf für den Zeitraum von 1950 bis 1972 dargestellt. Eine ähnlich gute Übereinstimmung zwischen realen und errechneten Werten ergab sich auch bei den anderen wichtigen Modellgrößen, wie z.B. dem Bruttoinlandsprodukt, dem Kapitalstock, den Beschäftigten, den Investitionen usw.

Im folgenden sollen nun einige Ergebnisse, die mit dem vorgestellten Modell erzielt wurden, vorgestellt werden. In Bild 5 ist für den sogenannten Referenz- oder Standardfall die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes und die Veränderung des Wirtschaftswachstums bis zum Jahre 2000 dargestellt.

Die Ergebnisse dieses Referenzfalles sind in keiner Weise gegenüber den Resultaten anderer Strategieläufe ausgezeichnet. Sie dienen lediglich als Vergleichsbasis bei der Diskussion der Auswirkungen anderer Strategien. Der in diesem Standardfall dargestellten Entwicklung liegen die folgenden Voraussetzungen zugrunde:

Es wird eine möglichst gleichmäßige und stabile Entwicklung innerhalb der gesamten Volkswirtschaft angestrebt. Dazu wird eine kontinuierliche, ungestörte Energieversorgung vorausgesetzt. Unterstellt wird weiter, daß es aufgrund der Produktivitätsbedingungen, trotz einer am Rückgang der Erwerbsquoten und der Bevölkerungszahlen sichtbaren Verringerung des Arbeitskräfteangebotes, durch vermehrten technischen Fortschritt gelingen wird, bis zum Jahre 2000 im Durchschnitt ein stetiges, allerdings abnehmendes Wirtschaftswachstum beizubehalten. Das Bruttoinlandsprodukt würde unter dieser Hypothese von etwa $700 \cdot 10^9$ DM 1974 auf ca. $1600 \cdot 10^9$ DM im Jahre 2000 (in Preisen von 62) ansteigen, jedoch mit einer im selben Zeitraum von durchschnittlich 4,5 % auf 2,5 % verringerten Wachstumsrate.

Bild 6 zeigt den dieser wirtschaftlichen Entwicklung entsprechenden Verbrauch an Primärenergie. Bei der hier zugrundegelegten kontinuierlichen, ungestörten Entwicklung der Energieversorgung wurde unterstellt, daß aus Gründen der längerfristigen Stabilisierung des Energiemarktes ein relativer Rückgang des Erdölanteils zugunsten anderer Energieträger angestrebt wird, wie es tendenzmäßig der Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung entspricht. Dabei steht die forcierte Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung im Vordergrund. Neue Energietechnologien wie z.B. die Kohlevergasung, die nukleare Fernenergie oder die Nutzung der Wind- und Sonnenenergie sind dabei noch nicht berücksichtigt worden. Der Primärenergieverbrauch steigt unter den für den Standardfall geltenden Prämissen auf fast $800 \cdot 10^6$ tsKE im Jahre 2000 an, er wächst also mit 3 % jährlich. Im Jahre 2000 werden dabei 38 % des gesamten Primärenergiebedarfs durch Kernenergie gedeckt, während der Verbrauch von Stein- bzw. Braunkohle nahezu auf dem heutigen Niveau von $100 \cdot 10^6$ bzw. $30 \cdot 10^6$ tsKE stagniert und der Anteil des Erdöls von 55 % auf 30 % zurückgeht. Der Anteil der importierten Fertigprodukte bei Mineralöl dürfte, wenn die derzeit geltenden Importstrukturen für Mineralöl beibehalten werden, auf rund $40 \cdot 10^6$ tsKE im Jahre 2000 ansteigen. Der Erdgasanteil hingegen würde sich nach dem Durchlaufen eines Maximums 1985/1990 bis zum Jahre 2000 allmählich wieder verringern, auf rund $80 \cdot 10^6$ tsKE, da unterstellt wurde, daß eine nennenswerte Vergrößerung des Liefervolumens über das für die Mitte der 80er Jahre bekannte Maß hinaus aus Ressourcen-Erschöpfungsgründen nicht möglich sein dürfte. Der Einsatzteil der Wasserkraft und des Importstroms dürfte sich nicht wesentlich verändern.

Die aus einer derartigen Entwicklung des Primärenergieverbrauchs resultierenden Folgen für die Umwelt zeigt Bild 7 anhand der Zu- bzw. Abnahme der wichtigsten fossilen und radioaktiven Schadstoffemissionen. Aufgrund verstärkter Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastung und durch die weniger starke Zunahme des

Verbrauchs an fossilen Energieträgern, der in den neunziger Jahren sogar absolut rückläufig ist, durchlaufen die mit der Verbrennung fossiler Energieträger verbundenen Schadstoffemissionen in den achtziger Jahren ihren Maximalwert. Die radioaktiven Emissionen nehmen dagegen aufgrund des stark steigenden Einsatzes der Kernenergie bis zum Jahre 2000 stetig zu. Dabei wurde hier mit den den heutigen Erfordernissen der Rückhaltetechnik entsprechenden Emissionsfaktoren für den Reaktor und die Wiederaufarbeitungsanlage gerechnet, d.h. es wurden keine zusätzlichen Rückhaltemaßnahmen eingeführt.

Der mit der im vorangegangenen Bild gezeigten Entwicklung verbundene Strukturwandel in der Energieversorgung führt zu einer Veränderung in der Abhängigkeit von Energieimporten, wie sie in Bild 8 dargestellt ist. Die Importabhängigkeit nimmt bis zum Jahre 2000 stetig zu und erreicht etwa einen Anteil von 80 %. Allerdings ist das mit dieser Abhängigkeit verbundene Versorgungsrisiko wegen der unterschiedlichen Versorgungsstruktur im Jahre 2000 ganz anders zu bewerten als im Jahre 1975.

Die Importabhängigkeit von Erdgas und Mineralöl - Energieträgern, die überwiegend aus politisch instabilen Regionen bezogen werden - nimmt bei dem in dieser Rechnung angenommenen Strukturwandel allmählich ab, während die Einfuhrabhängigkeit von Kernenergie im gleichen Zeitraum stark zunimmt. Kernbrennstoffe sind jedoch aufgrund ihres hohen Energieinhaltes und der daraus resultierenden günstigeren Reservehaltung und wegen der globaleren Verteilung der Uran- und Thoriumvorräte über politisch relativ stabile Gebiete vom Standpunkt der Versorgungssicherheit den fossilen Energieträgern weitaus vorzuziehen.

Der positive Effekt dieses Strukturwandels in der Energieversorgung wird auch deutlich, wenn man die für die großen Energieeinfuhren erforderlichen Einfuhrwerte, denen ein entsprechend grosser Devisenabfluß gegenübersteht, betrachtet. In Bild 9 ist die Entwicklung der Einfuhrwerte für Erdöl, Mineralölprodukte, Erdgas und Kernenergie für eine bestimmte Preishypothese bis zum Jahre 2000 dargestellt. Natürlich kann über die zukünftige Preisentwicklung keine eindeutige und sicher begründbare Aussage gemacht werden, daher wurde hier nur ein Modellfall von mehreren möglichen betrachtet; bei den für den Standardfall geltenden Annahmen würde sich der Devisenaufwand, selbst wenn man optimistischerweise unterstellt, daß die Preise für Erdöl, Mineralölprodukte und Erdgas auf dem Weltmarkt nicht weiter steigen würden, also auf der Preisbasis des Jahres 1974 konstant bleiben würden, bis zum Jahre 2000 auf durchschnittlich $40 \cdot 10^9$ DM jährlich belaufen. Für die Kernenergie hingegen würden die Ausgaben unter denselben Prämissen lediglich auf etwa $1 \cdot 10^9$ DM im Jahre 2000 ansteigen. Allein unter dem Aspekt der Devisenersparnis wäre daher sicher eine noch weiter beschleunigte Einführung der Kernenergie zu begrüßen.

Die Ergebnisse des Standardlaufs zeigen, welche Art von Ergebnissen mit dem Modell zu erzielen sind und welche Fragestellungen zu beantworten sind.

Man kann die Fragenkomplexe in drei Gruppen einteilen:

1. in Fragen zur wirtschaftlichen Entwicklung und der sich daraus ergebenden Konsequenzen für den Energieverbrauch.
2. in Fragen zur Deckung des Energiebedarfs durch alternative Energieumwandlungs- und -nutzungstechnologien.
3. in Fragen zur Schadstoffbelastung durch den Energieverbrauch.

Aus diesen drei Fragekomplexen sind bereits eine Reihe von Fragestellungen wie z.B. die Auswirkungen eines veränderten wirtschaftlichen Wachstums, die Einführung von Energieeinsparmaßnahmen, die Einführung neuer Energietechnologien und die Auswirkungen eines verzögerten Kernenergieeinsatzes untersucht worden, deren Ergebnisse hier nicht näher erläutert werden können (siehe dazu /1/). Neben diesen mehr längerfristigen Fragestellungen sollen nun einige Modellrechnungen erläutert werden, die sich mit der Ermittlung der Folgen von plötzlich auftretenden Versorgungsstörungen befassen. Es handelt sich dabei um die Beantwortung von Fragestellungen der folgenden Art:

- Welche volkswirtschaftlichen Auswirkungen hat eine Störung der Energieversorgung?
- Welche Maßnahmen können im Falle einer Versorgungskrise den wirtschaftlichen Schaden möglichst gering halten?

Bild 10 zeigt beispielhaft die Auswirkungen einer im Jahre 1980 plötzlich auftretenden Lieferkürzung von Mineralöl.

Im einzelnen wurde folgender Ablauf dieses hypothetischen Krisenfalls unterstellt:

Die Einfuhrmengen von Erdöl- und Mineralölprodukten werden zu Beginn des Jahres 1980 um ein Drittel verringert. Da keine Ersatzlieferungen aus anderen Ländern erfolgen, ist das Mineralölangebot auf dem Inlandsmarkt um ein Drittel kleiner als die Nachfrage. Während einer kurzen Übergangszeit, die durch das Aufbrauchen der Lager bei Verbrauchern, Händlern und Raffinerien gekennzeichnet ist (etwa 100 Tage), werden administrative Verbrauchsbeschränkungen erlassen. Der Mineralölabsatz an private Haushalte, Kleinverbraucher und Industrie wird um rund 40 % reduziert. Die Verkehrsleistung im Individualverkehr wird um 30 %, im öffentlichen Personenverkehr um 10 % verringert. Im Güterverkehrsbereich und in der Energiewirtschaft werden keinerlei Beschränkungen eingeführt.

Diese administrativen Maßnahmen bedeuten für die privaten Haushalte einen Konsumverzicht, im Produktionssektor kann der Verbrauch aber nur dadurch reduziert werden, daß die Auslastung des Produktionspotentials zurückgenommen wird, d.h. daß die Produktion selbst verringert wird.

In allen Verbrauchssektoren laufen gleichzeitig Prozesse für die Substitution des Öls an. Es wird dabei angenommen, daß sich

die durchschnittliche Substitutionszeit infolge der Krisensituation extrem verringert. Die Auswirkungen der Krise verursachen wegen der erforderlichen Einschränkungen einen Produktionsrückgang und führen zu einer starken Rezession des Bruttoinlandsproduktes. Selbst sofort einsetzende Substitutionsmaßnahmen können das wirtschaftliche Wachstum erst ein Jahr später stabilisieren. Das Bruttoinlandsprodukt ist innerhalb eines Jahres von ca. $850 \cdot 10^9$ DM auf $700 \cdot 10^9$ DM zurückgefallen (auch hier wieder in Preisen von 1962 gerechnet); es werden weitere viereinhalb Jahre benötigt, um die vor der Störung jährlich erbrachte volkswirtschaftliche Leistung wieder zu erreichen.

Der am Bruttoinlandsprodukt gemessene volkswirtschaftliche Verlust würde sich für den Zeitraum von 5 1/2 Jahren auf etwa 825 Mrd. DM belaufen (ermittelt in Preisen von 1962).

Ein anderer wichtiger Punkt im Rahmen der Analyse von Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft ist die Beschreibung der nachfrageseitig ausgelösten Substitutionsvorgänge zwischen den verschiedenen Endenergieträgern. Die Probleme, die bei der Quantifizierung von Substitutionsprozessen auftreten, liegen darin begründet, daß

- meist mehr als zwei Energieträger in Konkurrenz stehen,
- daß gerade bei der Auswahl von Energieträgern neben den Kosten auch andere Faktoren wie z.B. die Bequemlichkeit und Sauberkeit in der Nutzung der Energieträger eine Rolle spielen,
- und daß Substitutionsvorgänge ausnahmslos dynamischer Natur sind.

Die bisher in der Ökonometrie verwendeten Ansätze, die der Beschreibung von Substitutionsprozessen dienen, wie die Kreuzpreiselastizität, die Substitutionselastizität oder die exogen vorgegebenen quasi eigengesetzlichen zeitlichen Verläufe der Substitution scheinen für die Darstellung der Substitutionsvorgänge wenig geeignet zu sein. Wir haben deshalb einen Ansatz entwickelt, der versucht, die Substitutionsmechanismen, d.h. die Determinanten und Antriebskräfte der Substitution und ihre Dynamik zu beschreiben. Dieser Ansatz verwendet ein System gekoppelter Differentialgleichungen zur Beschreibung der Substitutionsdynamik und einen Nutzwertansatz zur Erfassung des Einflusses der verschiedenen Bestimmungsgrößen der Substitution.

Die Grundgleichung dieses Ansatzes lautet:

$$a \frac{d^3 m_i}{dt^3} + b \frac{d^2 m_i}{dt^2} + \frac{dm_i}{dt} + m_i = \overline{GN}_i(t)$$

$$\text{mit } \overline{GN}_i(t) = \frac{GN_i(t)}{\sum_i GN_i(t)} ; GN_i(t) = \sum_{j=1}^m g_j(t) N_{i,j}(t)$$

$$a = \tau^3/27;$$

$$b = \tau^2/3$$

- m_i = Anteil des Energieträgers i am Gesamtverbrauch
 τ = durchschnittliche Substitutionszeit
 $GN_i(t)$ = zeitabhängiger Gesamtnutzen des Energieträgers i
 $g_j(t)$ = Gewichtungsfaktor des Indikators j
 $N_{i,j}(t)$ = Nutzwert des j -ten Indikators des Energieträgers i

In diesem Ansatz wird davon ausgegangen, daß sich bei einer Änderung der die Anteile m_i der verschiedenen Energieträger am Gesamtverbrauch bestimmenden Faktoren GN_i die Anteile m_i erst nach einer gewissen Verzögerungszeit, die durch die technischen und ökonomischen Zeitkonstanten einer Umstellung bedingt ist, dem idealen, d.h. stationären Zustand angleichen. Der Gesamtnutzen GN_i eines Energieträgers setzt sich dabei aus gewichteten Teilnutzen für seine Kosten, die Bequemlichkeit seiner Anwendung und seine sonstigen Nutzungseigenschaften zusammen.

Die Anwendbarkeit dieses Ansatzes zur Beschreibung von Substitutionsvorgängen ist an verschiedenen Beispielen der Vergangenheit überprüft worden. Bild 11 zeigt die Ergebnisse einer solchen ex-post-Analyse zur Beschreibung der Substitution für den Raumheizwärmebedarf der privaten Haushalte. Bei diesem Modellbeispiel wurden vier konkurrierende Energieträger (Strom, Gas, Heizöl und feste Brennstoffe) für die Raumheizung betrachtet, wobei jeweils nach Sammel- und Einzelheizungsart unterschieden wurde. Beispielhaft zeigt Bild 11 für den Einsatz der festen Brennstoffe in sammelbeheizten Wohnungen den realen und den modellmäßig errechneten Verlauf, wobei in diesem Fall eine Substitutionszeit von sieben Jahren zugrunde gelegt wurde. Zur Überprüfung des gewählten Ansatzes sind in das Bild die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse aufgenommen. Dabei ist einmal der einer subjektiven Bewertung entstammende Gewichtungsfaktor des Indikators Bequemlichkeit um 100 % vergrößert worden, ein anderes Mal ist die durchschnittliche Substitutionszeit um 20 % erhöht. Diese Resultate und die Ergebnisse anderer Testrechnungen haben gezeigt, daß mit dem gewählten Ansatz die Dynamik von Substitutionsprozessen relativ zufriedenstellend beschrieben werden kann.

Andere Arbeiten befassen sich mit der Weiterentwicklung des Energieversorgungssektors. Es wurde damit begonnen, den Energieversorgungssektor in ein Modell zur Ermittlung der optimalen Energieversorgungsstruktur bei einem vorgegebenen Endenergiebedarf zu erweitern. Die optimale Struktur der Energieversorgung wird dabei unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen des Bedarfs und des Angebots einiger Primärenergieträger ermittelt. Dies scheint besonders wichtig, um zu einer realistischen Beurteilung der Besonderheiten in der Energiewirtschaft z.B. der Möglichkeiten der Wärme-Kraftkopplung oder der Sonnenenergienutzung zu kommen. Denn genau wie bei der Elektrizitätserzeugung ist für die meisten Energieträger die optimale Erzeugungsstruktur auch eine Funktion der Bedarfsschwankungen.

Die Zielfunktion des Optimierungsmodells lautet:

$$\sum_i \sum_{k_i} \sum_{j_i} A_{i,k_i,j_i} \cdot C_{i,k_i,j_i} \longrightarrow \text{Min.}$$

mit A = spez. Jahreskosten
 i = Endenergieträger
 j_i = Auslastungsbereich
 C = Kapazität
 k_i = Technologie

Die spez. Jahreskosten A_{i,k_i,j_i} der Bereitstellung des Endenergieträgers i mit der Technologie k_i und einer Auslastung j_i multipliziert mit der entsprechenden installierten Kapazität der Technologie zur Bereitstellung des Endenergieträgers i, aufsummiert über alle Auslastungsbereiche, Energietechnologien und alle Endenergieträger i sollen minimiert werden, oder anders ausgedrückt: Die Kosten für die Bereitstellung aller Endenergieträger sind zu minimieren. Dabei sind eine Reihe von Nebenbedingungen zu beachten, wie z.B.

- Deckung des Bedarfs,
- Kapazitätsbeschränkung oder -vorgabe einer Technologie k_i,
- Koppelproduktionsnebenbedingungen
- Beschränkung oder Vorgabe des Verbrauchs eines Primärenergieträgers,
- und eine Zahl von Umweltrestriktionen.

Mit diesem Ansatz haben wir bereits die Vorteile der Wärme-Kraft-Kopplung bei der Deckung des Elektrizitäts- und Fernwärmebedarfs für eine Modellregion untersucht. Anhand dieses Beispiels soll kurz der Anwendungs- und Aussagebereich der Optimierungsrechnung für den Energieversorgungssektor erläutert werden.

Ausgangspunkt war die Frage nach der optimalen Deckung des Elektrizitäts- und Fernwärmebedarfs einer Modellregion mit einem Strombedarf von 10⁹ MWe h/a und einem Fernwärmebedarf von 3·10⁸ MWh/a. Zur Konkurrenz waren insgesamt 8 Kraft-, bzw. Heiz-Kraft-, bzw. Heizwerke zugelassen, sowohl nukleare als auch fossile Anlagen. Die Ergebnisse der Rechnungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Gegenübergestellt sind hier jeweils die Gesamtkosten zur Erzeugung der Elektrizität und der Fernwärme und der Gesamtwirkungsgrad als ein Maß für die zur Deckung dieses Bedarfs notwendigen Primärenergie.

Im ersten Fall kommt keine Wärme-Kraft-Kopplung zur Anwendung, außerdem geht diese Strategie davon aus, daß keinerlei Kapazitätsbeschränkung (weder nach oben noch nach unten) für die einzelnen betrachteten Umwandlungssysteme bestehen. Es wird also praktisch die optimale Zusammensetzung eines Systems, das auf der grünen Wiese errichtet werden soll, ermittelt. Strategie 2

unterscheidet sich von Strategie 1 nur dadurch, daß hier die Möglichkeiten der Wärme-Kraft-Kopplung genutzt werden. Durch die Einführung der Wärme-Kraft-Kopplung können die Gesamtkosten um etwa 20 % gesenkt werden, gleichzeitig nimmt aber auch der Wirkungsgrad des Systems um 4,4 % Punkte zu. Diese Zahlen gelten natürlich nur für das hier unterstellte Verhältnis von Elektrizitäts- und Fernwärmeverbrauch von 3:1. Die Strategien 3 und 4 unterscheiden sich von den Strategien 1 und 2 dadurch, daß hier der Realität insofern mehr Rechnung getragen wird, indem für einzelne Umwandlungsverfahren Mindestkapazitäten oder für einzelne Primärenergieträger (z.B. Kohle) Mindestverbräuche vorgeschrieben werden. Aber auch diese Restriktionen, die in unserem Fall zu Lasten der Wärme-Kraftkopplung gehen, zeigen die deutlichen Vorteile der Wärme-Kraftkopplung. 10 % geringere Kosten führen gleichzeitig zu einem Anstieg des Wirkungsgrades um 3 % Punkte.

Mit diesen Ausführungen ist der derzeitige Stand der Modellentwicklung in unserer Arbeitsgruppe gekennzeichnet. Zum Abschluß dieser Präsentation scheint es jedoch angebracht, noch einmal auf die Anmerkungen, die eingangs gemacht wurden, zurückzukommen:

Ein Modell ist immer nur ein vereinfachter Ausschnitt der Wirklichkeit, der so gewählt wurde, daß die Simplifizierung im Rahmen der Zielsetzungen zulässig sind. Es gibt deshalb kein "Supermodell", das Antworten auf alle Fragen ermöglicht. Die Entwicklung von Energiemodellen steht heute erst am Anfang, aber uns scheint es sicher, daß die Aussagemöglichkeiten, die Aussagequalitäten und damit der Nutzen der Modellentwicklung mit zunehmender Erfahrung größer werden.

Literaturhinweise

- /1/ St. RATH-NAGEL:
Alternative Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in der BRD - Untersuchung mit Hilfe eines Simulationsmodells, Dissertation RWTH Aachen in Vorbereitung.
- /2/ A. VOSS:
Ansätze zur Gesamtanalyse des Systems Mensch - Energie - Umwelt. JÜL-982-RG, Juli 1973.
- /3/ F. NIEHAUS:
Langzeitaspekte der Umweltbelastung durch Energieerzeugung: CO₂ und H³. JÜL-1165-SE.

Allgemeines Ziel

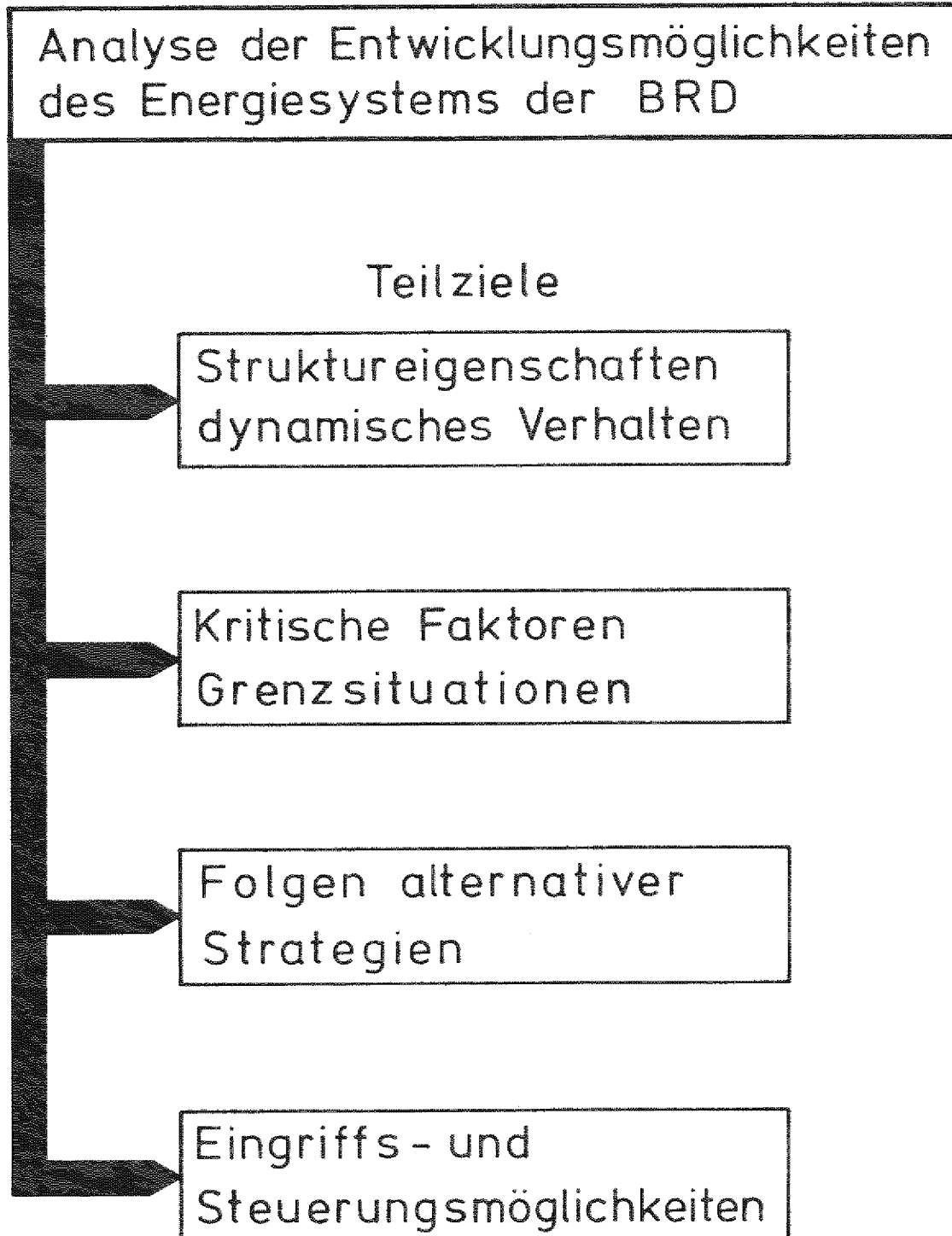


Bild 1: Zielsetzungen der Modellentwicklungen

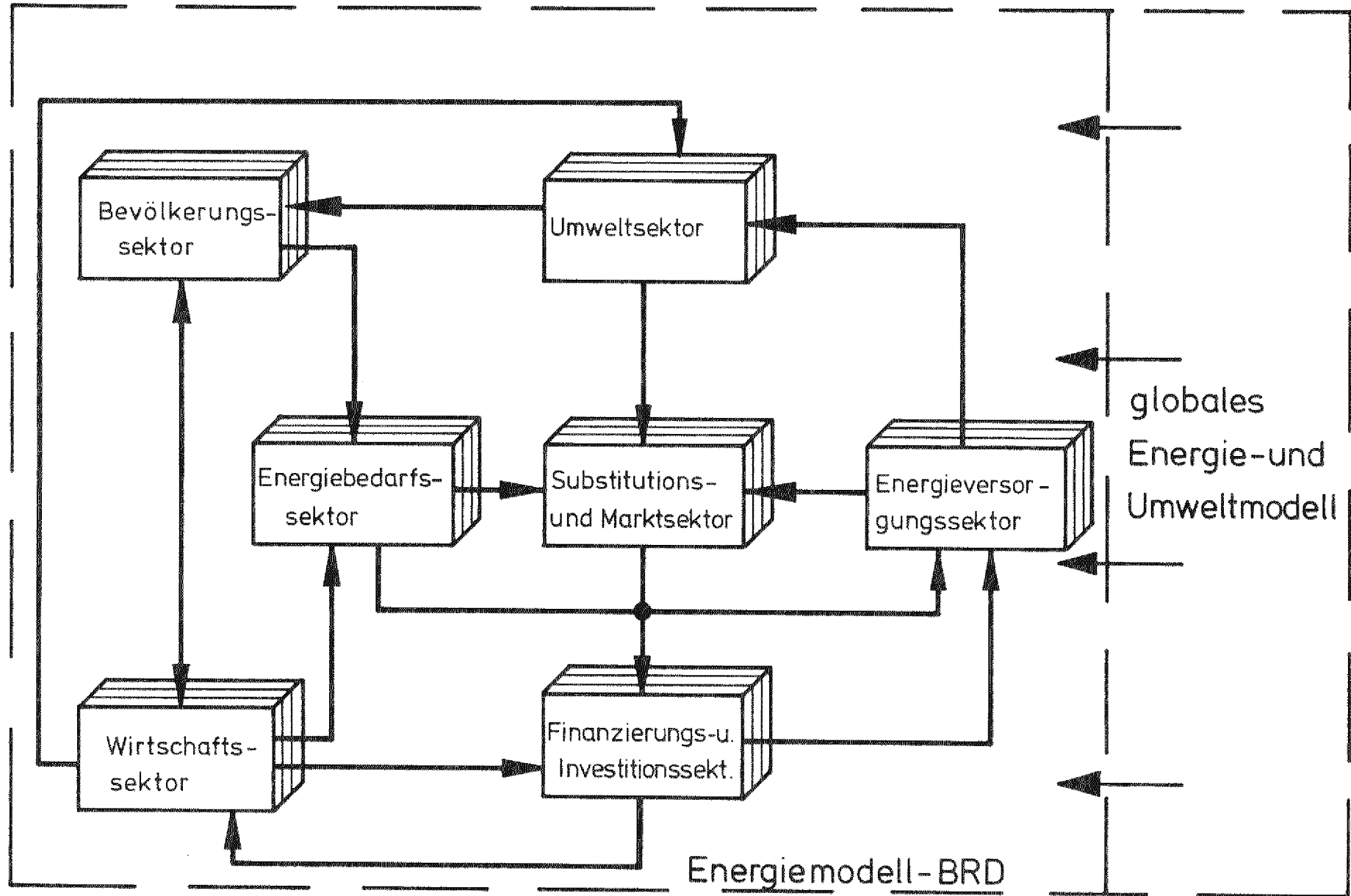


Bild 2: Aufbau des Energiemodells der BRD

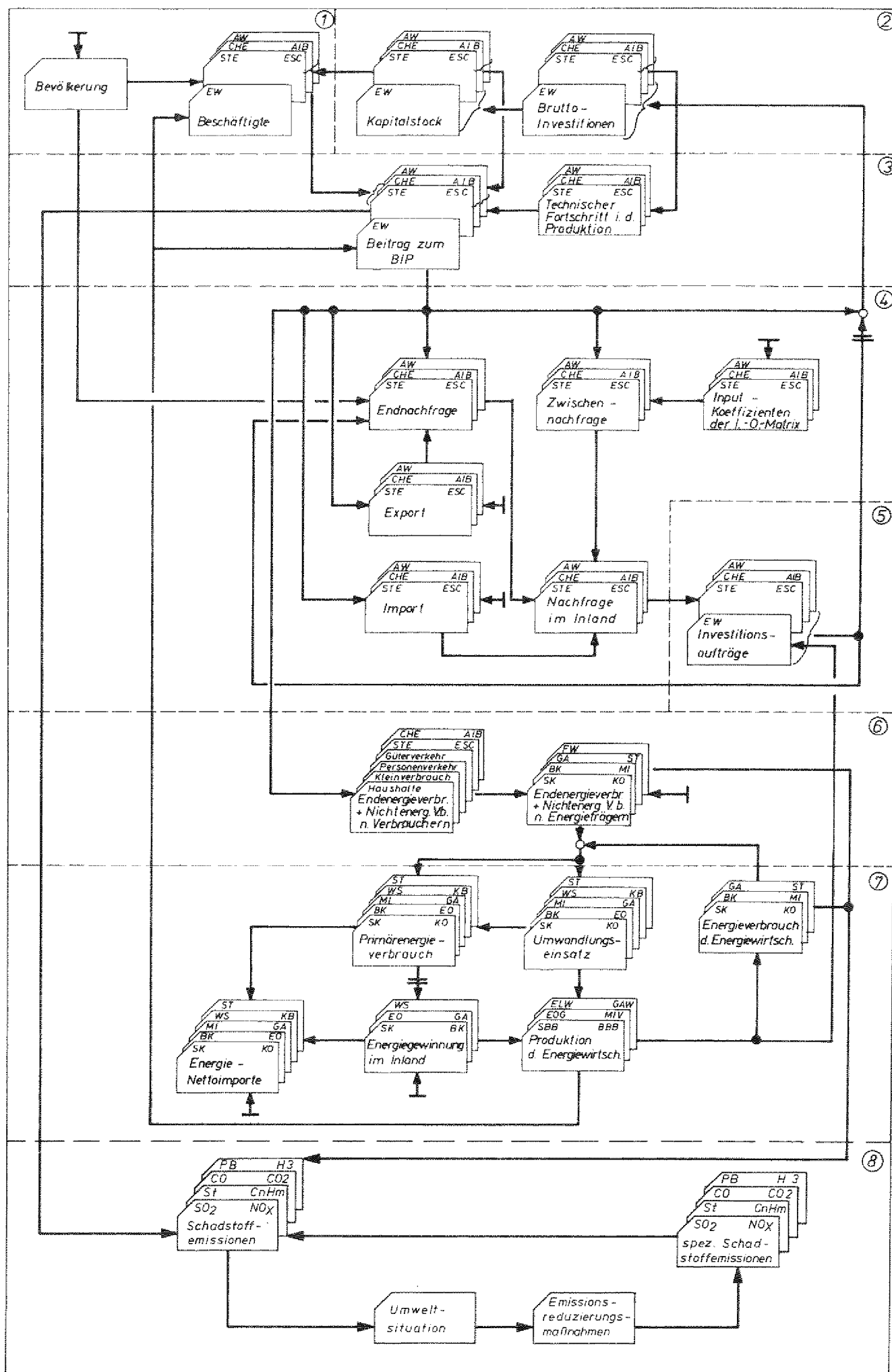


Bild 3: Grundstruktur des Energiemodells der BRD

Erläuterungen zur Modellstruktur (Bild 3):

Modellsektoren:	1. Bevölkerungs- und Beschäftigungs- sektor	
	2. Kapitalektor	
	3. Produktionssektor	Wirtschaftssektor
	4. Nachfragesektor	
	5. Investitionssektor	
	6. Energieverbrauchs- sektor	
	7. Energieversorgungs- sektor	
	8. Umweltsektor	
Wirtschaftsgruppen	EW	Energiewirtschaft
	SBB	Steinkohlenbergbau
	BBB	Braunkohlenbergbau
	EOG	Erdöl- und Erdgasgewinnung
	MIV	Mineralölverarbeitung
	ELW	Elektrizitätswirtschaft
	GAW	Gaswirtschaft
	STE	Industrie der Steine und Erden
	ESC	Eisenschaffende Industrie
	CHE	Chemische Industrie
	AIB	Andere industrielle Bereiche
	AW	Andere Wirtschaftsbereiche
Energieträger:	FB	Feste Brennstoffe
	SK	Steinkohle
	KO	Koks
	BK	Braunkohle
	EO	Erdöl
	MI	Mineralölprodukte
	HO	Heizöl
	FK	Flugkraftstoffe
	VK	Vergaserkraftstoffe
	DK	Dieselmotorkraftstoffe
	GA	Gas
	WS	Wasserkraft
	KB	Kernbrennstoffe
	ST	Strom
	FW	Fernwärme
Schadstoffe:	SO ₂	Schwefeldioxyd
	NO _x	Stickoxyde
	ST	Stäube
	C _n H _m	Kohlenwasserstoffe
	CO	Kohlenmonoxyd
	CO ₂	Kohlendioxyd
	PB	Blei
	H-3	Tritium

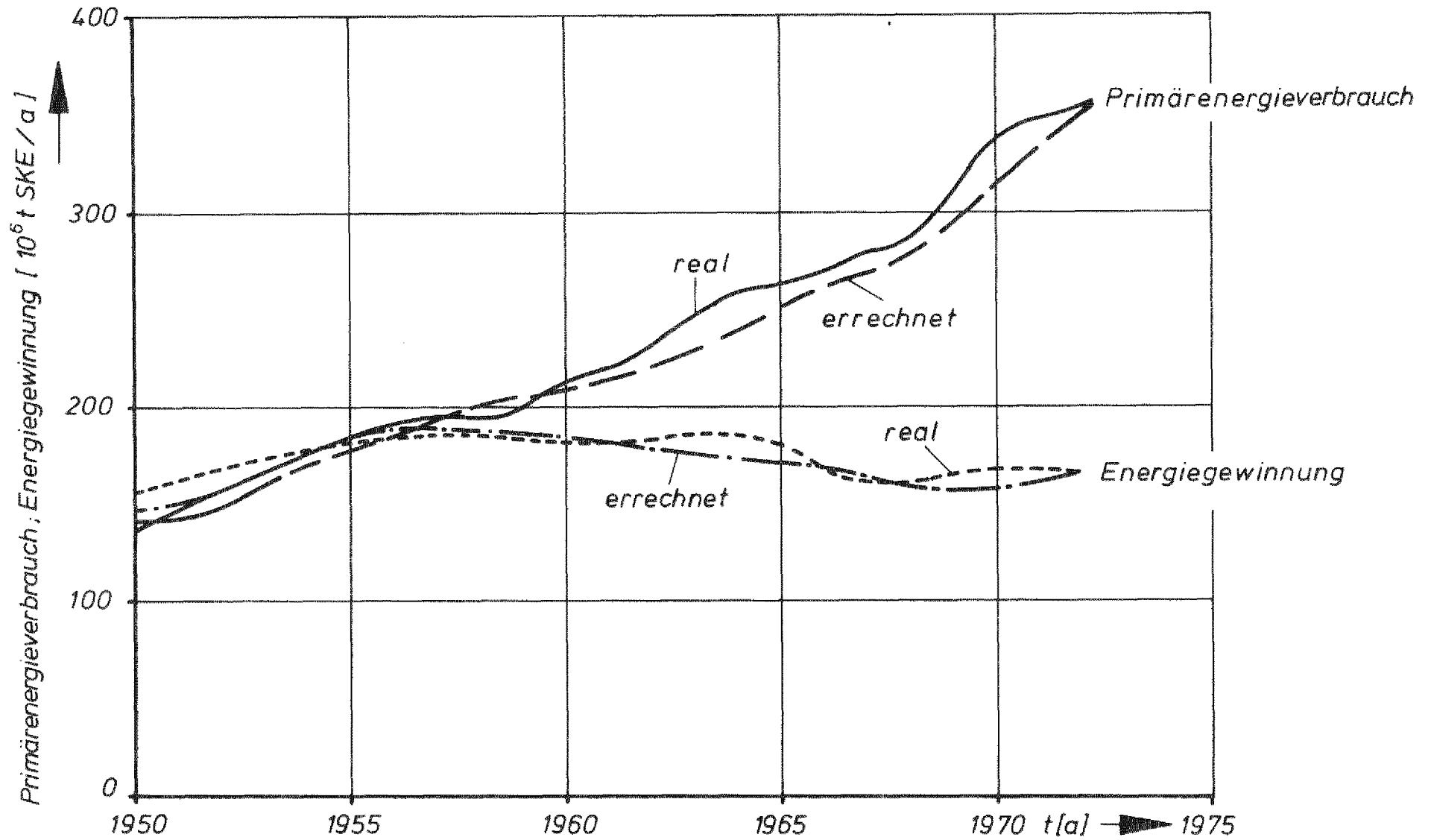


Bild 4: Modellverifikation - Energieverbrauch und -gewinnung

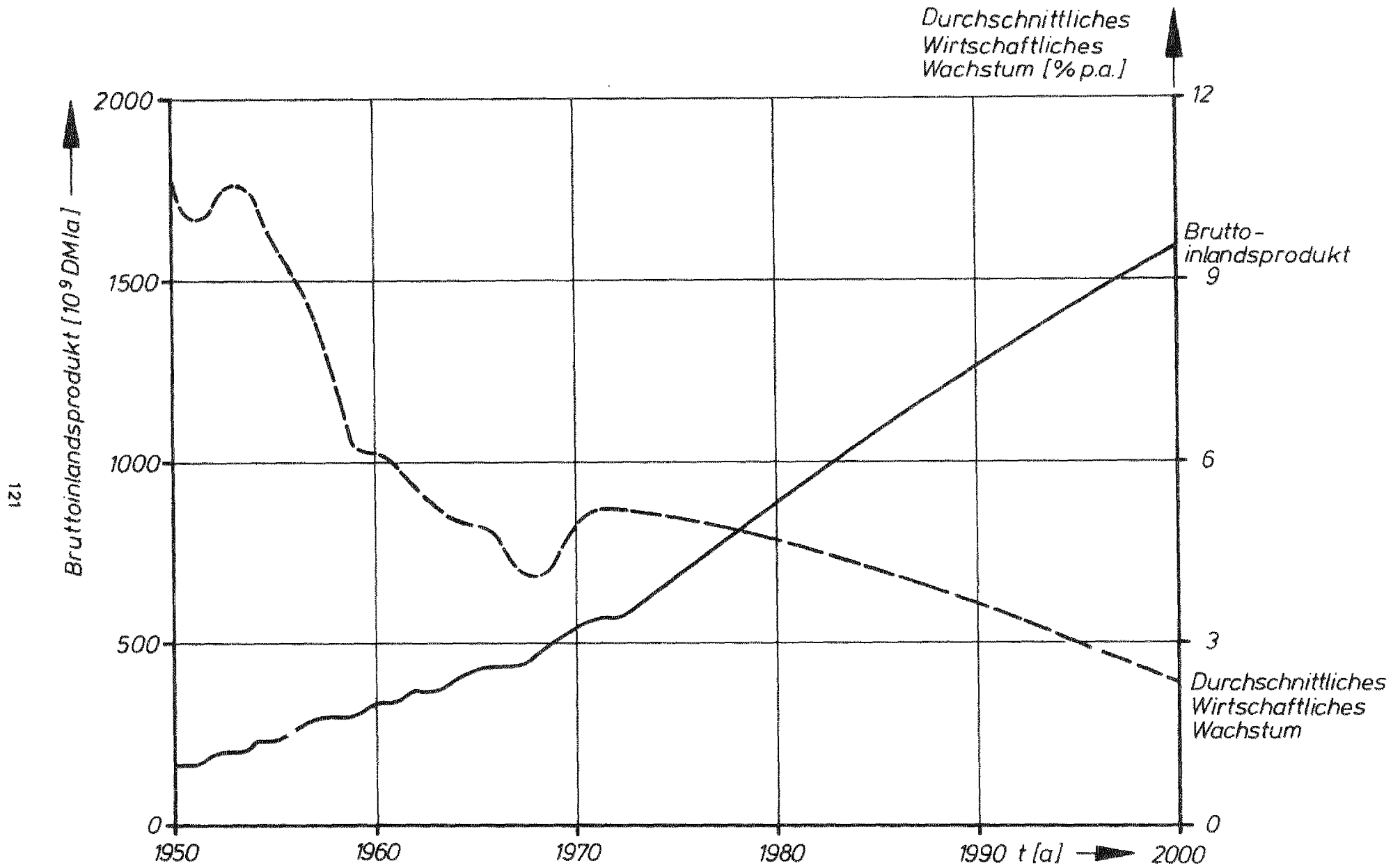


Bild 5: Standardfall: Wirtschaftliche Entwicklung

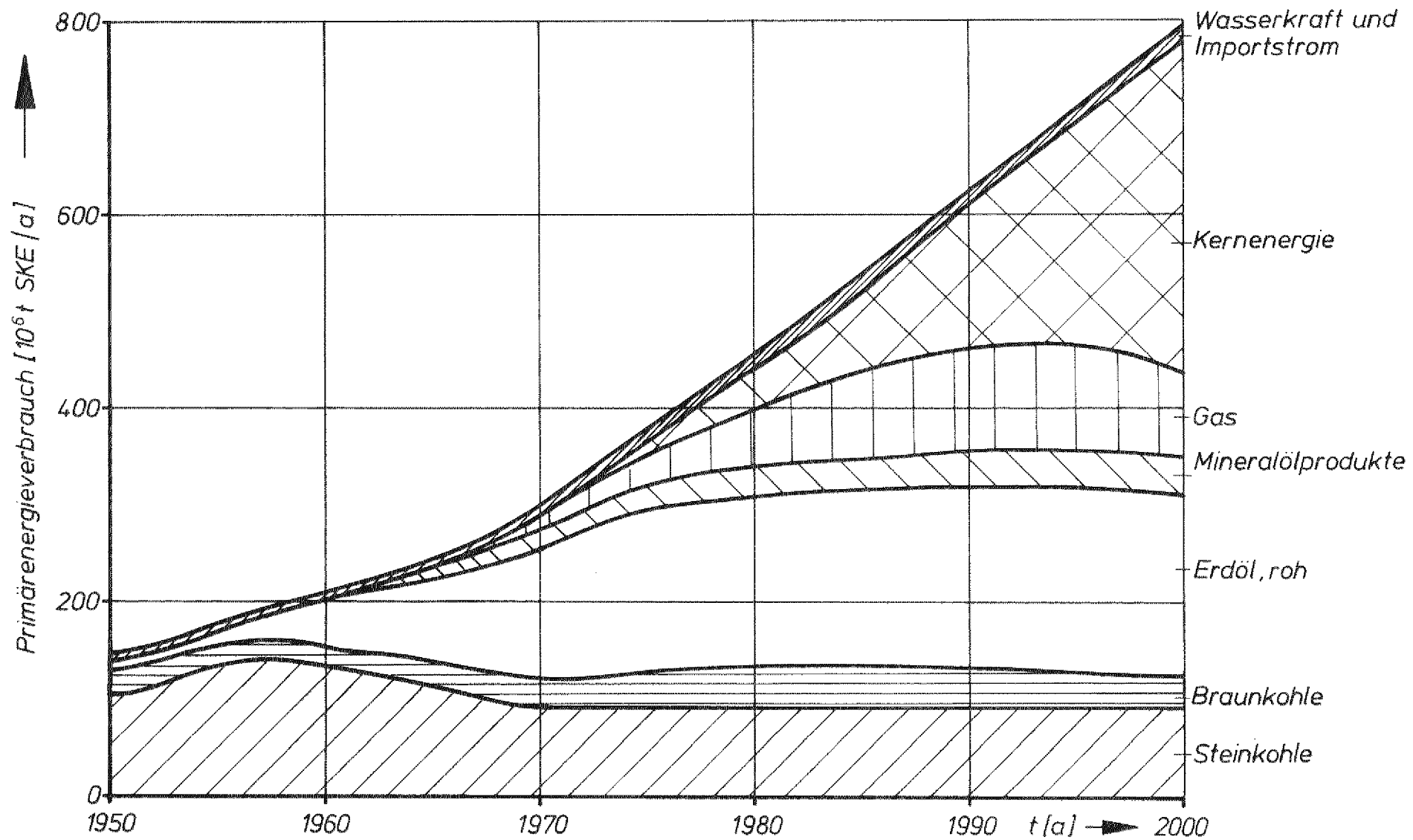


Bild 6: Standardfall: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

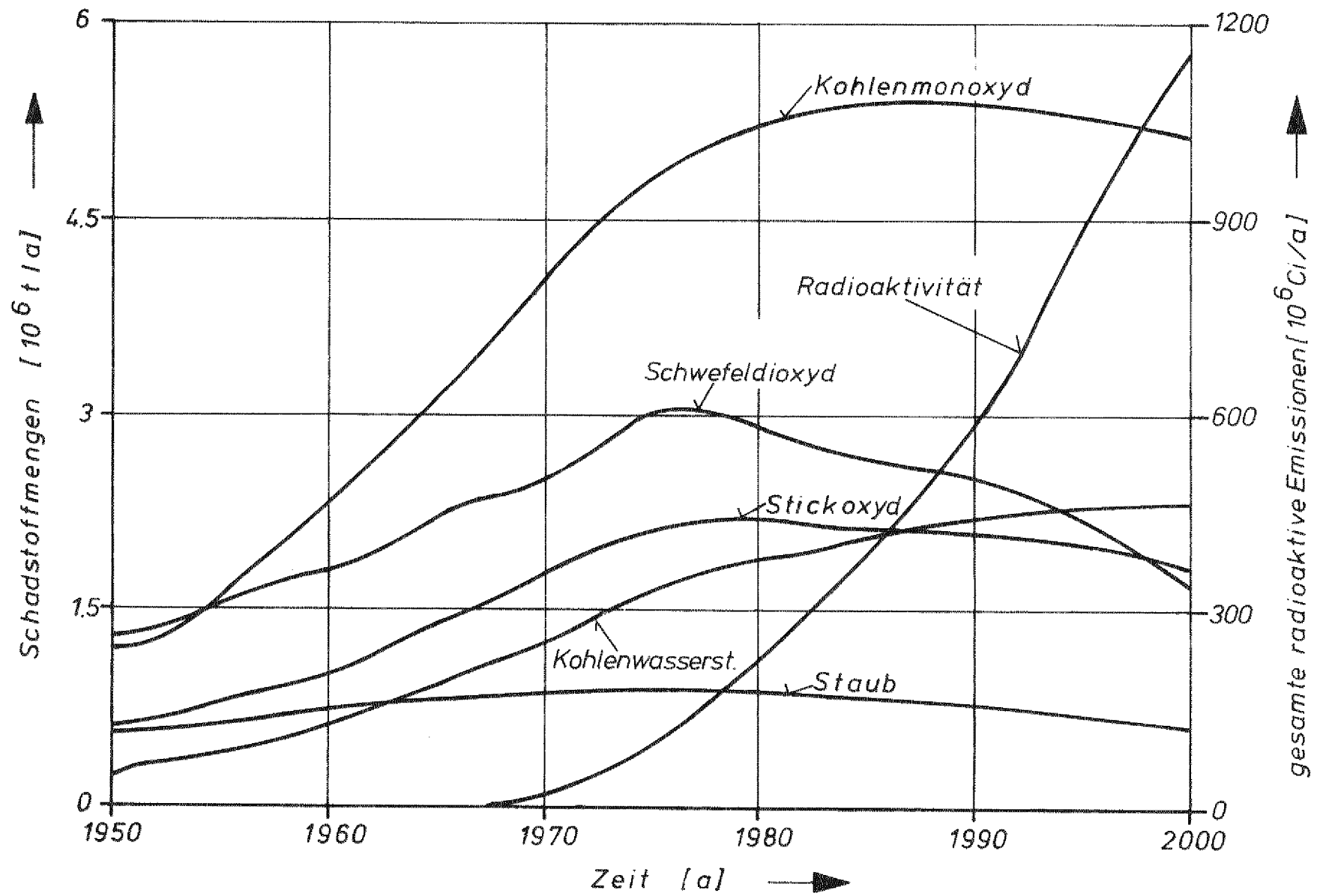


Bild 7: Standardfall: Schadstoffemission

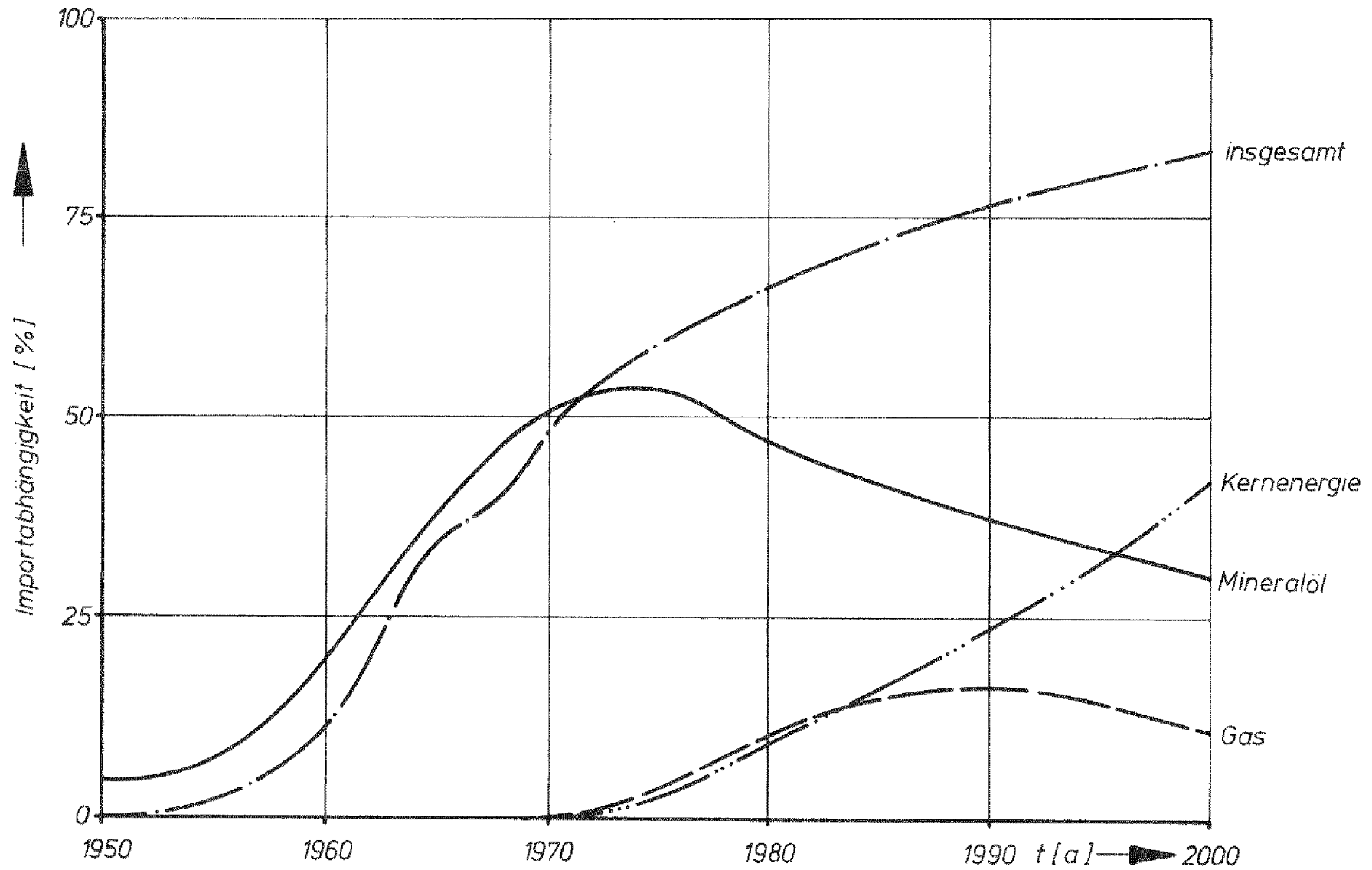


Bild 8: Standardfall: Entwicklung der Importabhängigkeit

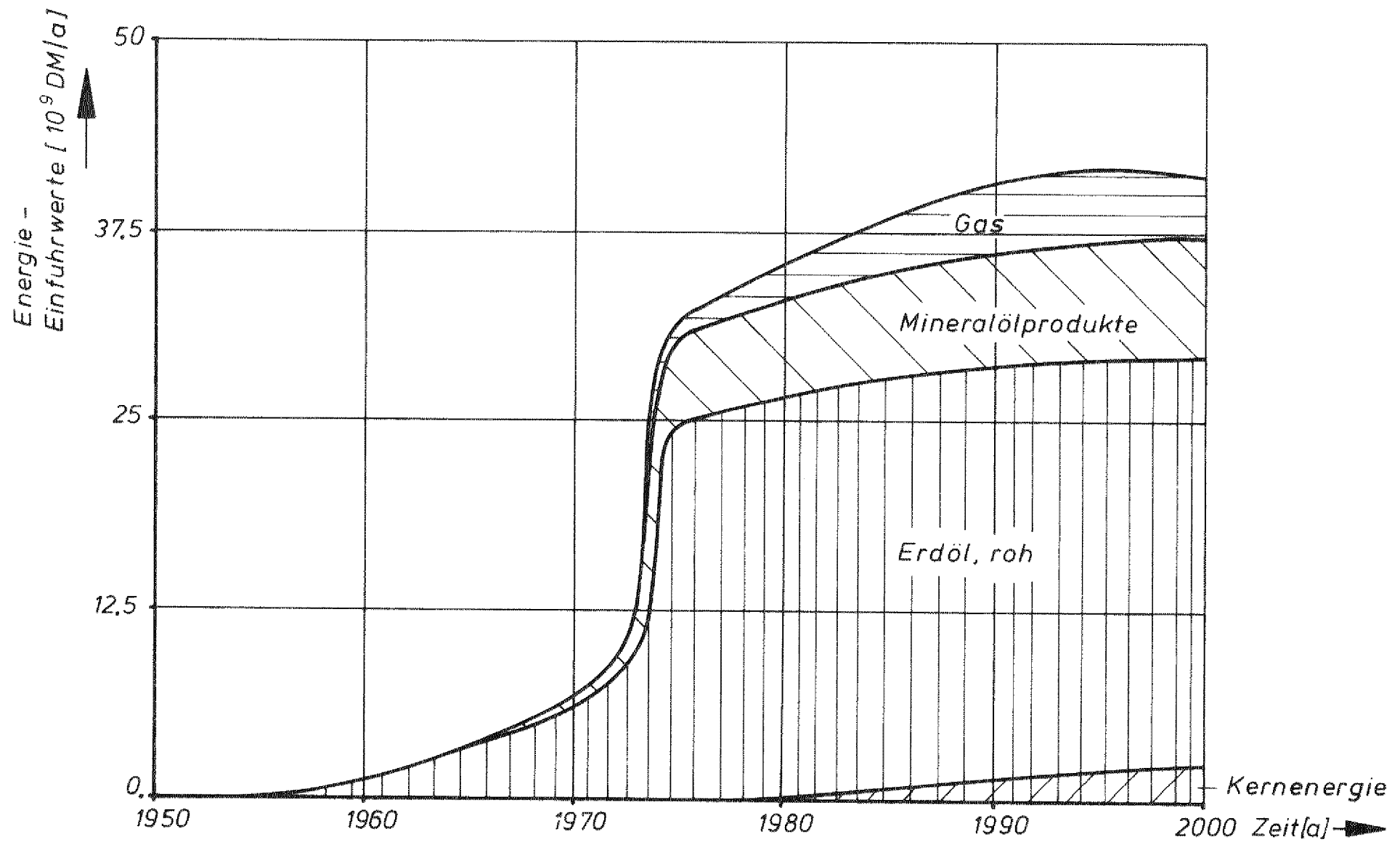


Bild 9: Entwicklung der Einfuhrwerte für Energie (in jeweiligen Preisen, ab 1974 konstante Preisbasis)

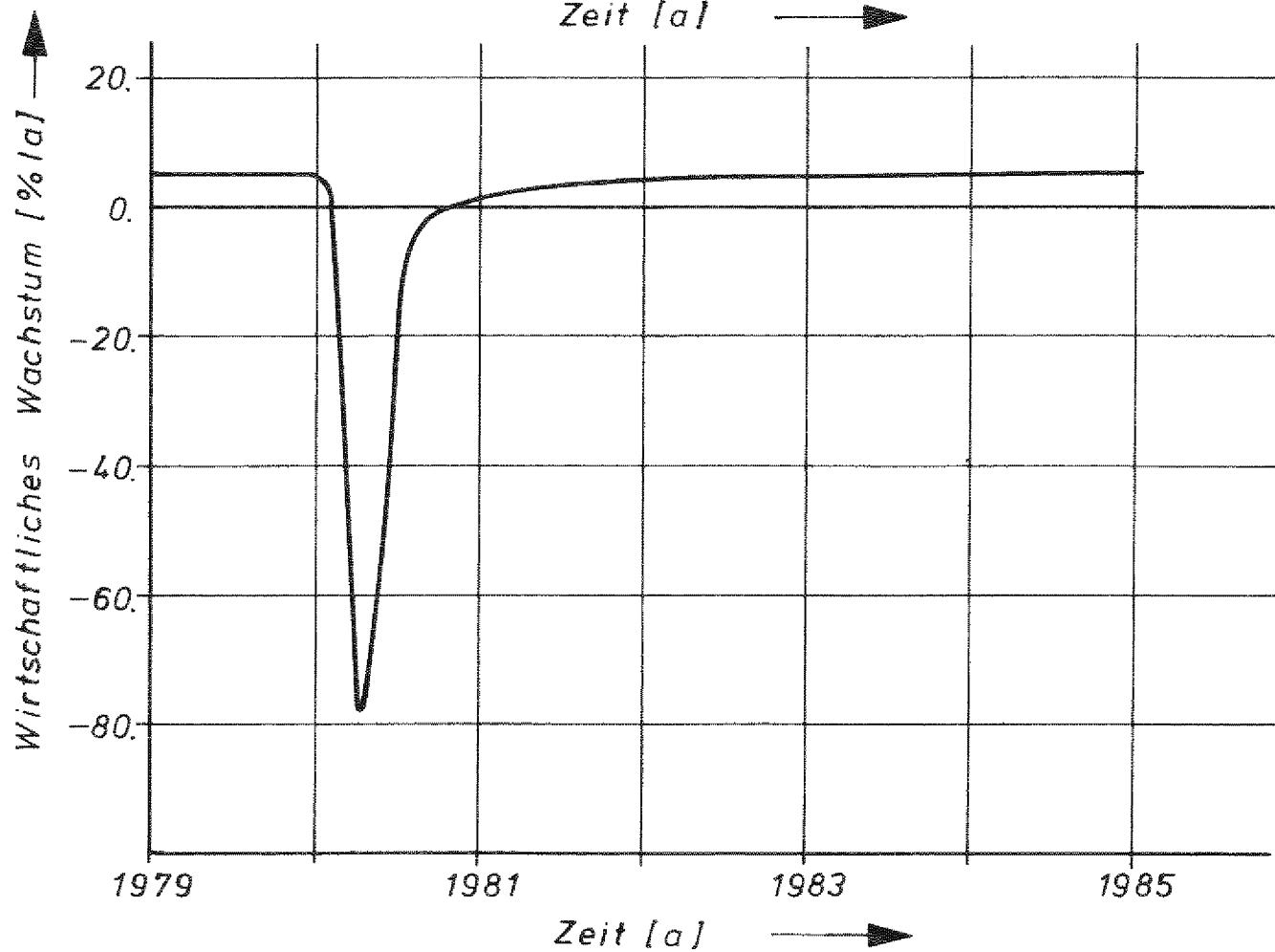
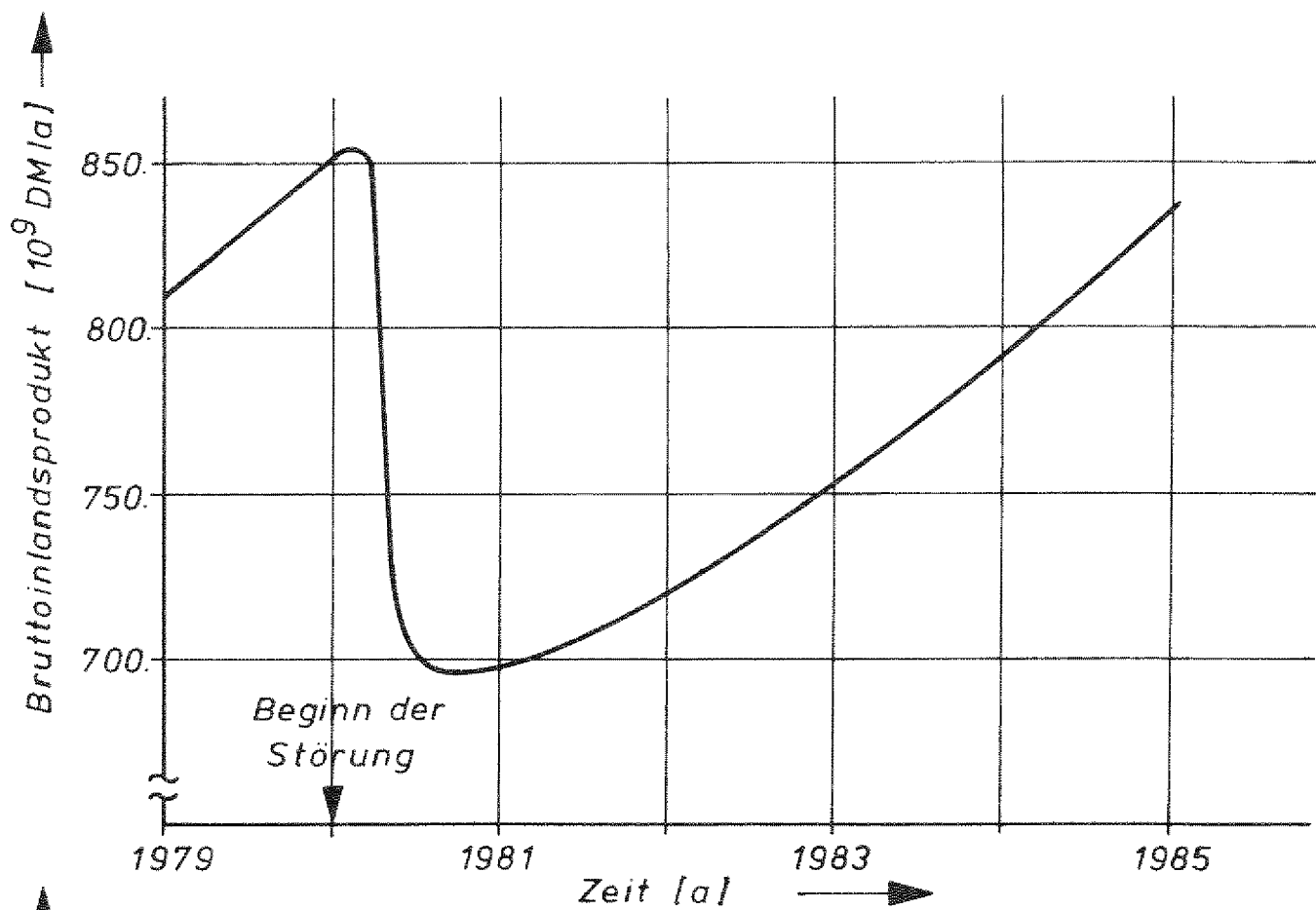


Bild 10: Versorgungskrise

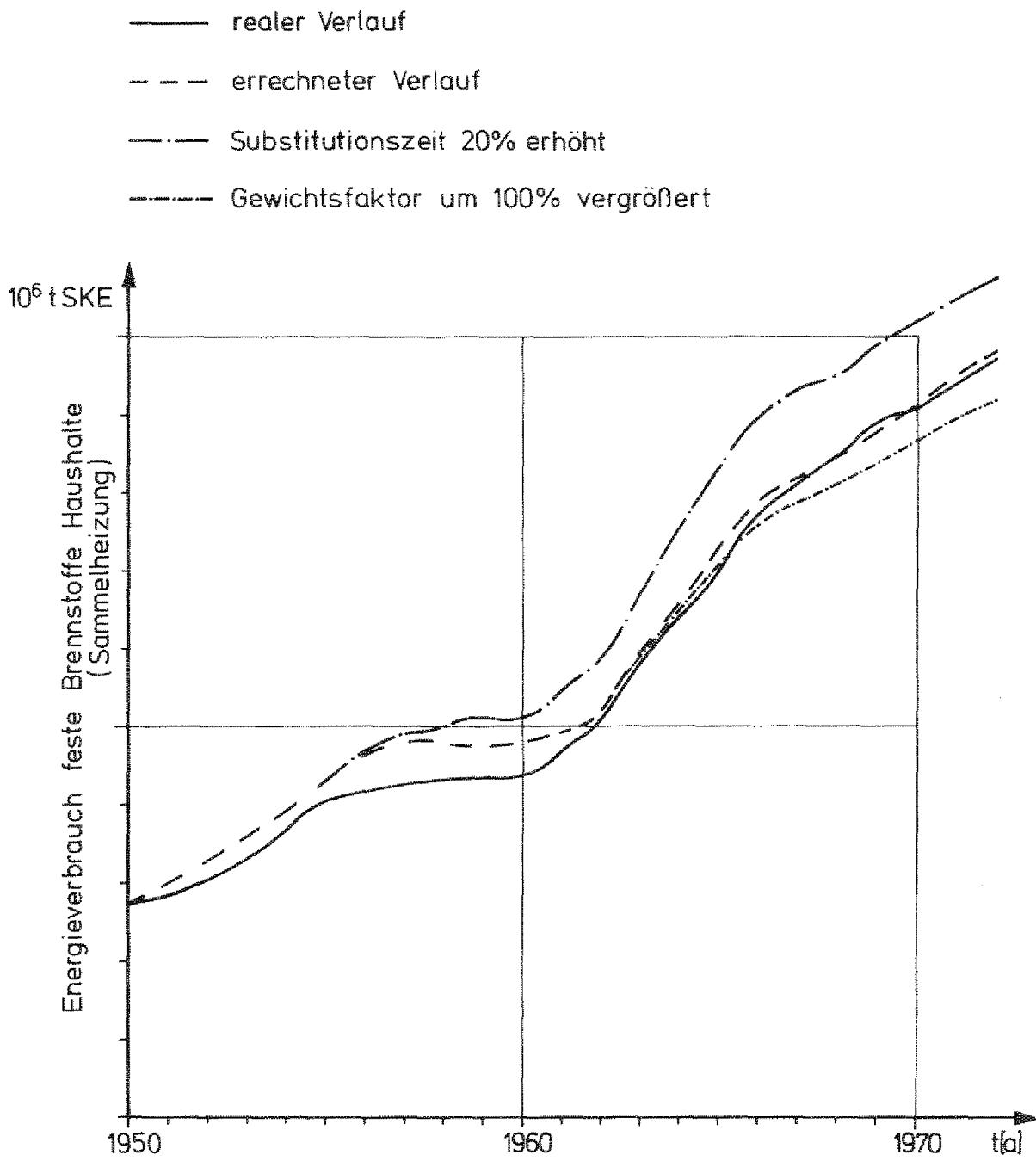


Bild 11: Substitutionsmodell: Sensitivitätsuntersuchung

Strategie	Wärme-Kraft Kopplung	Verbrauchs- restriktionen	Gesamtkosten [10 ⁹ DM/a]	Gesamtwirkungs- grad [%]
1			48,4	42,8
2	x		40,7	47,2
3		x	49,3	37,9
4	x	x	45,0	40,9

Tabelle 1: Optimierungsergebnisse für eine Modellregion

DISKUSSION

H.D. Schilling, Steinkohlenbergbau e.V., Essen: Habe ich Sie richtig verstanden, daß nach Ihrem Modell der Devisenbedarf für die BRD für Kernenergie 1 Mrd DM/a und für Erdöl 40 Mrd DM/a beträgt? Wie kommt diese Relation 1:40 zustande?

A. Voß, KFA Jülich: Es ist richtig, daß für den Standardfall bei der Annahme konstanter Preise von 220 DM/t Erdöl und 7,65 \$/lb U₃O₈ (Preisbasis 1971) für Natururan sich die Relation von 1:40 zwischen dem Devisenbedarf für Natururan und Öl einstellen würde. Diese Relation ergibt sich trotz höherer energetischer Einfuhr der Kernenergie aus dem wesentlich höheren Energieinhalt des Urans gegenüber dem Erdöl.

R. Schulten, KFA Jülich: Darf ich vielleicht zu dieser Frage noch eine kleine Bemerkung machen? Die Verteuerung der Kernenergie hängt also im wesentlichen an der Verteuerung der Kapitalkosten, und das würde dann eine allgemeine Erscheinung für die gesamte Industrie sein.

H. Neu, EURATOM Ispra, Italien: Zunächst eine Bemerkung: Soweit ich es in der kurzen Zeit verstanden habe, wird die Dynamik Ihres Modells in gleicher Weise wie in den Modellen von Forrester und Meadows durch Feed-back-loops im ökonomischen Teil erzeugt. Dabei müssen Annahmen gemacht werden über funktionelle Zusammenhänge, deren Gültigkeit über längere Zeiträume sehr fraglich ist. Das gilt u.a. für die von Ihnen verwendete Cobb-Douglas-Produktionsfunktion und den für den technologischen Fortschritt eingesetzten Faktor. Diese Unsicherheit überträgt sich auf die sektorielle Energienachfrage. Zwei Fragen:

1. Wodurch wird in Ihrem Modell das nach 1973 im Dia gezeigte starke Absinken der Zuwachsrates des Bruttoinlandsproduktes verursacht?
2. Welche Annahmen haben Sie für den funktionellen Zusammenhang zwischen Produktion und Energienachfrage der verschiedenen Sektoren gemacht?

A. Voß: In unserem Modell wird ähnlich wie in den Modellen von Forrester und Meadows die Entwicklung der Modellgrößen und damit das Modellverhalten unter Berücksichtigung wichtiger

ökonomischer Rückkopplungsmechanismen beschrieben. Nun zu Ihrer ersten Frage: Die in Bild 5 gezeigte Wachstumsrate des Bruttoinlandsproduktes stellt das vom Programm errechnete Wachstum im Standardfall bis zum Jahre 2000 dar. Es ist keine exogen vorgegebene Größe, sondern resultiert aus den dem Standardfall zugrundegelegten Voraussetzungen (siehe Beschreibung des Standardfalls). Der Energiebedarf der verschiedenen Sektoren wird im Falle der Industrie über die jeweiligen Produktionszahlen erklärt und im Falle der Haushalte, der Kleinverbraucher und des Verkehrs durch aus der wirtschaftlichen Entwicklung abgeleitete Größen, wie das verfügbare Einkommen, den Wohnungsbestand und das Verkehrsaufkommen. Im industriellen Bereich wird außerdem noch nach dem energetischen und nicht-energetischen Bedarf unterschieden. Die jeweiligen spezifischen Bedarfsfaktoren wurden über umfangreiche Zeitreihen und Korrelationsanalysen ermittelt. Sie können aber variiert werden, um z.B. die Möglichkeiten und Auswirkungen von Energiesparmaßnahmen zu untersuchen.

M. Bald, Kraftwerk Union AG, Frankfurt: Im vorliegenden Modell scheint mir die Verknüpfung der Energiewirtschaft mit wirtschaftlichen Vorgängen am besten gelungen. Für besonders sinnvoll ist hier die Unterscheidung von produktionsbedingtem und konsumtivem Energieverbrauch (= Energieverbrauch der Haushalte). Hierzu als erste Frage: Wie wurde die Trennung von Haushalten und Kleinverbrauchern vollzogen? Die Energiebilanzen der BRD unterscheiden diese Sektoren bekanntlich nicht, und wäre es nicht sinnvoll, den Haushalten auch den Individualverkehr zuzurechnen? Auch ich halte, wie der Diskussionsteilnehmer vor mir, die Cobb-Douglas-Funktion zur Schätzung des Produktionsvolumens nur für sehr bedingt geeignet, da sie die wirtschaftliche Realität ungenügend widerspiegelt und Strukturveränderungen nicht berücksichtigen kann. Der Übergang von der Wirtschaftsseite zum Energiebereich wird im vorliegenden Modell mit Hilfe von Strukturfaktoren vollzogen. Hierbei dürfte es sich um spezifische Energieverbräuche handeln (DM Nettoproduktion zu kg SKE)? Die branchenmäßigen Energieverbräuche pro Produktionseinheit unterliegen im Zeitablauf einem abnehmenden Trend und Schwankungen um diesen. Wie werden hier die Zukunftswerte geschätzt?

A. Voß: Für die Trennung von Haushalten und Kleinverbrauchern wurde mit Hilfe von spezifischen Wärmebedarfswerten und mit Zahlen für den Energieverbrauch für übrige Zwecke in den Haushalten gearbeitet, die aus Untersuchungen von Schäfer, München, stammen. Der Individualverkehr wird über das verfügbare Einkommen der Haushalte erklärt, er wird also tatsächlich wie die übrigen konsumtiven Größen festgelegt. Die Cobb-Douglas-Funktion ist eine unter mehreren möglichen Produktionsfunktionstypen. Trotz aller Einwände, die gegen diesen Ansatz geäußert werden, hat sich gezeigt, daß man mit dieser Funktion, die die Substitution der Primärfaktoren Arbeit, Kapital und Technischer Fortschritt angibt, gute Ergebnisse erzielen kann. So wird die Cobb-Douglas-

Funktion z.B. für längere Zeitreihen (30 Jahre) vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung in Berlin verwendet. Die Frage der Berücksichtigung von Strukturveränderungen in der Cobb-Douglas-Funktion ist positiv zu beantworten, da die Möglichkeit besteht, durch eine entsprechende Disaggregation der Produktionsgruppen strukturelle Unterschiede darzustellen. Dies scheint mir gegenüber limitationalen Produktionsfunktionen ein erheblicher Vorteil zu sein. Die spezifischen Energieverbräuche je Produktionseinheit werden nach einem von Schreiber vorgeschlagenen Verfahren mit Hilfe der kumulierten Brutto-Investitionen in den einzelnen Wirtschaftsbereichen festgelegt.

H. Tröscher, RWE Essen: Enthalten die Modell-Ergebnisse detaillierte Angaben über die zuzubauenden Produktionsanlagen wie z.B. Ort und Größe der Kraftwerke?

A. Voß: Mit dem Modell in seinem jetzigen Ausbauzustand sind nur Aussagen über die installierte Kapazität der einzelnen Produktionsanlagen möglich. Aussagen z.B. über die zukünftigen Blockgrößen einzelner Kraftwerkstypen sind nicht möglich. Es ist aber möglich, wenn Untersuchungen über die zu erwartende Entwicklung der Anlagengrößen vorliegen, diese zur Ermittlung der Zahl der zuzubauenden Anlagen zu benutzen.

H.W. Schmidt, RWI Essen: Ich habe vier Fragen an Herrn Voß:

1. Dynamisieren Sie in Ihrem Modell die Koeffizienten der Input-Output-Matrix, und wenn ja, welches Verfahren wenden Sie dabei an?
2. Rechnen Sie mit Preiselastizitäten der Nachfrage, und wenn ja, wie dynamisieren Sie diese?
3. Wie nehmen Sie die Dynamisierung der von Ihnen verwandten Saisonfiguren vor?
4. Sie gehen bei der Simulation des zukünftigen Bedarfs offenbar davon aus, daß außer bei Uran in den 90er Jahren die Verfügbarkeit an Primärenergieträgern deutlich abnimmt. Wie begründen Sie das?

A. Voß:

1. Die Koeffizienten der Input-Output-Matrix werden dynamisiert, indem eine auf den Zeitreihen der Vergangenheit abgestützte Trendfortschreibung angewandt wird. Dies ist ein Notbehelf, zur Zeit das uns aber am brauchbarsten erscheinende Verfahren. Es ist daran gedacht, bei einer Weiterentwicklung einen Substitutionsmechanismus bei der Dynamisierung einzuführen.
2. Preisveränderungen werden in der jetzigen Fassung des Energiemodells nur auf der Energieseite berücksichtigt. In allen übrigen Teilen wird mit konstanten Preisen gerechnet, daher werden auch keine Preiselastizitäten auf der Nachfrageseite berücksichtigt.
3. Die gezeigten Ergebnisse waren statische Rechnungen für ein Referenzjahr. Die verwandten saisonalen Dauerlinien

wurden aus uns vorliegenden Untersuchungen ermittelt. Es ist beabsichtigt, die Dauerlinien für die einzelnen Endenergieträger aus den Verbrauchsganglinien der einzelnen Endverbraucher zu ermitteln.

4. Zunächst unterscheiden wir zwischen in- und ausländischen Energiereserven. Bei den ausländischen Energiereserven wird nur beim Erdgas davon ausgegangen, daß aufgrund von Ressourcenerschöpfung eine Abnahme des Liefervolumens nach 1990 einsetzt. Diese Tatsache wird in einer Reihe von Veröffentlichungen angesprochen. Bei allen übrigen ausländischen Energiereserven wird keinerlei Begrenzung angenommen. Für die inländischen Energiereserven errechnet sich für Erdöl und Erdgas eine Erschöpfung um 1990. Hier wird - wie die letzten Jahre zeigen - auch keine nennenswerte Reservezunahme durch Exploration erwartet. Bei Stein- und Braunkohle ergibt sich eine mäßige Abnahme der Reserven bis zum Jahre 2000. Allerdings sind dabei nur die zu heutigen Kostenvorstellungen gewinnbaren Energiereserven berücksichtigt, unter etwas höheren Kostenbedingungen sind die Reserven noch weitaus größer anzusetzen. Hier ergibt sich also ebenfalls kein Engpaß.

A. Ziegler, BMFT Bonn:

1. Im wesentlichen werden funktionale Zusammenhänge verwendet, um die Abhängigkeit der einzelnen Sektoren zu beschreiben. Das Modell hat deshalb einen deterministischen Charakter. Wie können einzelne strategische Entscheidungen in das Modell eingegeben werden (z.B. verstärkter Einsatz von Kohle; Reduktion des Einsatzes von elektrischer Energie; Einsatz neuer Technologien)?
2. Können auf der Basis der aus Zeitreihen abgeleiteten Koeffizienten zur Beschreibung der dynamischen Entwicklung die Effekte politischer Entscheidungen abgeleitet werden nach einem Wechsel der politischen Grundkonzeption (pointiert: Wirkungen der sozialliberalen Politik mit den Daten aus der Wirtschaftsdynamik einer christdemokratischen Politik)?
3. Einfluß neuer Technologien wird im Modell an den kumulierten Investitionsaufwand gekoppelt. Wird diese Koppelung den vielfältigen Möglichkeiten neuer Technologien gerecht?

A. Voß:

1. Das Modell ist gerade zu dem Zweck konzipiert, die Folgen einzelner "strategischer Entscheidungen" oder, wie wir es nennen, die Folgen alternativer Strategien der Energieversorgung aufzuzeigen. Praktisch erfolgte dies durch die Variation und Veränderung von Modellparametern. Eine Reihe derartiger Rechnungen sind von uns schon gemacht worden.
2. Die Ableitung der Effekte politischer Entscheidungen aus einer Zeitreihenanalyse ist sicher nur begrenzt möglich. Sehr viel schwieriger aber ist es, zukünftige politische Entscheidungen zu prognostizieren. Dies ist aber auch nicht unsere Absicht. Was wir wollen, und ich glaube,

heute auch schon teilweise können, ist die Beschreibung der Auswirkungen und Konsequenzen verschiedener politischer Entscheidungen.

3. Die Beschreibung des Technischen Fortschritts über eine Korrelation mit den kumulierten Bruttoinvestitionen erfolgt nur in den vier Industriebereichen und dem Sektor "Andere Wirtschaftsbereiche" im Rahmen der Produktionsfunktion zur Ermittlung der Bruttoproduktion dieser Bereiche. Hier hat sie sich als ausreichend erwiesen. Im Energiebereich, der uns hier ja vornehmlich interessiert, erfolgt die Analyse der Auswirkungen neuer Technologien sehr viel detaillierter und zwar dadurch, daß diese neuen Technologien explizit in die Versorgungsstruktur eingebaut werden.

H.J. Burchard, B.P., Hamburg: Eine Frage zum Standardfall: Es wurde ein bestimmtes Verhältnis zwischen Rohöl- und Produktimporten aufgezeigt. Ist dabei berücksichtigt, daß möglicherweise mehr Raffineriekapazität in Rohölförderländern errichtet wird und sich dadurch das Verhältnis zugunsten der Produkte verschiebt? Dann zwei Fragen zum Krisenfall:

1. Berücksichtigen die administrativen Reduzierungen in den einzelnen Verbrauchsbereichen die mögliche Zusammensetzung des Produktionsoutputs der Raffinerien, weil sich sonst möglicherweise Ungleichgewichte (Über- oder Unterdeckungen) ergeben?
2. Wie lang ist die Überbrückungszeit angenommen worden, die sich aus dem Einsatz der Bestände ergibt?

A. Voß: Die im Standardfall gezeigte Entwicklung der Rohöl- und Mineralölprodukteinfuhren geht nicht davon aus, daß möglicherweise mehr Raffineriekapazität in Rohölförderländern errichtet wird. Eine derartige Entwicklung und ihre Folgen kann aber durch einfache Parametervariation dargestellt und analysiert werden. Die im hier gezeigten Krisenfall eingeführten administrativen Maßnahmen berücksichtigen die vom Raffinationsprozeß vorgegebene Produktstruktur nur implizit. Es wäre aber denkbar, diese Maßnahmen von der Produktstruktur und ihrer Änderungsmöglichkeit abhängig zu machen. Als Überbrückungszeit, die gegeben ist durch die Lagerbestände, wurden 100 Tage angenommen.

U. Bossel, DFVLR, Porz-Wahn: Die von Ihnen, Herr Dr. Voß, gezeigten Ergebnisse zeigen, daß aller Voraussicht nach Substitutionen von Energieträgern in hohem Umfang notwendig werden. Solche Substitutionen setzen a) die Verfügbarkeit von Technologien und b) das Vorhandensein von Rohstoffen voraus. Bei einem großzügigen Ausbau der elektrischen Energieversorgung würde z.B. die Verknappung der Kupfervorräte sicherlich hinderlich sein. Sind in Ihrem Modell die retardierenden Effekte als Folge von Technologie- und Versorgungsengpässen berücksichtigt, bzw. können sie berücksichtigt werden?

A. Voß: Im jetzigen Ausbauzustand des Modells können eventuelle Auswirkungen von Verknappungen nichtenergetischer Rohstoffe als Grenze des Ausbaues einer Energietechnologie noch nicht berücksichtigt werden. Wir erfassen zur Zeit nur die Effekte einer Verknappung der energetischen Rohstoffe. Es ist aber geplant, das von Ihnen genannte Problem anzugehen. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit den Herren unserer Arbeitsgruppe, die sich speziell mit der Rohstoffproblematik befassen. Eine sinnvolle Bearbeitung dieser Probleme erfordert eine Gesamtschau, d.h. eine Betrachtung des Bedarfs der jeweiligen interessierenden Rohstoffe sowohl für die Energiewirtschaft als auch für die anderen Wirtschaftsbereiche. Der von Ihnen angesprochenen Problematik ähnlich ist die Frage, ob nicht der Kapitalbedarf eine Grenze für den Ausbau der Energieversorgung sein kann. Auch diese Frage soll, wie im Vortrag erläutert, mit der Hilfe eines Finanzierungs- und Investitionsmodells genauer analysiert werden.

SIMULATIONSMODELL
FÜR DIE ENTWICKLUNG DES ENERGIESEKTORS
UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON
UMWELTPROBLEMEN UND KOSTENGESICHTSPUNKTEN

J. Bürstenbinder
Zentrum Berlin für Zukunftsforschung e.V.
Berlin

1 Überblick über das gesamte Vorhaben

Zu dem zur Zeit bearbeiteten Forschungsvorhaben "Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der Datenverarbeitung zur Planungshilfe in der Bundesverwaltung (PLABUND)" leistete das Bundesministerium für Forschung und Technologie eine Zuwendung. Das Vorhaben ist in drei Teilbereiche aufgeteilt.

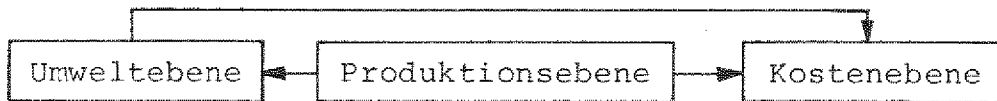
Ein Teilbereich bildet das Projekt "Energiesektorales Informationssystem (ENIS)", das vom Bundesminister für Wirtschaft betreut wird.

Es geht im Projekt ENIS grundsätzlich darum, wie man eine spezielle Fragestellung mit Hilfe eines komplexen EDV-gestützten Informationssystems angehen kann und dies für eine konkrete Aufgabe ausführt. Der Arbeitsansatz von ENIS geht von der Vorstellung eines im wesentlichen aus Datenbank, Simulationsmodell und Anwenderprogrammen bestehenden Informationssystem aus. Es sind also die für die Lösung der gestellten Aufgabe benötigten Daten zu bestimmen, zu sammeln, zu analysieren und zu strukturieren (Datenbank). Die Verknüpfung und Auswertung dieser Daten geschieht dann mit Hilfe eines als dreischichtige Abbildung des Energiesektors konzipierten Simulationsmodells in einer Weise, welche die Untersuchung der Folgen erwarteter oder erwogener alternativer Entwicklungen auf dem Energiesektor gestattet.

ENIS ist ein Modell, das

- Simulationen in Energieerzeugung und -umwandlung,
- die Aufstellung einer Schadstoffbilanz des Energiesektors,
- und die Ermittlung der Produktionskosten bei alternativen Entwicklungen der Energieversorgung und bei unterschiedlichen Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung

ermöglicht. ENIS ist in 3 Ebenen aufgebaut:



2 Kurzgefaßte Erklärung der einzelnen Ebenen des Modells

Basis des Modells ist die Produktionsebene, welche in der Art einer operationalisierten Energiebilanz gestaltet wird. Aus dem Energiebedarf wird unter der Annahme einer bestimmten Bedarfsstruktur und einer bestimmten energieaußenwirtschaftlichen Situation eine Energiebilanz berechnet, in der Gewinnung, Umwandlungseinsatz, Umwandlungsausstoß, Eigenverbrauch und Verluste für die einzelnen Energieträger und Bereiche ausgewiesen werden. Die Größen der Produktionsebene sind durch Verhältniszahlen (z.B. Importabhängigkeit, Umwandlungseinsatzverhältnis, Anteil des Umwandlungsausstoßes eines Bereiches, Energienutzungsverhältnis usw.) miteinander verknüpft und gehen in eine Modellgleichung ein.

In der Umweltebene gewinnt man aus den errechneten Energiemengen unter der Annahme eines bestimmten Standes der Energietechnologie eine nach der Art der Emissate und den Entstehungsbereichen aufgeschlüsselte Tabelle von Umweltbelastungen in Mengenangaben, z.B. für SO₂, NO_x, CO, Staub, Kohlenwasserstoffe.

Für diesen Stand der Technik werden aus den Energiemengen dann in der Kostenebene unter der Annahme bestimmter Energiepreise die Energiekosten in verschiedenen Bereichen ausgerechnet.

Die folgende Abb. 1 zeigt die Einbindung der drei Ebenen des Modells in ein Gesamtmodell des Energiesektors. Dabei sind die Teilbereiche besonders gekennzeichnet, mit denen sich das Projekt ENIS befaßt.

Auf den folgenden Seiten werden die einzelnen Subsysteme genauer dargestellt.

3 Produktionsebene

3.1 Schema

Ausgangsgleichung für alle Betrachtungen ist eine Bilanz für einzelne Energieträger:

$$WFF_i T_l - WUE_i T_l - WVE_i T_l = WNE_i T_l + WEE_i T_l - WHE_i T_l \quad (3.1)$$

(Die Bedeutung der Abkürzungen kann der nachfolgenden Legende für die Bezeichnungen entnommen werden.)

Legende für die Bezeichnungen in der Produktionsebene

1. Buchstabe

Typ

- Q Menge in natürlichen Einheiten
- W Menge in Vergleichseinheiten
- V Verhältniszahl
- K Konstante
- F Funktion
- G Funktion

2. Buchstabe

Merkmal

- F Förderung, Gewinnung, Umwandlungsausstoß
- U Umwandlungseinsatz
- V Verbrauch, Verluste
- E Endverbrauch
- N Nichtenergetischer Einsatz
- G Gesamtenergie
- C chemisch-technisch
- H Außenhandelssaldo und statistische Differenzen
(Rechnungsabgrenzungsposten)

3. - 5. Buchstabe

Spezifikationsmerkmal

- E_i Einteilung nach Energieträgern
- B_k Einteilung nach Bereichen
- T_l Einteilung nach Jahren

Die Gleichung (3.1) wird unter Einführung mehrerer Parameter in eine Modellgleichung umgeformt.

$$\sum_{E_m} FFE_{i E T} \cdot WFE_{m T} = FFE_{i T} \cdot WET_l \quad (3.2)$$

Modellmatrix · Förderung = Strukturvektor · ges. Endenergieverbrauch

Die beiden folgenden Übersichten zeigen die Herleitung der Größen der Modellgleichung aus den Ausgangsdateien.

3.2 Simulationsmöglichkeiten mit dem Modell

Das Modell der Produktionsebene ist so konzipiert, daß die Berechnungen von verschiedenen Punkten ausgehend durchgeführt werden können. Dabei werden folgende Möglichkeiten für den Benutzer unterschieden:

1. Vorgabe des totalen Endenergieverbrauchs (WET_1)
2. Vorgabe des Endenergieverbrauchs unterteilt nach Energieträgern ($WEE_i T_1$)
3. Änderung einzelner "Schalter"
4. keine Vorgabe der Ausgangsgrößen

Die Auswirkungen dieser Annahmen werden in den nächsten Abschnitten beschrieben.

Generell gilt, daß die Energiebilanz Ausgangswerte für die anderen Ebenen des Modells zur Verfügung stellt. Ebenso werden sich z.B. Maßnahmen der Umweltpolitik in der Produktionsebene niederschlagen.

Simulation bei Vorgabe des totalen Endenergieverbrauchs

Der Benutzer kann den Endenergieverbrauch für mehrere Jahre T_1 in das Modell eingeben. Diese Werte können entweder von einem anderen Modell bereitgestellt oder vom Benutzer aus Energieprognosen übernommen werden. Dabei wird keine Unterteilung nach Endverbrauchern vorgenommen. Sei WET_1' der vom Benutzer eingegebene und WET_1 der vom Modell extrapolierte Wert des Endenergieverbrauchs, dann gibt der Faktor

$$A_1 = \frac{WET_1'}{WET_1} \quad (3.3)$$

an, in welchem Verhältnis die extrapolierten Ausgangswerte (WF, WU, WV, WN, WE) des Modells umgerechnet werden müssen. Der Index 1 des Faktors A gibt an, daß A für jedes zu simulierende Jahr T_1 einen anderen Wert haben kann.

Es sind also Multiplikationen der folgenden Form durchzuführen:

$$WUE_{iB_k T_1}' = A_1 \cdot WUE_{iB_k T_1} \quad (3.4)$$

mit $i = 1, \dots, 28$, $k = 1, \dots, 25$ für die Merkmale U, F und V und

$$WNE_{i T_1}' = A_1 \cdot WNE_{i T_1} \quad (3.5)$$

mit $i = 1, \dots, 28$ für die Merkmale N und E.

Auf der rechten Seite der Gleichung stehen die vom Modell extrapolierten, auf der linken Seite die durch die Vorgabe des Endenergieverbrauchs erzeugten Werte. Als Ergebnis dieser Simulation erhält der Benutzer eine vollständige Energiebilanz.

Für jedes Jahr, in dem der Energiesektor betrachtet werden soll,

sind damit $3 \cdot 28 \cdot 25 + 2 \cdot 28 = 2156$

Multiplikationen durchzuführen. Bei Arbeiten in dieser Größenordnung lohnt sich der Einsatz einer Rechenanlage. Die Auswertung der hier aufgestellten Energiebilanz wird dann von dem Modell durchgeführt. Die Ergebnisse der Gleichungen (3.4) und (3.5) bilden die neuen Ausgangswerte für den Benutzer interessanten Größen wie Außenhandelsaldo, Importabhängigkeit, Förderungsanteil des Bereichs, Energienutzungsverhältnis, Verteilungsvektor usw., d.h. alle auftretenden Faktoren.

Außerdem erfährt der Benutzer, wieviel Energie aus Produktions- und Umwandlungsanlagen in welchem Zeitraum zur Verfügung gestellt werden muß.

Simulation bei Vorgabe des Endenergieverbrauchs unterteilt nach Energieträgern

In diesem Fall simuliert der Benutzer den Energiesektor, wobei er den Verteilungsvektor bereits vorgibt. Die eigentliche Fragestellung besteht darin, welche Umwandlungsbereiche aus welchen Energieträgern dem Endverbraucher die von ihm geforderte Energie nach Art und Menge zur Verfügung stellen.

Sei WEE_{i,T_1}' der vom Benutzer eingegebene und WEE_{i,T_1} der vom Modell extrapolierte Wert des Endenergieverbrauchs. Damit bestimmt der Benutzer bereits den Verteilungsvektor.

$$VEE_{i,T_1}' = \frac{WEE_{i,T_1}'}{\sum_{E_i} WEE_{i,T_1}'} \quad (3.6)$$

Im Gegensatz zur Gleichung (2.3) haben wir jetzt für jeden Energieträger einen anderen Korrekturfaktor.

$$A_{i,l} = \frac{WEE_{i,T_1}'}{WEE_{i,T_1}} \quad (3.7)$$

Die Indizes i und l geben an, daß A für jeden Energieträger E_i und jedes Jahr T_1 einen anderen Wert haben kann.

Die Gleichungen (3.4) und (3.5) lauten dann:

$$WUE_{i,k,T_1}' = A_{i,l} \cdot WUE_{i,k,T_1} \quad (3.8)$$

mit $i = 1, \dots, 28$, $k = 1, \dots, 25$ für die Merkmale U , F und V und

$$WNE_{i,T_1}' = A_{i,l} \cdot WNE_{i,T_1} \quad (3.9)$$

mit $i = 1, \dots, 28$.

Gleichung (3.9) ist nicht für das Merkmal E nötig, da der Endenergieverbrauch bereits aufgeteilt vorgegeben ist.

Nach diesen Berechnungen steht wieder eine vollständige Energiebilanz zur Verfügung, die ausgewertet werden kann.

Simulation durch Änderung einzelner "Schalter"

Unter einem Schalter verstehen wir eine Größe des Modells, die vom Benutzer geändert werden kann. Grundsätzlich kann bei einem Simulationslauf jeder einzelne Wert dem Modell von außen vorgegeben werden. Damit besteht die Möglichkeit, sowohl vom Endenergieverbrauch als auch von der Energieerzeugung auszugehen.

Der Benutzer erkennt Substitutionsmöglichkeiten und -notwendigkeiten und kann diese im Modell simulieren. Eine mögliche Fragestellung ist z.B., aus welchen Energieträgern an welchen Umwandlungsanlagen Strom erzeugt werden soll.

Vom Modell wird dem Benutzer die Hochrechnung der bisherigen Situation zur Verfügung gestellt. Durch Variation der Größe "Förderungsanteil des Bereiches" ($VFE_i B_k T_1$) simuliert der Benutzer Alternativen der Stromerzeugung in verschiedenen Umwandlungsbereichen (Kernkraftwerke, öffentliche konventionelle Wärmekraftwerke, Wasserkraftwerke usw.). Darüber hinaus können die Anforderungen an die inländischen Rohenergiegewinner unter der veränderten Situation im Zusammenhang mit dem Außenhandelssaldo präzisiert werden.

Zur Zeit kann der Benutzer nur durch eigenes Eingreifen eine iterative Optimierung erreichen. Er muß verschiedene Möglichkeiten am Modell durchspielen und bei der Auswahl eigene Prioritäten berücksichtigen. Eine mögliche Erweiterung des Modells bestünde darin, dieses Verfahren durch ein Hilfsprogramm in der Rechenanlage zu installieren. Die Auswirkungen aller simulierten Maßnahmen werden bei der Lösung der Modellgleichung untersucht. Das Ergebnis ist wieder eine vollständige Energiebilanz.

3.3 Energieprognosen mit dem Modell

Ausgangswerte für alle Berechnungen mit dem Modell sind die approximierten und extrapolierten Zeitreihen, die das Verhalten einzelner Energieträger und einzelner Bereiche beschreiben. Bei der Extrapolation werden Planungen und fixierte Vorstellungen über die zukünftige Entwicklung des Energiesektors berücksichtigt. Damit steht dem Benutzer eine Energieprognose zur Verfügung, die mindestens Anhaltspunkte für eine zukünftige Entwicklung gibt.

Da ein jährliches Updating der Ausgangsgrößen der Produktionsebene erfolgt, werden auch die Prognosen einer ständigen Kontrolle unterzogen. Daher gehen erkennbare Strukturveränderungen des Energiesektors sofort in das Modell ein und verbessern seine Aussagefähigkeit. Änderungen des Endenergieverbrauchssektors werden sich auch kurzfristig in der Energieerzeugung widerspiegeln. Somit ist das Modell auch ohne Feineinteilung der Energienachfrage aussagefähig.

Bei jeder Simulation steht dem Benutzer der prognostizierte Wert als Richtgröße zur Verfügung. Anschließend Simulationen können dann nach dem hier beschriebenen Verfahren durchgeführt werden.

Das folgende Schema verdeutlicht das angewandte Prognoseverfahren. Dabei werden die Werte aller auftretenden Zeitreihen bilanziert.

Zur Zeitreihenanalyse ist im ZBZ ein Verfahren entwickelt worden, das die Approximation mit Laurent-Reihen ermöglicht.

4 Umweltebene

4.1 Schema

Mit Hilfe der Daten Förderung, Umwandlungseinsatz, Verbrauch und Verluste aus der Produktionsebene des Modells erfolgt die Berechnung der Emissionen. Dabei werden zwei Hauptgruppen unterschieden:

1. durch Begleitstoffe der Energieträger bedingte Emissionen (S, F, Cl, Schwermetalle)
2. prozeßbedingte Emissionen (NO_x, CO, C_mH_n, Feststoffe, Wärme, Radioaktivität).

Zu 1.: Hier erfolgt eine Bilanzierung für den Schadstoff Y_m:
Emission des Stoffes Y_m im Bereich B_k =
Emission aus dem Eigenverbrauch +
Emission aus dem Umwandlungsprozeß.

Die beim Eigenverbrauch emittierte Menge ist abhängig vom Anteil des Begleitstoffes im Energieträger, dem Einbindungsgrad des Stoffes in den Verbrennungsrückständen und den Maßnahmen zum Schutz der Umwelt. Die beim Umwandlungsprozeß emittierte Menge ist zusätzlich abhängig von der Umstellung des technischen Verfahrens bei der Umwandlung, der Nutzung des Stoffes (z.B. Schwefelgewinnung bei der Rohölverarbeitung), dem Verbleib des Stoffes in den ausgebrachten Produkten. Alle diese Einflußgrößen werden durch Faktoren bei der Erstellung der Schadstoffbilanz berücksichtigt. Dabei liegen Voreinstellungen der Größen im Modell vor.

Zu 2.: Bei den prozeßbedingten Emissionen ist eine Bilanzierung nicht möglich, da eine zu starke Abhängigkeit von den Verbren-

nungsverhältnissen in der einzelnen Anlage gegeben ist. Daher wird hier mit spezifischen Emissionen gerechnet, die auf den eingesetzten Energieträger bezogen werden.

4.2 Simulationsmöglichkeiten

Der Benutzer des Modells kann folgende Werte ändern:

1. Anteil des Begleitstoffs
z.B. andere Zusammensetzung von Rohöl,
Heizölentschwefelung
2. Maßnahmen zum Schutz der Umwelt
z.B. beim Neubau von öffentlichen Wärmekraftwerken wird eine Rauchgasentschwefelungsanlage mit einem bestimmten Entschwefelungsgrad vorgeschrieben. Die daraus resultierende Änderung der Emissionen wird in der Umweltebene des Modells berechnet.
3. Umstellung auf andere technische Verfahren im Umwandlungsbereich, die z.B. den Einbindungsgrad beeinflussen.
4. Grad der Nutzung des Emissats.

Weitere Simulationen sind im Zusammenhang mit der Produktions- und Kostenebene des Modells möglich.

5 Kostenebene

5.1 Schema

Das Modell der Kostenebene ist so konzipiert, daß es als ersten Rechengang die Ermittlung der Umwandlungskosten der einzelnen Primärenergieträger zu einem bestimmten Zeitpunkt durchführt. Hierbei ist eine prozentuale Aufteilung der einzelnen Faktoren der Gesamtumwandlungskosten möglich (z.B. der Anteil der Kapitalkosten an den Umwandlungskosten beträgt beim Energieträger E_i 12 %). Die Analyse der Kostenstruktur kann erste Anhaltspunkte über Einfluß- und Änderungsmöglichkeiten für die Entscheidungsträger geben.

Eine zusammenhängende Übersicht für die einzelnen Parameter der Kostenebene geben die beiden folgenden Abbildungen.

5.2 Simulationsmöglichkeiten

Bei der Variation einzelner Kostenanteile (z.B. Änderung der Brennstoff-, der Lohn- oder der Anlagekosten, der Besteuerung usw.) können die Auswirkungen dieser Veränderungen innerhalb des Umwandlungsprozesses

- a) auf den Preis des Endproduktes,
- b) auf den Preis anderer Energieträger,
- c) auf das Mengengebot des Energieträgers,
- d) auf die Nachfrage nach einzelnen Energieträgern oder die Nachfrage nach Energie insgesamt untersucht werden.

Ermittlung und Änderung der Kosten von Umweltschutzmaßnahmen.

Durch die Ermittlung der Kosten von Umweltschutzmaßnahmen wird der Investitionsbedarf, der bei der Einführung dieser Maßnahmen erforderlich ist, bestimmt. Das ENIS-Modell kann die Kostenänderungen im Umwandlungsbereich für die einzelnen Energieträger ermitteln und feststellen, wie sie sich auf die folgenden Größen auswirken:

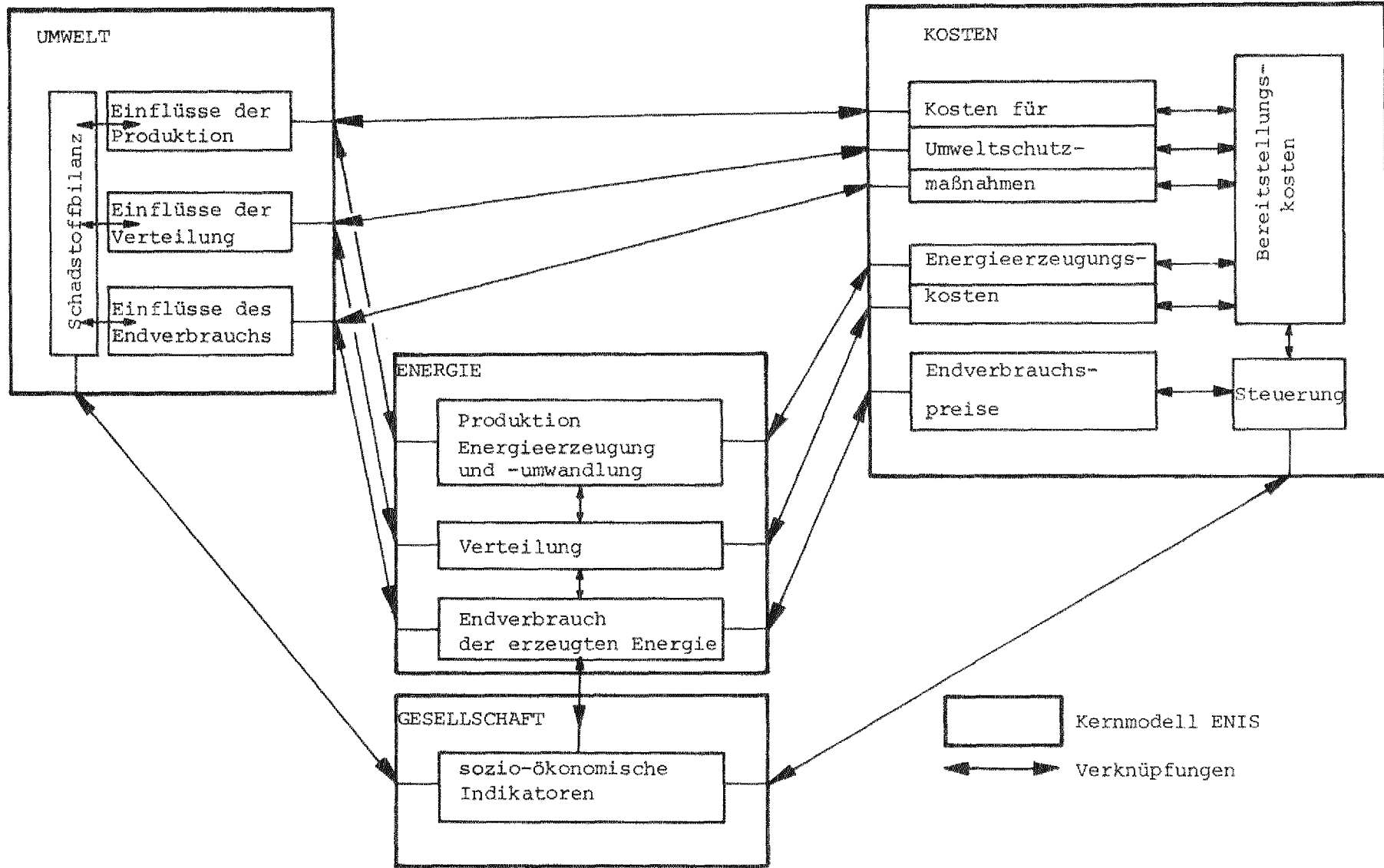
- a) auf die Umwandlungskosten,
- b) auf die Angebotsstruktur,
- c) auf die Standorte der Produktion,
- d) auf den Bau- und Planungszeitraum.

Bei Veränderung der Schadstoffemissionen ließen sich nun die verschärften Bestimmungen des Umweltschutzes auf die oben genannten Punkte untersuchen.

Da einige Energieträger substituierbar sind, kann sich bei gegebenem Endverbrauch die Angebotsstruktur des Energiesektors ändern. Mit Hilfe des Kostenmodells können die Energieerzeugungskosten bei alternativer Änderung der Mengen der einzelnen Energieträger bzw. bei alternativer Änderung der Schadstoffemissionen ermittelt werden. In welchen Grenzen kann der Anteil z.B. von Kraftwerkstypen verändert werden und wie wirkt sich eine Veränderung auf die Gesamterzeugungskosten aus? Mit dem Modell können somit bestimmte Strategien (Umweltschutzstrategien), aber auch politische oder wirtschaftliche Maßnahmen (wie z.B. Besteuerung, Änderung der Importrate oder der Abschreibungsrichtlinien) simuliert werden.

Das Modell ist zwar kein Optimierungsmodell, man kann jedoch durch Probieren herausfinden, welche Zusammensetzung des Energieangebotes z.B. bei bestimmten Emissionswerten vom wirtschaftlichen Standpunkt optimal wäre. Das Ergebnis könnte dann - unter Berücksichtigung der durch die langen Planungs-, Bau- und Erschließungszeiten im Energiesektor bedingten Verzögerungen - für die Erkenntnis von Entwicklungstendenzen genutzt werden.

Abb. 1
 E U S I M
 Energie-Umwelt-Simulations-Modell



ENERGIE

Produktion

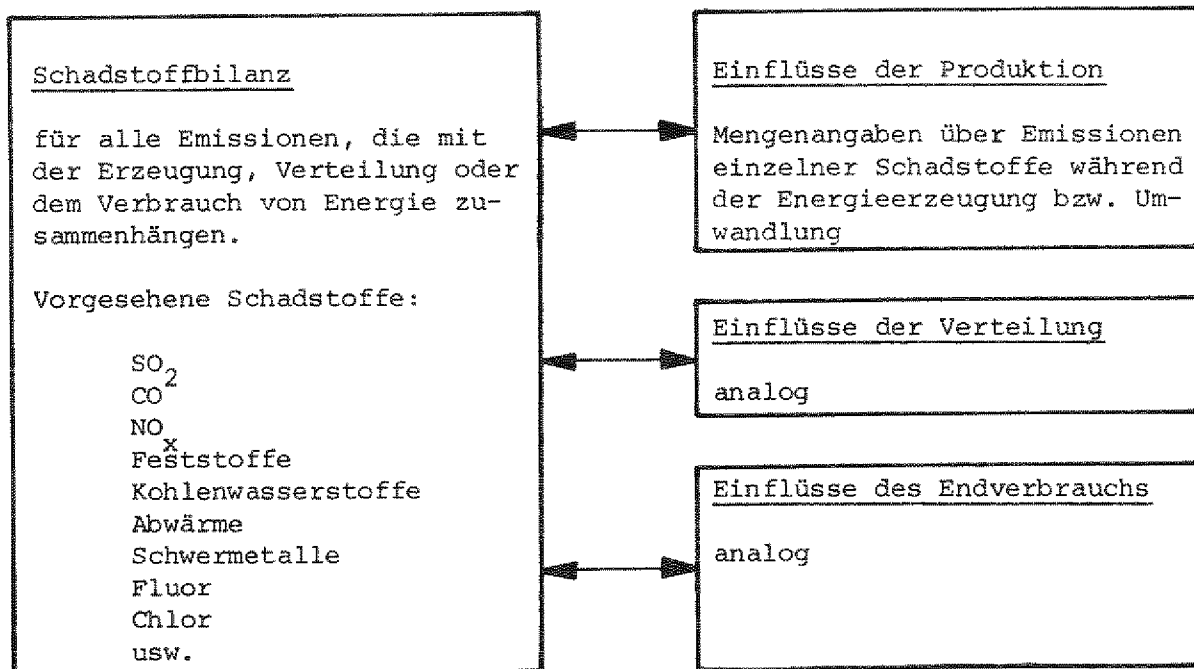
Beschreibung der Energieumwandlung von der Förderung bis einschließlich Umwandlung	Mengenangaben	Kapazitätsaufnahme aller Umwandlungsanlagen
28 Energieträger 25 Bereiche		

Verteilung

Beschreibung der Energieverteilung	Mengenangaben über Leitungsverluste	Kapazitätsaufnahme der Verteilungsnetze (Hochspannungsleitungen, Pipelines)
------------------------------------	-------------------------------------	---

Endverbrauch

Mengenangaben über den Endenergieverbrauch			1) total 2) unterteilt nach Energieträgern		
Sektor Industrie	Sektor H. u. K.	Sektor Verkehr			
Aufstellung einer Industrie- verflechtungsstruktur	analog	analog			
Mengenangaben über den Energieverbrauch einzelner Industriezweige in Abhängigkeit von gesellschaftlichen Indikatoren			(Verknüpfungsmöglichkeiten mit ZIEBUV)		



K o s t e n s c h e m a

I. Kosten im Umwandlungsbereich

1. Leistungsabhängige Kosten
(in Abhängigkeit von der installierten Leistung)
 Jährlicher Kapitaldienst
 Steuern und Versicherung
 Anlagekosten
 Betriebs- und Unterhaltungskosten
2. Arbeitsabhängige Kosten
(in Abhängigkeit von der abgegebenen Energiemenge)
 Brennstoffwärmepreise
 spez. Wärmeverbrauch
 Betriebsmittelkosten
3. Umweltschutzkosten
(in Abhängigkeit von der Emissionsbegrenzung und dem verwendeten Verfahren)
 Kosten für Rauchgasentschwefelung
 Kosten für Brennstoffentschwefelung
 Kosten zur Verminderung von festen Emissionen und Asche
 Kosten zur Beseitigung von Abwärme
 Sonstige Umweltschutzmaßnahmen

Umwandlungskosten (sind bereits erarbeitet im ENIS-Modell)

II. Kosten innerhalb des Verteilungsbereichs

1. Leitungsgebundene Kosten
(in Abhängigkeit von der Leitungslänge)
 Jährlicher Kapitaldienst
 Steuern und Versicherung
 Spez. Kosten der Leitung
 Kosten und Verluste
 Jährliche Betriebszeit der Leitung
2. Nicht leitungsgebundene Kosten
(in Abhängigkeit vom Transportweg)
 Unterer Heizwert des Brennstoffs
 Transportgebühr
3. Umweltschutzkosten

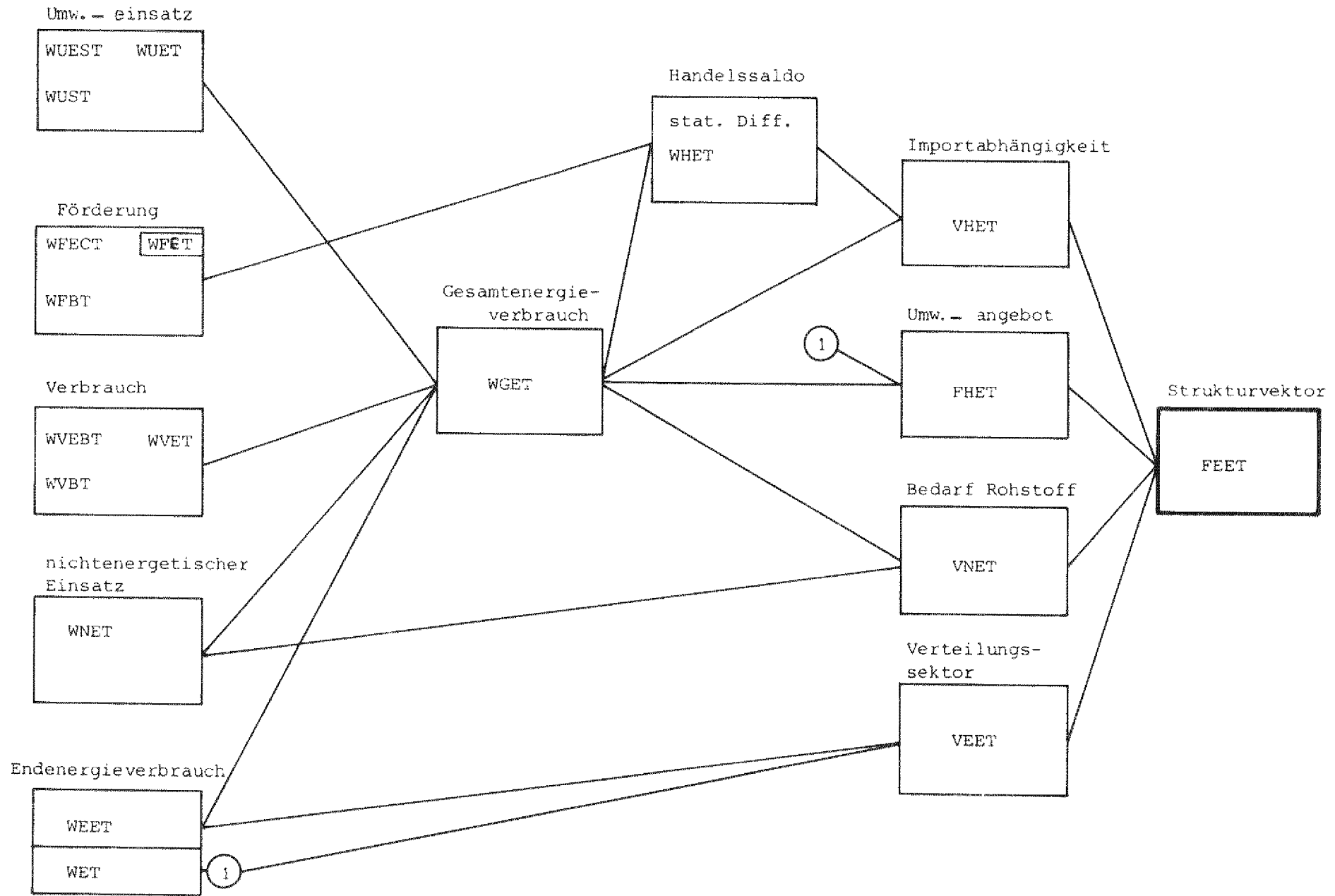
Verteilungskosten

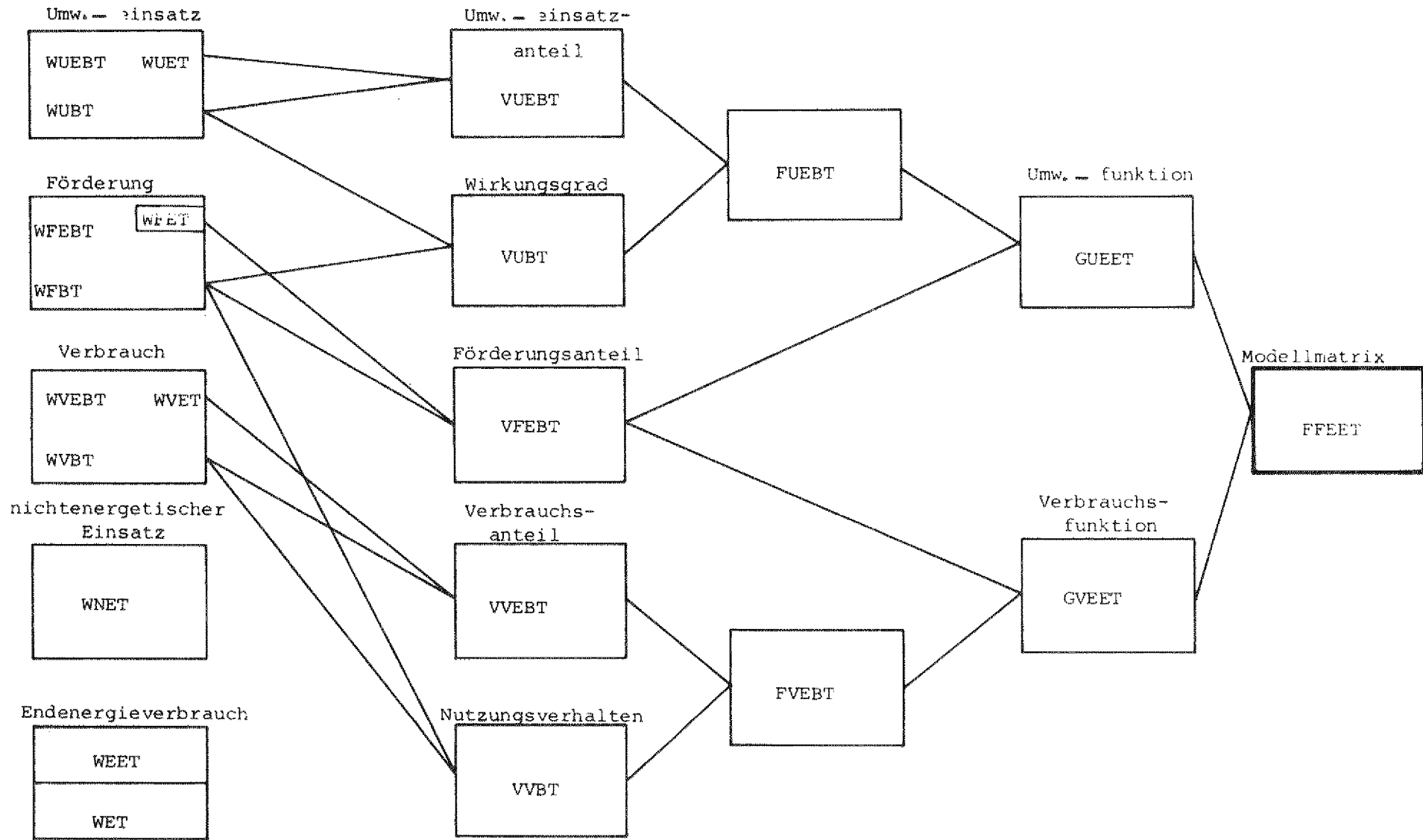
III. Kostensteuern bzw. Subventionen

Mineralölsteuer
Heizölsteuer
Mehrwertsteuer
Steinkohlepfennig

IV. Differenzbetrag (z.B. Gewinn)

I + II + III + IV = Endverbraucherpreise



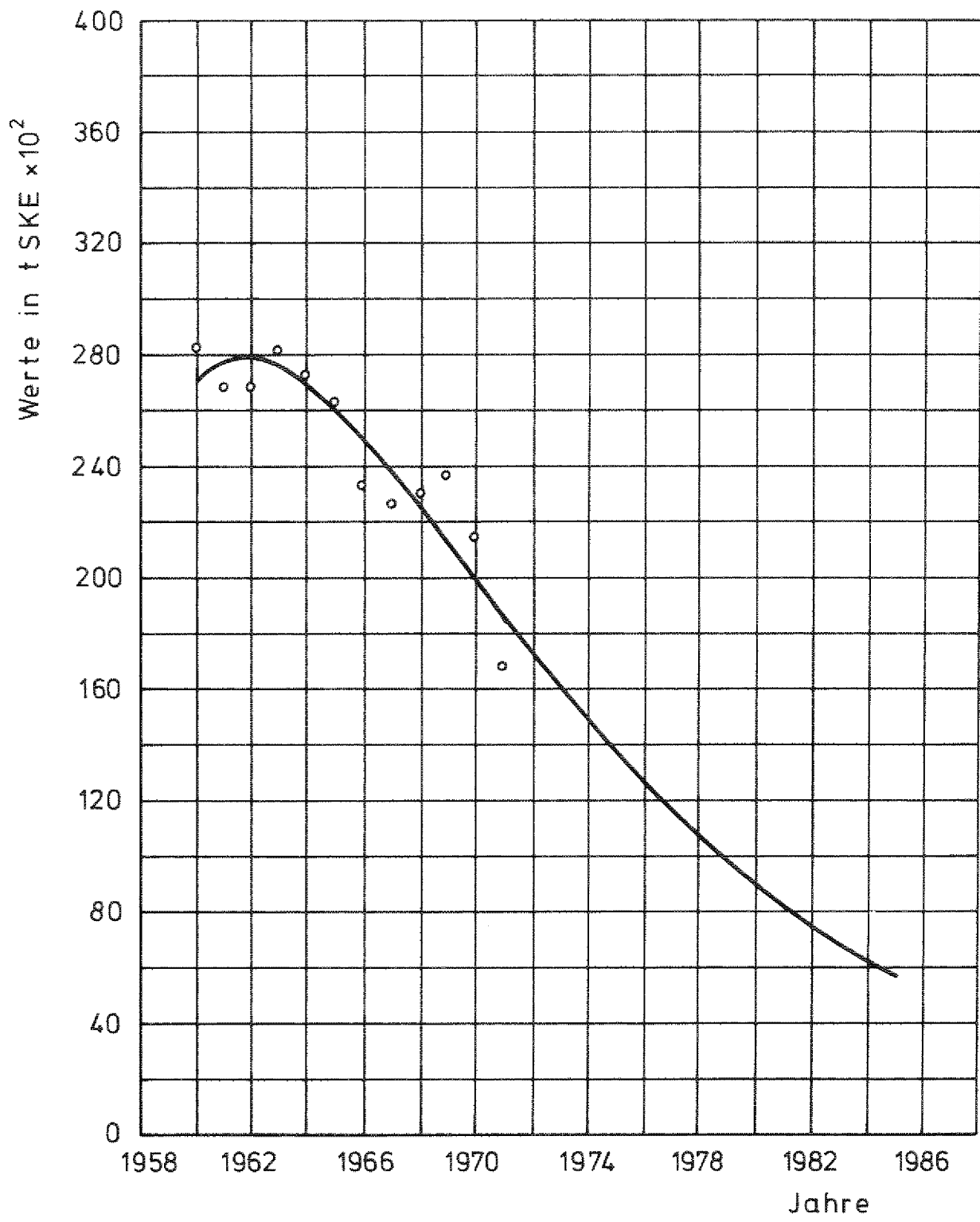


PROGNOSEVERFAHREN

Energieträger Bereiche	Steinkohle	Braunkohle	Rohöl	Kernenergie	Summe
<u>Rohenergiegewinner</u> Braunkohlengruben . . Speicherwasserkraftwerke <u>Umwandlungsbereich</u> Braunkohlenbrikettfabriken . . Wärmekraftwerke . . Kernkraftwerke	$f_j(t)$				$f_k(t)$
Summe	$f_i(t)$				$f(t)$

151

Approximation und Extrapolation aller im Schema auftretenden Zeitreihen.
 Abstimmung der Extrapolationen der Einzelreihen (Energieträger-Bereich-Kombinationen)
 mit den Extrapolationen der Summen (Energieträger, Bereiche, Gesamtsummen)

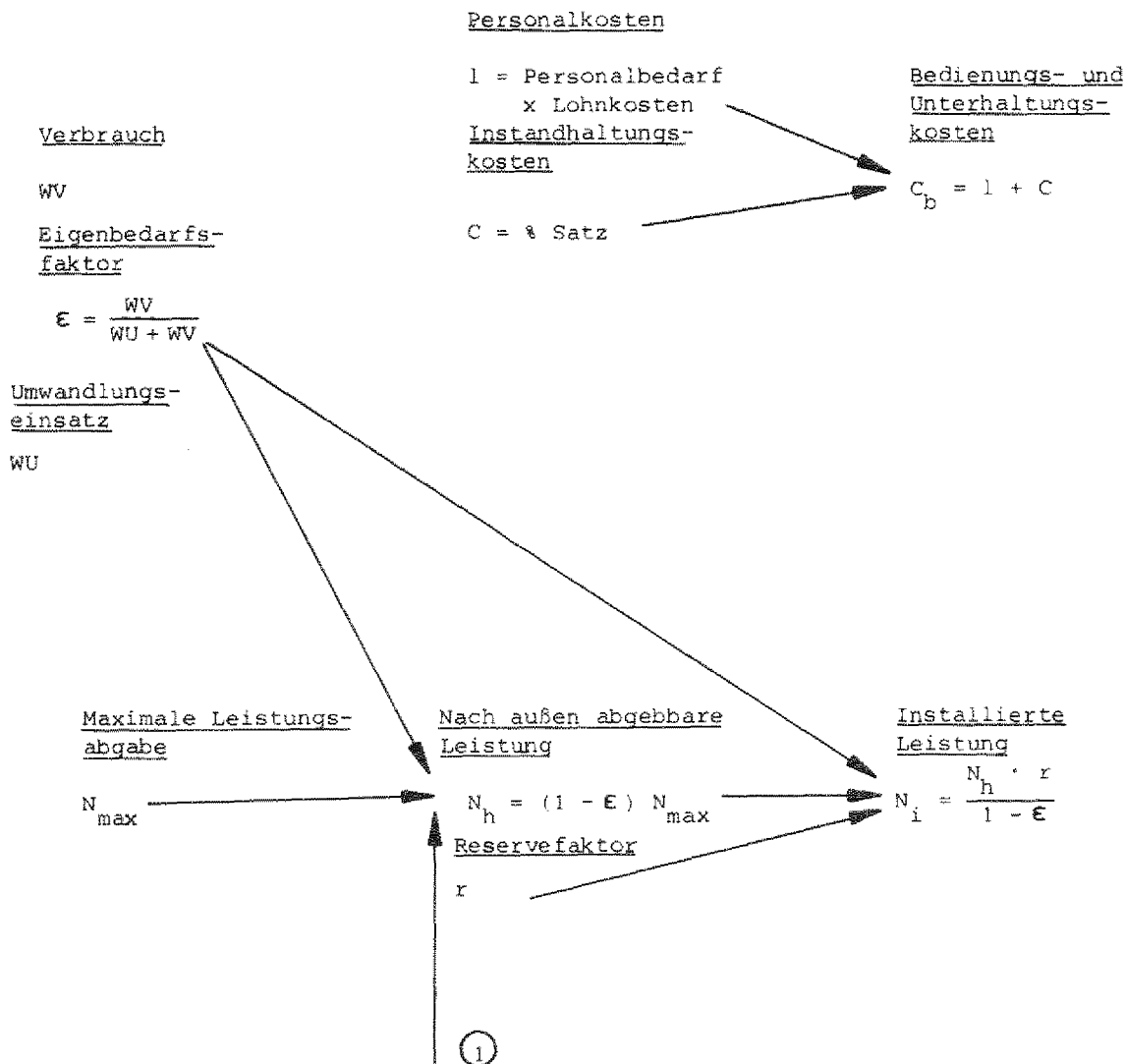
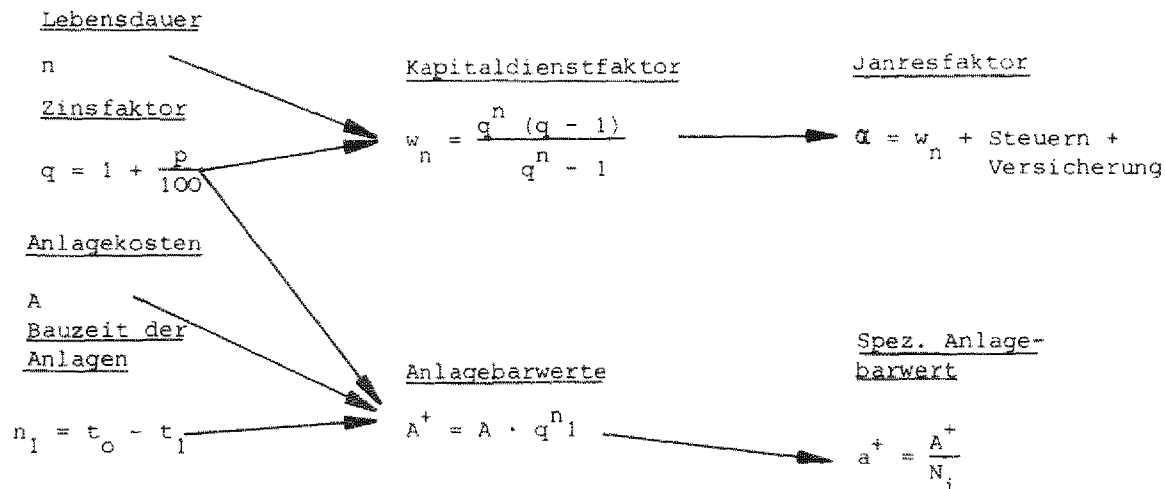


◦ Werte der Zeitreihe

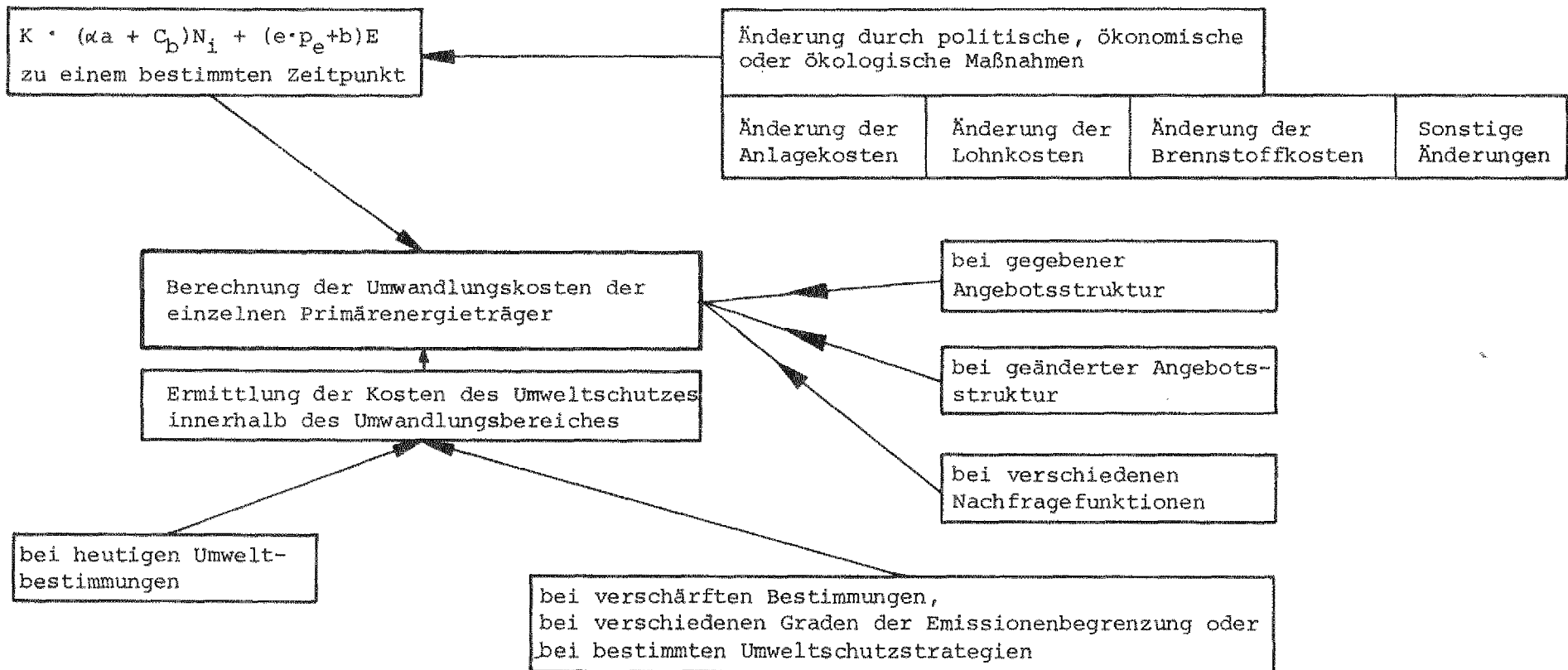
Steinkohlenkoks

Leistungsabhängige Kosten

$$= (\alpha \cdot a^+ + c_b) N_i$$



Simulationsmöglichkeiten des Kostenmodells



4

DISKUSSION

- R. Quack, Universität Stuttgart: Um Modelle zu erhalten, die nicht nur praktikabel, sondern auch technisch sinnvoll und richtig sind, ist Teamwork zwischen Mathematikern, Volkswirtschaftlern und Ingenieuren notwendig. Ich stelle erfreut fest, daß - wie einige der bisherigen Referate und Diskussionsbemerkungen gezeigt haben - Mathematiker und Volkswirte schon zahlreiche Worte des technischen Fachjargons verwenden. Es ist aber auch notwendig, daß Ingenieure die Bedeutung einiger volkswirtschaftlicher Begriffe und Modeworte lernen. Allerdings drängt sich bei der Vorstellung einer größeren Zahl von Modellvorschlägen anlässlich dieses Arbeitsseminars der Eindruck auf, daß einer Überarbeitung dieser Vorschläge durch Ingenieure eine Abklärung der volkswirtschaftlichen und mathematischen Gesichtspunkte vorangehen sollte. Es erscheint möglich, daß durch Kombination der guten und Ausmerzung von schwachen Stellen der vorgetragenen Modelle eine geringere Zahl ausgereifterer Modelle zur technischen Überprüfung vorgelegt werden könnte. Dazu wäre zweckmäßig, daß sich eine Stelle - im Einvernehmen mit dem finanzierenden BMFT - dieser klärenden und koordinierenden Aufgabe unterziehen würde (siehe auch Vorschlag von Prof. Häfele).
- R. Schulten, KFA Jülich: Ich glaube, daß dieses Arbeitsseminar zu diesem Anliegen sehr viel beitragen wird. Solche Tagungen werden den von Ihnen gewünschten Zielen sehr dienen.
- H.D. Harig, RWE Essen: Eingangs wurde im Vortrag erwähnt, daß Umweltschutzmaßnahmen im Hinblick auf ihre kostenmäßige Tragbarkeit für die Gesellschaft einbezogen werden müßten. Das Modell scheint aber nach meinem Eindruck am Ende des Vortrags nicht in der Lage zu sein, Cost/Benefit-Analysen von Umweltschutzmaßnahmen zu machen, da auch Sie die eventuellen Umweltschäden nicht quantifizieren können.
- J. Bürstenbinder, ZBZ, Berlin: Wir können sicher nicht medizinische Bewertungsprobleme von Emissionen lösen. Was wir können, ist, Angaben über Emissionen, Kosten zur Reduzierung der Emission auf ein bestimmendes Maß und Energieumwandlungskosten bereitstellen. Mehr Aussagen sind mit dem bisherigen Modell ENIS nicht möglich. Bewertungsprobleme (Kosten-Nutzen-Analyse) sollen unserer Mei-

nung nach außerhalb des Simulationsmodells in einem Zielsystem bearbeitet werden. Dieses Zielsystem ist noch nicht Bestandteil des Projektes.

H. Tröscher, RWE Essen: Wenn man ein Modell unterteilt in einen Methoden- und Datenbankteil, so erscheint mir, daß ENIS seine Stärke im Datenbankteil hat, im Gegensatz zu dem Modell von Herrn Voß, das seine Stärke im Methodenteil hat. Aus der Sicht der einzelnen EVUs wäre es deshalb interessant, Zugriffe zu den Daten von ENIS zu haben. Besteht dafür eine Möglichkeit?

J. Bürstenbinder: Unser Projekt wird vom BMFT gefördert, und mit dem Förderer müßte man absprechen, inwieweit diese Daten allgemein zugänglich sind, sie müßten von der Grundannahme aus allgemein zugänglich sein.

J. Bugl, BBC Mannheim: Ich würde Ihnen doch empfehlen, Herr Bürstenbinder, die radioaktiven Emissionen in Ihren Arbeiten zu berücksichtigen. Ich glaube, das können Sie ohne weiteres, wenn auch aus der Energiebilanz nur die Kernkraftwerke als Block hervorgehen. Sie brauchen keine Unterteilung in verschiedene Reaktorsysteme, und die Herren aus Jülich haben das ja auch berücksichtigt.

W. Lenz, VDI Düsseldorf: Wie weit sind die Grenzwerte für die Emissionen, die in der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TAL) gegeben sind, im Modell berücksichtigt?

J. Bürstenbinder: Die von der TA Luft vorgeschriebenen Werte werden dem Benutzer zum Vergleich mit den Ergebnissen der Simulation zur Verfügung gestellt.

U. Bossel, DFVLR, Porz-Wahn: Herr Bürstenbinder, die Definition der Energienutzung wird unter ökonomischen Gesichtspunkten getroffen. Bei einer rationellen Energieverwendung, die z.B. durch Wärmerückgewinn eine Mehrfachnutzung von Energie durch Hintereinanderschaltung verschiedener Prozesse ermöglicht, kann der Nutzungsgrad durchaus größer sein als eins, obwohl die energetischen Wirkungsgrade jedes einzelnen Prozesses kleiner als 1 sind. Eine Gleichsetzung dieser beiden Größen könnte dazu führen, daß die Energiebilanz im ganzen nicht mehr stimmt. Haben Sie diese Unterscheidung berücksichtigt, bzw. wie kann man diese unterschiedlichen Definitionen in Energiemodelle einbauen, die letztlich auf dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik aufbauen?

J. Bürstenbinder: Der Wirkungsgrad tritt bei dem ENIS-Modell in der Energieumwandlung auf. Dort sind Wirkungs- und Nutzungsgrad scharf trennbar. Außerdem werden Mengen von Energie-

trägern, die in mehreren Umwandlungsbereichen verwendet werden, auch an mehreren Stellen im Modell auftreten, d.h. restliche Energie bei der Umwandlung verschwindet im Modell nicht spurlos.

W. Gries, CDU, Bonn: Haben Sie einmal untersucht, in welchem Umfange sich in Ihrem Energiemodell eine Fortpflanzung von Fehlern bemerkbar macht?

J. Bürstenbinder: Untersuchungen über Fehlerfortpflanzung gehören unserer Meinung nach zur Erstellung eines Modells. Ohne diese Tests wäre das gesamte Modell fragwürdig.

ENERGIEPROJEKTIONEN
MIT EINEM ÖKONOMETRISCHEN MAKRO- UND INPUT-OUTPUT-MODELL
FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

K. Conrad
Universität Tübingen
Tübingen

1. Einleitung

Im Rahmen eines umfangreichen Forschungsprojektes über Energie und Umwelt, Energiebedarf und Angebot und über die wirtschaftlichen Auswirkungen bei einem Übergang zu neuen Formen der Energiegewinnung, das, angeregt von Prof. Häfele, am IIASA in Laxenburg und am Kernforschungszentrum Karlsruhe durchgeführt wird^{x)}, konzentriert sich ein Teil der Arbeit auf langfristige Projektionen nach der Nachfrage und des Angebots an Energie in der Bundesrepublik bis zum Jahre 2000. Mit Hilfe eines ökonomischen Gesamtmodells sollen im Zusammenhang mit der Wechselwirkung von wirtschaftlichem Wachstum und Energieeinsatz Anhaltspunkte für die Entwicklung der Energiesituation gewonnen werden. Von Interesse ist dabei nicht nur die konventionelle Abschätzung der Auswirkung energiepolitischer Maßnahmen und Situationen auf die Nachfrageseite, sondern auch eine detaillierte Einbeziehung der Angebotsseite. Diese Aspekte ließen sich mit Hilfe der Input-Output-Analyse von LEONTIEF /1/ berücksichtigen. Diese basiert jedoch auf der restriktiven Annahme, daß die technischen Koeffizienten, d.h. die Verhältnisse der eingesetzten Mengen zur gesamten Produktion des Sektors, über die Zeit konstant bleiben. Diese Annahme ist aber sehr streng, da erwartet werden kann, daß z.B. bei Preisänderungen diese Einsatzverhältnisse variieren werden.

Ein neuer Ansatz zur quantitativen Analyse der Energiesituation und der Auswirkungen energiepolitischer Maßnahmen ist an der Harvard Universität von Prof. JORGENSON unter Mitwirkung der Professoren E.R. BERNDT, L.R. CHRISTENSEN und E. HUDSON entwic-

x) Genauer: International Institute for Applied Systems Analysis, Schloß Laxenburg, Österreich, und Institut für Angewandte Systemtechnik und Reaktorphysik am Kernforschungszentrum Karlsruhe.

kelt worden /2/. Dieser Ansatz basiert auf dem Zusammenwirken von ökonomischer Modellbildung und Input-Output-Analyse mit preisabhängigen Input-Output-Koeffizienten. Das Modell projiziert die Nachfrage und das Angebot an Energie bis zum Jahre 2000 unter der Annahme, daß keine neuen Wege in der Energiepolitik beschritten werden oder neue Energiekrisen die Energieversorgung verteuern. In einer weiteren Stufe des Projektes kann dieses Modell dann als Bezugspunkt verwendet werden, um alternative energiepolitische Strategien abzuschätzen und die Auswirkungen von Energiepreisänderungen auf das Angebot und die Nachfrage nach Energie zu untersuchen.

Neben diesen kurz skizzierten Vorzügen des Modells spricht noch die wirtschaftstheoretische Fundierung der quantitativen Ansätze und die schon bestandene Bewährungsprobe der Anwendbarkeit des Modellansatzes bei der Projektion der amerikanischen Energieentwicklung dafür, das Jorgenson-Hudson-Modell /3/ auf die Bundesrepublik zu übertragen. Als nicht unwesentlich kommt noch hinzu, daß ich zwei Jahre im Cambridge mit Prof. Jorgenson zusammengearbeitet habe und daher mit den von ihm bevorzugten wirtschaftstheoretischen und ökonomischen Ansätzen vertraut bin, alle Computerprogramme zur Verfügung gestellt bekam und auch über die weiteren Arbeiten ständig informiert werde wie z.B. eine dynamische Version des Energiemodells, eine Verknüpfung des Modells mit dem "Brookhaven Energy System Optimizing Model" von Prof. Hoffman und die Koppelung nationaler Modelle zu einer Simulation des Weltenergiemarktes.

Der Engpaß, der mich zwingt, hier nur über die Methoden und nicht auch über die Ergebnisse zu referieren, besteht in der Beschaffung des Datenmaterials. Dieses soll beim Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) in Auftrag gegeben werden.

2. Das Energiemodell und seine Teilmodelle

Das Energiemodell für die Bundesrepublik wird aus vier Komponenten bestehen:

1. Ein makroökonomisches Wachstumsmodell für langfristige Projektionen.
2. Ein Modell des Produzentenverhaltens für 14 Wirtschaftszweige.
3. Ein Modell des Konsumentenverhaltens zur Aufteilung des privaten Verbrauchs.
4. Ein Input-Output-Modell zur Analyse der interindustriellen Verflechtung zwischen Energie- und Nicht-Energiesektoren, das die Modelle 1. bis 3. als Bestandteile einschließt.

Der Kern des Gesamtmodells sind die jährlichen Input-Output-Modelle in konstanten und laufenden Preisen. Anstatt den Energieverbrauch losgelöst von der gesamtwirtschaftlichen Verflechtung zu analysieren, beginnen wir mit einer Studie der gesamten Volkswirtschaft und gehen von dieser Studie zu einer detaillierten Analyse des Energiesektors über. Dieser Wirtschaftszweig mit seinen Teilsektoren Kohlenbergbau, Erdölgewinnung, Elektri-

zitätswirtschaft, Gaswirtschaft und Mineralölverarbeitung bildet mit den übrigen Wirtschaftszweigen der Volkswirtschaft im Rahmen der interindustriellen Verflechtung ein Netz von vielfältigen Transaktionen. Die Betrachtung dieser interindustriellen Verflechtung ist für eine Analyse des Energiesektors wesentlich, da die meiste Energie nicht als Endprodukt konsumiert wird, sondern als Zwischenprodukt in den Produktionsprozeß eingeht. Ein Beispiel für die Zwischennachfrage ist der Kohleverbrauch in der Eisenschaffenden Industrie und in der Elektrizitätswirtschaft, ein Beispiel für die Endnachfrage der Heizöl- und Benzinverbrauch der Haushalte. Das interindustrielle Verflechtungsmodell oder Input-Output-Modell erlaubt die Analyse der gesamten Produktionsstufen vom Kauf der Primärfaktoren über die verschiedenen Zwischenstufen der Produktion bis zur Erstellung des Endprodukts, welches schließlich in die gesamtwirtschaftliche Endnachfrage als Konsumgut, Investitionsgut, Exportgut oder als Staatsverbrauch eingeht.

In Anlehnung an die Sektorenbildung des DIW haben wir die Unternehmen in 14 Produktionssektoren gegliedert. Jeder dieser Sektoren kauft Primärfaktoren und Vorleistungen von anderen Sektoren und verkauft selbst Zwischenprodukte an andere Sektoren und Fertigprodukte an die Endnachfrage. Die Lieferverflechtung zwischen den Wirtschaftszweigen ist in der Tabelle 1 skizziert. Die ersten fünf Sektoren sind das Ergebnis der Disaggregation des Energiesektors, die Sektoren 6 bis 10 umfassen Wirtschaftszweige der Grundstoffverarbeitung, der Investitionsgütererzeugung und des Verkehrs, und die Sektoren 11 bis 14 zählen wir zu den weniger energieverbrauchenden Wirtschaftszweigen.

Für jeden der 14 Sektoren des Modells wird ein System von Nachfragegleichungen nach den Produkten der übrigen Sektoren als Inputs und eine Angebotsgleichung für das Produkt des jeweiligen Sektors entwickelt. Marktgleichgewichtsbedingungen sorgen dafür, daß die Nachfrage nach einem Produkt für die Verwendung als Vorleistung und Endprodukt gleich ist dem Angebot dieses Produkts. Außerdem muß der Wert der zur Verfügung stehenden Produktion eines Sektors gleich sein dem Wert seiner Vorleistungen, der Wertschöpfung und dem konkurrierenden Import.

Die wesentlichen Bestandteile des Input-Output-Modells sind die Input-Output-Koeffizienten und die Größen der Endnachfrage. Die Höhe der Endnachfrage nach den Produkten der Sektoren entnehmen wir einem ökonomischen Makromodell. Dieses Wachstumsmodell ist ein weiterer Bestandteil des Gesamtmodells für die Erstellung von Energieprojektionen. Das Makromodell besteht aus Angebotsgleichungen für Investitionsgüter, Konsumgüter und Exportgüter und aus Nachfragegleichungen für die Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Importe. Gleichungen für die Konsumgüternachfrage und das Arbeitsangebot repräsentieren das Konsumentenverhalten. Das Makromodell in 20 Gleichungen, das schon geschätzt vorliegt /4/, basiert auf dem Jorgenson-Ansatz, die Bestimmungsfaktoren der Nachfrage mit den Bestimmungsfaktoren des Angebots in ein und demselben Modell zu integrieren /5/. Die Kumulierung der Investitionen zur Erhöhung des Kapitalstocks in der nächsten Periode sorgt für die dynamische Struktur des Modells. Es projiziert die Produktion an Konsumgütern, Investitionsgütern und Exportgütern, die Höhe der Importe, das Arbeits-

und Kapitaleinkommen sowie deren relative Preise. Die Aufteilung der Exportgüter- und Investitionsgütermengen auf die diese Güter produzierenden Sektoren wird exogen vorgenommen. Ebenso werden die Käufe des Staates für Investitionszwecke und für den Staatsverbrauch exogen auf die Sektoren aufgeteilt. Exogen vorgegeben sind auch die Preise für konkurrierende Importe und für nicht konkurrierende Energieimporte. Die Importmengen für die fünf Energiesektoren bestimmen wir, indem wir von der Importgröße des Makromodells die einzelnen Energieimporte mit exogenen Sätzen abspalten. Die konkurrierenden Importe für die neun Nicht-Energiesektoren bestimmen wir zusammen mit den Mengen an Kapital und Arbeit im Input-Output-Modell.

Die Input-Output-Koeffizienten werden aus den Produktionsmodellen für die 14 Sektoren hergeleitet. Diese sektoralen Produktionsmodelle basieren auf Preistransformationskurven. Diese beschreiben den Outputpreis je Sektor als Funktion der Inputpreise und einem Technologieindex des Sektors. Die Preise für die Primärinputs werden dabei dem Makromodell entnommen. Die Spezifizierung als Funktion in den Preisen beinhaltet dieselbe Information bezüglich der Erfordernisse an Vorleistungen, der Komplementarität und der Substituierbarkeit wie der mehr bekannte Ansatz über Produktionsfunktionen in den Mengen. Die simultane Lösung der 14 Preistransformationskurven bestimmt 14 Outputpreise. Dieses Preissystem ist ein Gleichgewichtspreissystem von minimalen Preisen, die jeder Sektor erhebt, um seine Kosten inklusive einer Kapitalverzinsung zu decken. Gleichzeitig sorgt der Marktprozeß für eine Abstimmung von Preisen und Mengen derart, daß alle Produktmärkte geräumt sind. Die Ansätze führen explizit die Möglichkeit ein, daß der Produzent auf die vorherrschende Struktur der relativen Preise reagiert, indem er innerhalb der gegebenen Möglichkeiten relativ billigere Inputs für relativ teurere substituiert. Auf diese Weise ist im Modell ein entscheidender wirtschaftlicher Vorgang eingebaut, nämlich die Reaktion der Einsatzverhältnisse auf Preisänderungen. Dadurch entfällt die konventionelle Annahme fixer Input-Output-Koeffizienten und ein Modell mit endogenen, preisabhängigen Koeffizienten bestimmt die Input-Struktur.

Nach der Analyse der Produktionsbeziehungen und der Bestimmung der Outputpreise nehmen wir die Aufteilung des privaten Verbrauchs auf die Produkte der Sektoren vor. Dazu wird ein Modell für den Haushaltssektor mit log-linearer Nutzenfunktion verwendet. Die Ausgaben für den privaten Konsum setzen sich zusammen aus den Käufen von den 14 Sektoren, dem Wert der Wohnungsvermietung, dem Nutzwert von dauerhaften Konsumgütern und den Importen. Die Höhe der Lieferungen je Sektor an die privaten Haushalte hängt ab von den projizierten Konsumausgaben des Makromodells, den Preisen der Produkte der Sektoren, den exogenen Importpreisen und von dem vom Makromodell bestimmten Preis für die Kapitalnutzung als Preis für die Wohnungsvermietung und die Nutzung dauerhafter Konsumgüter.

Nach der Skizzierung der einzelnen Teilmodelle ist noch der Ablauf des Lösungsprozesses im Gesamtmodell festzulegen. Wir beginnen mit der Bestimmung eines die Produktmärkte räumenden Gleichgewichtspreissystems und mit Preisen für die Primärinputs.

Als nächstes ermitteln wir die zu diesem Preissystem gehörenden Input-Output-Koeffizienten und nehmen die preisabhängige Aufspaltung der Ausgaben für den privaten Verbrauch vor. Aus der Gleichheit von Angebot und Nachfrage lassen sich als nächstes die sektoralen Outputs und die Vorleistungen bestimmen, die zur Befriedigung der Endnachfrage erforderlich sind.

Als Ergebnis der Modellanalyse erhalten wir die Lieferpreise für die Energie- und Nicht-Energiesektoren und die Verflechtungstabelle der Transaktionen zwischen den Sektoren in laufenden und konstanten Preisen. Damit erhalten wir gleichzeitig auch Auskunft über die Energieströme in Mengen und Preisen. Denn die bisherigen Ergebnisse können noch ausgebaut werden, indem man die Energieströme in Einheiten umrechnet, die üblicherweise in der Energieplanung verwendet werden; und zwar in British Thermal Units (Btu) oder in Steinkohleeinheiten (SKE), in physikalische Einheiten und in Energiepreise je physikalische Einheit. Die Information in Form von SKE (oder Btu) erhält man, indem man die bekannten Werte für den SKE-Gehalt je Energieart in DM des Basisjahres einsetzt, das Volumen in physikalischen Einheiten ergibt sich aus der Verwendung gegebener physikalischer Einheiten pro Energieart in DM des Basisjahres, und Energiepreise je physikalische Einheit lassen sich aus dem Verhältnis der Preisindizes des Modells zu den Preisindizes des Basisjahres berechnen.

3. Input-Output-Beziehungen

Wir beschreiben zuerst das Input-Output-Modell und beginnen mit einer Erklärung der Symbole, die wir verwenden werden:

- X_{ij} Nachfrage nach dem Output des Sektors i zur Verwendung als Vorleistung im Sektor j
- $X_{ij} = E_{ij}$ für die Sektoren $i=1, \dots, 5$ mit E für Energie
- $X_{ij} = M1_{ij}$ für die Sektoren $i=6, \dots, 10$ mit $M1$ für Material 1
- $X_{ij} = M2_{ij}$ für die Sektoren $i=11, \dots, 14$ und $i=15$ für konkurrierende Importe mit $M2$ für Material 2.
($j=1, 2, \dots, 14$)
- Y_i Endnachfrage nach dem Output des Sektors i
- X_i die zur Verfügung stehende Produktion des Sektors i
- P_i Preis für X_i .

Die Gleichungen des Input-Output-Modells erfordern die Gleichheit von Angebot und Nachfrage für jeden der 14 Sektoren. Die Gleichgewichtsbedingungen lauten:

$$(1) \quad X_i = \sum_{j=1}^{14} X_{ij} + Y_i \quad i=1, 2, \dots, 14.$$

Ferner gehören zum Modell Identitäten des Rechnungswesens, welche die Gleichheit zwischen dem Wert der zur Verfügung stehenden Produktion einerseits und der Summe der Werte der Zwischenprodukte von den anderen Sektoren, der Wertschöpfung des Sektors und, im Falle der Nicht-Energiesektoren, dem Wert der konkurrierenden Importe andererseits verlangt:

$$(2) \quad P_j X_j = \sum_{i=1}^{14} P_i X_{ij} + PKD_j \cdot KD_j + PLD_j \cdot LD_j + PR_j \cdot R_j$$

$$j=1, 2, \dots, 14.$$

Es bedeuten:

KD_j Menge an Kapitaldiensten im Sektor j
 LD_j Menge an Arbeit im Sektor j
 R_j konkurrierende Importe für den Output des Sektors j
 PKD_j Preis der Kapitaldienste im Sektor j
 PLD_j Preis der Arbeit im Sektor j
 PR_j Preis der konkurrierenden Importe R_j

Im Falle der nichtkonkurrierenden Energieimporte, d.h. für die Sektoren $i=1, \dots, 5$ müssen wir zwischen dem endogenen Produktionspreis P_i^{inl} für die inländische Produktion X_i^{inl} als sektoralen Output einerseits und dem Preis P_i der zur Verfügung stehenden Produktion X_i andererseits unterscheiden. Diese Unterscheidung ist notwendig, da in der Bundesrepublik Energieimporte (z.B. Rohöl) im Gegensatz zu konkurrierenden Importen nicht durch vermehrte heimische Produktion substituiert werden können. Die Gleichgewichtsbedingungen (1) werden abgeändert zu:

$$(1.2) \quad X_i = X_i^{inl} + X_i^{Imp} = \sum_{j=1}^{14} X_{ij} + Y_i \quad i=1, \dots, 5$$

wobei der Energieimport X_i^{Imp} vom projizierten Gesamtimport des Makromodells abgespalten wird. Die Identität (2) lautet nun:

$$(2.2) \quad P_j^{inl} X_j^{inl} = \sum_{i=1}^{14} P_i X_{ij} + PKD_j \cdot KD_j + PLD_j \cdot LD_j$$

und

$$(2.3) \quad P_j X_j = P_j^{inl} X_j^{inl} + P_j^{Imp} X_j^{Imp} \quad j=1, \dots, 5.$$

Der Outputpreis P_j ist jetzt ein gewichteter Durchschnitt aus dem endogenen inländischen Produktionspreis P_j^{inl} und dem exogenen Importpreis P_j^{Imp} . Die Gewichte sind die jeweiligen Anteile am gesamten Angebot:

$$P_j = P_j^{inl} \frac{X_j^{inl}}{X_j} + P_j^{Imp} \frac{X_j^{Imp}}{X_j} \quad j=1, \dots, 5.$$

Für die Analyse ist es von Bedeutung, neben den zeilenweisen Outputpreisen P_i auch die felderweisen Preisindizes P_{ij} ($i=1,2, \dots, 14$, $j=1, \dots, 19$) zu kennen, da gerade sektorale Preisdifferenzierungen die Zusammensetzung der Inputs und der Endnachfrage beeinflussen können. Sind uns derartige Preisdifferenzierungen bekannt, so führen wir eine Beziehung zwischen dem Inputpreis P_{ij} ein, den der Sektor j für eine Einheit der Vorleistung X_{ij} vom Sektor i bezahlt, und zwischen dem Outputpreis P_i :

$$P_{ij} = f_{ij} \cdot P_i.$$

Die f_{ij} sind exogen vorgegebene Anteilsätze, die der Sektor i für die Lieferung an den Sektor j anwendet. Findet keine Preisdifferenzierung statt, so ist $f_{ij} = 1$. In der Beziehung (2) müßten demnach bei ausführlicher Symbolik die P_i durch P_{ij} ersetzt werden. Ferner stehen die Preise PKD_i und PLD_i in fester Relation zu den vom Makromodell erzeugten Preisen für Arbeit (PLD) und Kapital (PKD).

4. Die Produktionsstruktur

Die Produktionsstruktur im Input-Output-Modell ist von BERNDT und JORGENSON /6/ unter dem Gesichtspunkt konzipiert worden, Nachfrage und Angebot an Energie nicht aus der Trendextrapolation zu bestimmen, sondern als endogene Variable innerhalb des Modells zu ermitteln. Die ökonometrischen Modelle zur Erklärung des Produzentenverhaltens in jedem der 14 Sektoren zielen darauf ab, die relativen Nachfragefunktionen nach Primärinputs und den Vorleistungen der Energie- und Nicht-Energiesektoren zu bestimmen und die relative Angebotsfunktion für das Produkt des Sektors anzugeben. Jeder Sektor des Modells produziert ein Gut und bezieht 17 Inputs - 14 Inputs von den Sektoren sowie Arbeit, Kapital und konkurrierende Importe. Wir nehmen an, daß jeder Sektor Kostenminimierung bei vollständigem Wettbewerb betreibt. Für den j-Sektor ($j=1, \dots, 14$) lautet das Problem:

$$(3) \quad \text{Minimiere } \left(\sum_{i=1}^{17} P_{ij} X_{ij} - P_j X_j \right)$$

unter der Gültigkeit einer Einheitskostenfunktion P_j (oder Preis-transformationskurve) als Aggregat der Inputpreise:^j

$$(4) \quad A_j \cdot P_j = F_j(P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{17j}).$$

A_j ist ein Technologieindex für den Sektor j , P_{1j} bis P_{14j} sind die Inputpreise, P_{15j} ist der Preis der konkurrierenden Importe, P_{16j} der Preis der Arbeit, P_{17j} der Preis des Kapitalinputs und P_j der kostenminimierende Outputpreis. Wie schon erwähnt, wird im Falle der Energiesektoren zuerst der kostenminimierende Preis für die inländische Produktion bestimmt und dann der Outputpreis P_j mittels Gewichtung des inländischen und des Importpreises ermittelt.

Die Preistransformationskurve ist eine in den Logarithmen quadratische Funktion /7/:

$$(5) \quad \ln P_j = \sum_{i=1}^{17} \alpha_i \ln P_{ij} + \sum_{i=1}^{17} \sum_{k=1}^{17} \beta_{ik} \ln P_{ij} \ln P_{kj} - \ln A_j$$

Die notwendigen Bedingungen für ein Minimum lauten:

$$(6) \quad \frac{P_{ij} X_{ij}}{P_j X_j} = \alpha_i + \sum_{k=1}^{17} \beta_{ik} \ln P_{kj} \quad i=1,2,\dots,17.$$

Der produktionstheoretische Ansatz und die Identität

$$P_j X_j = \sum_{i=1}^{17} P_{ij} X_{ij}$$

implizieren folgende Parameterrestriktionen:

$$\sum_{i=1}^{17} \alpha_i = 1, \quad \beta_{ki} = \beta_{ik} \quad \text{und} \quad \sum_{i=1}^{17} \beta_{ik} = 0.$$

Über die Schätzung der relativen Nachfragefunktionen (6) können als nächstes die Parameter der aggregierten Einheitskostenfunktion (5) bestimmt werden. Sind die Parameter ermittelt, so führt man in (5) die Outputpreise P_i ein, indem man die Beziehung

$$P_{ij} = f_{ij} P_i \quad i=1,\dots,17, \quad j=1,\dots,14$$

berücksichtigt. Die Funktion (5) in den Preisen P_i lautet dann:

$$(7) \quad \ln P_j = \sum_{i=1}^{17} \hat{\alpha}_i \ln f_{ij} P_i + \frac{1}{2} \sum_{i,k}^{17} \hat{\beta}_{ik} \ln f_{ij} P_i \ln f_{kj} P_k.$$

Da die Preise P_{15} , P_{16} und P_{17} vom Makromodell bestimmt werden, haben wir 14 Gleichungen in den 14 Unbekannten P_j ($j=1,2,\dots,14$) zu lösen. Sind diese Preise bestimmt, so erhalten wir aus (6) die preisabhängigen Input-Output-Koeffizienten a_{ij} zu:

$$(8) \quad a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} = \left[\hat{\alpha}_i + \sum_{k=1}^{17} \hat{\beta}_{ik} \ln f_{kj} P_k \right] \frac{P_j}{f_{ij} P_i} \quad i=1,2,\dots,17, \quad j=1,\dots,14.$$

Diese Spezifizierung der Produktionsmodelle beinhaltet Substituierbarkeit und Komplementarität der Inputs, und zwar sowohl zwischen Energieprodukten und Materialprodukten als auch zwischen Energieprodukten und Kapital und Arbeit.

Der Nachteil dieses theoretischen Ansatzes besteht aber darin, daß für empirische Zwecke die zur Verfügung stehenden Zeitreihen nicht lang genug sind, um die 18 Parameter α und β einer Gleichung

chung (6) zu schätzen. Dieses Problem kann umgangen werden, indem man Aggregate wie Energie, Material 1, Material 2, Kapital und Arbeit bildet und deren Substitutionsmöglichkeiten bestimmt. Als nächstes untersucht man dann die Substitutionsmöglichkeiten innerhalb der Aggregate Energie, Material 1 und Material 2. Aus den Preistransformationskurven für jedes der vier Teilmodelle läßt sich dann die Preistransformationskurve (4) des Sektors bestimmen. Wir wollen dies im folgenden nur kurz skizzieren.

Wir definieren vier Teilmodelle, aus denen das ökonometrische Modell für das Produzentenverhalten in jedem der 14 Sektoren besteht:

1. Ein Modell, das die relativen Anteile der 5 aggregierten Inputs - Kapital (K), Arbeit (L), Energie (E), Material 1 (M1) und Material 2 (M2) - am Output bestimmt.
2. Ein Modell, das die relativen Anteile der 5 Energiearten - Kohle (1), Erdölgewinnung (2), Elektrizität (3), Gas (4), Mineralölverarbeitung (5) - innerhalb des Energieaggregats E bestimmt.
3. Ein Modell, das die relativen Anteile der 5 Arten des Materials 1 - Chemie (6), Eisen (7), Maschinen (8), Elektrotechnik (9) und Verkehr (10) - innerhalb des Material-1-Aggregats M 1 bestimmt.
4. Ein Modell, das die relativen Anteile der 5 Arten des Materials 2 - Landwirtschaft (11), Nahrung (12), Holz und Bau (13), Handel und Dienstleistung (14) und konkurrierende Importe (15) - innerhalb des Material-2-Aggregats bestimmt.

Demnach beginnen wir mit einem Produktionsmodell in den 5 Aggregaten Kapital, Arbeit, Energie und den beiden Materialien und stellen den Preis des Outputs eines Sektors als Funktion der Preise der 5 Aggregate dar. Im nächsten Schritt bilden wir dann Preistransformationskurven für den Preis des Aggregats als Funktion der Preise der Komponenten, die das Aggregat gebildet haben. Das Ergebnis ist, daß sich das Produktionsmodell je Sektor aus 4 Teilmodellen zusammensetzt. Jedes Teilmodell besteht aus einem System relativer Nachfragefunktion als notwendige Bedingungen für die Kostenminimierung unter der Gültigkeit der Nebenbedingung in Gestalt einer Preistransformationskurve. Nach der Schätzung der Parameter der Preistransformationskurven über die relativen Nachfragefunktionen bestimmen wir schließlich bei gegebenen Preisen für Kapital, Arbeit und konkurrierende Importe die Outputpreise P_j der 14 Sektoren, indem wir das simultane System der Preistransformationskurven für alle Teilmodelle und Sektoren lösen ($14 \times 4 = 56$ Gleichungen). Um endlich die Input-Output-Koeffizienten des Modells zu erhalten, multiplizieren wir die relativen Anteile und dividieren durch die entsprechenden Preise; z.B. ergibt die Multiplikation des Anteils des Energieaggregats am Output des Sektors j

$$\frac{PE_j \cdot E_j}{P_j \cdot X_j} ,$$

mit dem Anteil der einzelnen Energiekomponente am Energieaggregat,

$$\frac{P_{ij} \cdot E_{ij}}{PE_j \cdot E_j} \quad i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

den relativen Anteil

$$\frac{P_{ij} \cdot E_{ij}}{P_j \cdot X_j}.$$

Aus diesem folgt dann bei Division durch P_{ij}/P_j der Input-Output-Koeffizient i.B. auf den Energiesektor i . Zusammenfassend erhalten wir folgendes System von Input-Output-Koeffizienten:

$$(9) \quad \frac{X_{ij}}{X_j} = a_{ij} (P_1, P_2, \dots, P_{14}, PKD_j, PLD_j, PR_j) \quad (i, j = 1, 2, \dots, 14)$$

$$\frac{KD_j}{X_j} = a_{Kj} (P_1, P_2, \dots, P_{14}, PKD_j, PLD_j, PR_j)$$

$$\frac{LD_j}{X_j} = a_{Lj} (P_1, P_2, \dots, P_{14}, PKD_j, PLD_j, PR_j)$$

$$\frac{R_j}{X_j} = a_{Rj} (P_1, P_2, \dots, P_{14}, PKD_j, PLD_j, PR_j) \quad (j = 1, 2, \dots, 14)$$

5. Endnachfrage

Die Endnachfrage für die zur Verfügung stehende Produktion eines jeden der 14 Sektoren teilt sich auf in privaten Verbrauch, private Bruttoinvestition, Staatsinvestitionen, Verbrauch des Staates und in Exporte. Zur Projektion von Angebot und Nachfrage nach Energie nehmen wir die Werte der Komponenten der Endnachfrage von den Projektionen des Makromodells. Der private Konsum verteilt sich dabei nicht nur auf die 14 Sektoren, sondern auch noch auf nichtkonkurrierende Importe und Kapitaldienste aus der Nutzung dauerhafter Konsumgüter. Da wir die Produkte der Sektoren zu Produzentenpreisen bewerten, der private Konsum aber zu Marktpreisen bewertet wird, müssen wir noch die indirekten Steuern auf Konsumgüter addieren, damit die Summe der Komponenten den gesamten privaten Verbrauch ergibt. Ebenso muß der Teil des Outputs der Sektoren, der vom Staat gekauft wird oder für Investitionszwecke verwendet wird, um die indirekten Steuern erhöht werden, damit die Summe der Komponenten die Staatsausgaben oder Investitionen im Makromodell ergibt. Die Ausgaben des Staates sind exogen bestimmt und werden auch in exogenen Anteilsätzen auf die Sektoren verteilt, während die Investitio-

nen endogen vom Makromodell bestimmt werden. Ihre Aufteilung auf die Sektoren erfolgt aber exogen. Dasselbe gilt für die Exporte und ihre Aufteilung. Im Makromodell sind ferner noch die Importe eine endogene Variable. Von dieser projizierten Größe spalten wir zu vorgegebenen Sätzen die Energieimporte als nichtkonkurrierende Importe ab und ziehen diese Werte vom Export dieser Sektoren ab. In der Endnachfrage dieser 5 Sektoren tritt demnach der Netto-Export auf.

Der letzte Schritt bei der Bestimmung der Höhe und Zusammensetzung der interindustriellen Transaktionen besteht darin, die Höhe des Outputs, der Beschäftigung und des Kapitaleinsatzes je Sektor zu ermitteln sowie die konkurrierenden Importe für die 9 Materialsektoren anzugeben. Sind die Input-Output-Koeffizienten und die Endnachfrage festgelegt, so lassen sich entsprechend der Input-Output-Analyse die Outputs der Sektoren angeben. Unser Ziel ist es, projizierte Matrizen der interindustriellen Verflechtung und Energietransaktion für die Jahre 1976, 1980, 1985, 1990 und 2000 darzustellen. Gleichzeitig sollen die entsprechenden Energiepreise projiziert werden.

Die Endnachfrage nach der zur Verfügung stehenden Produktion der 14 Sektoren teilt sich wie folgt auf:

$$(10) Y_j = C_j + I_j + IG_j + CG_j + EX_j \quad j = 1, 2, \dots, 14$$

wobei

- C_j - Output des Sektors j für den privaten Konsum,
- I_j - Output des Sektors j für die private Bruttoinvestition,
- IG_j - Output des Sektors j für die Staatsinvestitionen,
- CG_j - Output des Sektors j für den Staatsverbrauch,
- EX_j - Output des Sektors j für Exporte (Export minus Importe für die 5 Energiesektoren)

Die Definitionsgleichungen, die für eine Verbindung des Makromodells mit dem Input-Output-Modell sorgen, müssen sicherstellen, daß die Bewertung zu Produzentenpreisen im Input-Output-Modell mit der Bewertung zu Marktpreisen im Makromodell verträglich ist. Insgesamt sind folgende Identitäten einzuführen, die eine Bewertung zu Produzentenpreisen mit einer Bewertung zu Marktpreisen verknüpfen:

$$(11) \sum_{j=1}^{16} P_j C_j (1 + t_{Cj}) = PC \cdot C$$

$$\sum_{j=1}^{14} P_j I_j (1 + t_{Ij}) = PI \cdot I$$

$$\sum_{j=1}^{14} P_j IG_j (1 + t_{IGj}) = PIG \cdot IG$$

$$\sum_{j=1}^{14} P_j^{CG} (1 + t_{CGj}) = PC \cdot C$$

$$\sum_{j=1}^{14} P_j^{EX} = PX \cdot EX$$

Die Werte auf der rechten Seite kommen vom Makromodell und sind der private Verbrauch $PC \cdot C$ (endogen), die private Investition $PI \cdot I$ (endogen), die Investitionen des Staates $PIG \cdot IG$ (exogen), der Staatsverbrauch $PCG \cdot CG$ (exogen) und die Exporte $PX \cdot EX$. Das Symbol t_{Cj} z.B. repräsentiert den effektiven Steuersatz auf den Konsum P_j^{Cj} mit

$$t_{Cj} = \frac{\text{indirekte Steuern auf den privaten Verbrauch}}{P_j^{Cj}}$$

Während die Aufteilung der Investitionen nach Ursprungsbereichen der Outputs berücksichtigt wird, fehlt in dem statischen Input-Output-Modell eine Aufteilung der Investitionen nach Bestimmungssektoren. Diese wäre in einem vollständigen dynamischen Modell endogen vorzunehmen, um die Verknüpfung von Investitionsumfang und zukünftigem Produktionspotential explizit in das Modell aufzunehmen. Diese Verknüpfung bringt vorläufig nur das Makromodell ins Spiel, indem es die Investitionsgüternachfrage projiziert. Das Input-Output-Modell bestimmt zwar die Aufteilung der Kapitaleinkünfte nach Bestimmungssektoren, aber eine Abstimmung mit diesen Kapitaleinkünften und den vorgenommenen Investitionen in den einzelnen Sektoren liegt noch nicht vor.

Schließlich muß noch der private Verbrauch auf die Produkte der neun Sektoren verteilt werden, um alle Komponenten der Endnachfrage bestimmen zu können. Nicht in den Produkten der 14 Sektoren enthalten sind die Nutzung dauerhafter Konsumgüter und die konkurrierenden Importe. Zur Ermittlung der preisabhängigen Konsumzusammensetzung wird ein ökonometrisches Modell des Konsumentenverhaltens verwendet. Dieses Modell basiert auf einer indirekten Nutzenfunktion der Art /8/:

$$(12) \ln U = \ln U \left(\frac{P_1^{MP}}{PC \cdot C}, \frac{P_2^{MP}}{PC \cdot C}, \dots, \frac{P_{16}^{MP}}{PC \cdot C} \right)$$

wobei U das Nutzenniveau ist, P_i^{MP} der Marktpreis für das i -te Gut und $PC \cdot C$ die gesamten privaten Konsumausgaben. Das Modell besteht aus 16 Gütergruppen, und zwar ein Gut je Sektor des Input-Output-Modells (Erdölgewinnung jedoch ausgenommen), der Wohnungsvermietung, der Nutzung dauerhafter Konsumgüter und den nichtkonkurrierenden Importen.

Von der Form der Nutzenfunktion hängt es ab, welche formale Beziehung zwischen der nachgefragten Menge und den Preisen der Produkte dem Modell zugrunde liegt. Relativ einfache Nachfragefunktionen erhalten wir, wenn wir eine log-lineare indirekte Nutzenfunktion zugrunde legen. Diese Annahme impliziert, daß der Anteil der Käufe von einem Sektor am Wert der Konsumausga-

ben konstant ist. Damit ist die nachgefragte Menge nach jedem der 16 Gütergruppen im Konsumentenmodell eine Funktion ihres eigenen Preises und der Höhe der privaten Konsumausgaben. Letztere werden vom Makromodell projiziert, während die Preise von den Modellen des Produzentenverhaltens und von den Steuersätzen tc_i bestimmt werden. Sind Preise, Steuersätze und privater Verbrauch bekannt, so kann man die vom sektoralen Output für den Konsum nachgefragte Menge angeben.

Sind schließlich alle Größen für die Komponenten der Endnachfrage ermittelt, die Preise für die Outputs der Sektoren gefunden und die Input-Output-Koeffizienten berechnet, so läßt sich die interindustrielle Verflechtungsmatrix in konstanten und laufenden Preisen angeben.

Zur Räumung des Marktes der Produkte der 14 Sektoren fordern wir die Gleichheit von Angebot und Nachfrage:

$$(13) \quad X_i = \sum_{j=1}^{14} X_{ij} + Y_i$$

$$= \sum_{j=1}^{14} a_{ij} X_j + C_i + I_i + IG_i + CG_i + EX_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, 14$$

Die Input-Output-Koeffizienten $\{a_{ij}\}$ werden durch das Gleichgewichtspreissystem $\{P_j\}$ bestimmt. Dieses beeinflußt auch die Aufteilung der privaten Konsumausgaben, welche, wie auch die übrigen Makrogrößen, vom Makromodell projiziert werden. In Matrixschreibweise lauten die Angebots- und Nachfragebedingungen des Modells:

$$(14) \quad X = AX + Y,$$

wobei X und Y die Vektoren für die zur Verfügung stehende Produktion und die Endnachfrage sind und A die Matrix der Input-Output-Koeffizienten. Die Größenordnung der Outputs der Sektoren bestimmt sich aus der Lösung des Systems

$$(15) \quad X = (I - A)^{-1} Y.$$

Die Höhe der Kapitaleinkünfte und des Arbeitseinsatzes sowie die konkurrierenden Importe erhält man durch Multiplikation der Outputs mit den entsprechenden Input-Output-Koeffizienten:

$$\begin{aligned} K_i &= a_{Ki} \cdot X_i \\ L_i &= a_{Li} \cdot X_i \\ R_i &= a_{Ri} \cdot X_i \end{aligned} \quad i = 1, 2, \dots, 14.$$

Das vollständige Input-Output-Modell mit dem sukzessiven Ablauf des Lösungsprozesses ist in Tabelle 2 skizziert.

6. Das Makromodell

Die entscheidenden Bestandteile eines Makromodells sind ein Teilmodell für das Produzentenverhalten und ein Teilmodell für das Konsumentenverhalten. Das Verhalten des öffentlichen Sektors soll exogen bestimmt sein, während das Verhalten des Sektors Ausland teilweise exogen, teilweise endogen eingeführt wird. Der Konzeption des Modells liegt die neoklassische Wachstumstheorie zugrunde /9/. Das wirtschaftliche Wachstum wird durch eine explizite Beziehung zwischen der Kapitalbildung und der zukünftigen Nutzung des Kapitalbestandes in das Modell eingeführt. Diese Kapitaldienste in der nachfolgenden Periode bilden dann zusammen mit dem Arbeitseinsatz und den Importen die Produktionsfaktoren, mit denen entsprechend der eingeführten Transformationskurve die Produkte für den Konsum, die Investition und den Export erzeugt werden können.

Zur Koordination der Wirtschaftspläne der am Wirtschaftsprozess beteiligten Sektoren Unternehmung, Haushalte, Staat und Ausland fordern wir das Zustandekommen eines Marktgleichgewichts. Auf jedem Markt, sei es derjenige für Konsumgüter, Investitionsgüter, Arbeit oder Kapitaldienste, soll das Konkurrenzgleichgewicht Preis und Menge des entsprechenden Gutes oder Faktors bestimmen. Mit der Einführung von Marktgleichungen und den Verhaltensgleichungen im Produktions- und Haushaltssektor lassen sich Produkte und Produktionsfaktoren in Mengen und Preisen bestimmen. Da die Geldmenge nicht im Modell auftritt, sind nur relative Preise bestimmbar, so daß wir die Vereinbarung treffen, einen der Preise, und zwar denjenigen für die Kapitaldienste, exogen festzulegen.

Neben den Gleichungen für das Angebot des Produktionssektors an Konsumgütern, Investitionsgütern und Exporten und den Nachfragegleichungen nach Arbeit, Kapitaldiensten und Importen sowie der Nachfragegleichung des Haushaltssektors nach Konsumgütern und dem Angebot an Arbeitsleistung besteht das Modell noch aus Definitionsgleichungen und Marktgleichungen. Letztere verknüpfen durch die Einführung von Steuersätzen die Bewertung zu Faktorkosten mit der Bewertung zu Marktpreisen, während die Definitionsgleichungen das Modell vervollständigen.

In der Tabelle 3 haben wir alle Gleichungen des Makromodells zusammengestellt. Von den insgesamt 20 Gleichungen repräsentieren die ersten 5 Gleichungen die Verhaltensgleichungen des Produktionssektors und die beiden nachfolgenden Gleichungen die Verhaltensgleichungen des Haushaltssektors. Die Nachfrage- und Angebotsgleichungen im Produktionssektor werden aus der Gewinnmaximierung abgeleitet und die Nachfrage- und Angebotsgleichungen im Haushaltssektor aus einem intertemporalen Nutzenmaximierungsansatz. Das Angebot an Investitionsgütern IS und Exportgütern EX hängt vom Preis des jeweiligen Gutes, von der Lohnsumme $PLD \cdot LD$, vom Ausmaß der Produktion an den übrigen Produkten und vom Technologieindex A ab. Die Nachfrage nach Kapitaldiensten KD und Importen MD hängt vom Preis des jeweiligen Produktionsfaktors ab, von der Lohnsumme, von den zur Auswahl stehenden Produktionsfaktoren und vom Technologieindex A . Da die

Produktion an Konsum-, Investitions- und Exportgütern nicht die Produktionsmöglichkeiten einer Volkswirtschaft übertreffen kann, bringt die Transformationskurve den Output mit dem begrenzt zur Verfügung stehenden Input und dem Technologiestand in Beziehung /10/.

Die Konsumausgaben einschließlich der Nutzung dauerhafter Konsumgüter sowie die Freizeit hängen vom Vermögen W (-1) der Vorperiode ab, vom Lohn und von der Bevölkerung, gemessen als Zeitvorrat. Der Parameter der Zeitvariablen t berücksichtigt eine über die Zeit sich verändernde Bewertung des Konsums und der Freizeit in der Nutzenskala des Konsumenten.

Zur Aufstellung der Marktgleichungen beginnen wir mit der Bedingung für ein Gleichgewicht auf dem Konsumgütermarkt. Die Gleichungen 8 und 9 der Tabelle 3 fordern die Gleichheit des inländischen Angebots und der privaten und staatlichen Nachfrage nach Konsumgütern in konstanten und laufenden Preisen. In analoger Weise lassen sich Beziehungen in laufenden und konstanten Preisen für die Gleichheit von Angebot und Nachfrage auf dem Investitionsgütermarkt herleiten (Gleichungen 10 und 11). Die Bedeutung der Symbole kann dabei der Tabelle 4 entnommen werden.

Auf dem Arbeitsmarkt fordern wir ebenfalls die Gleichheit des Angebots an Arbeit L mit der Nachfrage des privaten Sektors (LD), des Staates (LG), der übrigen Welt (LR) und der Arbeitslosigkeit LU (Gleichung 12 und 14). Die Gleichung 13 teilt die verfügbare Zeit in Arbeitszeit und Freizeit auf.

Die erste der Definitionsgleichungen 15 bis 20 verknüpft die potentiellen Kapitaldienste mit dem Kapitalbestand am Ende der Vorperiode. In dieser wie in einigen anderen Gleichungen treten Aggregationsvariable auf, die Aggregate verschiedener Klassifikationen ineinander überführen. So verknüpft die exogene Aggregationsvariable AK den Kapitalbestand mit der Kapitalnutzung und der Index AK in der Gleichung 19 die Aggregation der einzelnen Investitionsgüter mit dem aggregierten Kapitalstock. Die Gleichung 16 verbindet das Bruttoeinkommen aus Vermögen mit dem Nettoeinkommen aus Vermögen nach Abzug der Vermögenssteuern und der direkten Steuern auf das Einkommen aus Vermögen. Die Gleichung 17 ist eine Beziehung des volkswirtschaftlichen Rechnungswesens und fordert die Gleichheit vom Wert des Input und Output. Schließlich definiert die Gleichung 18 die Ersparnis, die Gleichung 19 berechnet den Kapitalstock nach der Kumulierungsmethode, und die Gleichung 20 bildet das private Vermögen aus Sachvermögen und Nettoforderungen an den Staat und die übrige Welt. Die Verhaltensgleichungen des Modells wurden mit Daten für die Bundesrepublik aus dem Zeitraum 1950 bis 1973 geschätzt. Ein Diagramm in Tabelle 5 zeigt die Wirkungsweise des Modells.

7. Energieprojektionen

Eines der Ziele der Energiestudie wird es sein, Projektionen für das Energieangebot und die Energienachfrage zu liefern,

für Energiepreise und Kosten und für den Energieimport. Die Projektionen bis zum Jahre 2000 werden bedingte Projektionen sein im Sinne der Annahme, daß keine grundlegenden energie- oder weltpolitischen Maßnahmen den status quo verändern. Projiziert werden die Lieferströme zwischen den Energie- und Nicht-Energie-Sektoren in laufenden und konstanten Preisen. Diese Information läßt sich auch in physikalische Einheiten übertragen, indem man die in DM des Basisjahres gemessenen Lieferströme der einzelnen Energiesektoren in Btu oder SKE pro Energieträger überführt. Ebenso lassen sich die Preisindizes in DM pro physikalische Einheit umrechnen. Bei der Projektion des Energiebedarfs interessiert zum einen der zunehmende Energieinput in SKE Einheiten und die entsprechenden jährlichen Wachstumsraten. Zum anderen interessiert aber auch die Zusammensetzung des Energieinputs im Laufe der Jahre und seine Aufteilung in Kohle, Öl, Erdgas und Atomenergie. Höhere Energiepreise, Einschränkungen beim Energieverbrauch und veränderte Inputstrukturen der Volkswirtschaft werden dazu führen, daß die Zunahme des Energieverbrauchs geringer sein wird als vor der Energiekrise. Die Verteuerung der Energie führt zu Anpassungsprozessen, die den Energieverbrauch reduzieren oder durch relativ billigere Energiearten ersetzen. Insbesondere langfristig wird der zu erwartende Energiepreis seine Auswirkungen zeigen, da bestehende energieverbrauchende Anlagen und Autos erst allmählich durch energiesparendere und effizientere Maschinen ersetzt werden können.

Schließlich wird die Zusammensetzung der Energieinputs auch vom Ausbau der Kernkraftwerkskapazität beeinflusst. Durch die Ausgliederung der Kernenergie aus dem Sektor "Elektrizitätswirtschaft" und die Aufnahme eines Sektors "Kernenergie" in die Input-Output-Tabelle könnten die Auswirkungen eines Ausbaus der Kernkraftwerke auf die Energiepreise und Mengen untersucht werden.

Da knappes Öl und Erdgas dann nicht mehr für die Elektrizitätserzeugung verbraucht werden, sondern dem Direktverbrauch zur Verfügung stehen, ist eine preisdämpfende Wirkung zu erwarten.

Des weiteren sollen die einzelnen projizierten Energiepreise gegenübergestellt werden, und zwar der Preis für Kohle je Tonne, für Öl je Barrel, für Elektrizität je Kilowattstunde und für Gas je 1000 m³. Die Preisanstiege und Preisverschiebungen reflektieren Angebot- und Nachfragekonstellation auf den Märkten sowie erwartete Produktivitätsfortschritte. Diese dürften im Kohlesektor am geringsten und in der Elektrizitätswirtschaft am höchsten sein. Ferner kann man die Energiepreise noch in Relation zum Konsumpreisniveau setzen. Während sie in der Vergangenheit unter diesem Preisniveau lagen, dürften sie in Zukunft darüber liegen.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß die Projektionen des inländischen Angebots an Kohle, Rohöl und Erdgas außerhalb des Modells vorgenommen werden. Wieviel Rohöl in der Nordsee gebohrt und wieviel Kohle abgebaut werden soll, ist nicht nur eine ökonomische, sondern auch eine politische Frage. Im Rahmen der Modellanalyse kann man zum einen die Energieimporte vom Gesamtimport des Makromodells zu vorgegebenen Anteilen abspalten und

vom Export in den Endnachfragespalten abziehen. Das Modell bestimmt dann die inländische Produktion an Kohle, Erdöl und Erdgas als sektoralen Output. Diese Werte sind unter Beachtung der verfügbaren Ressourcen und des technischen Wissens auf ihre Realitätsnähe zu prüfen. Ist diese nicht vorhanden, muß die Zusammensetzung und Größenordnung der Energieimporte geändert werden. Eine andere Möglichkeit der Behandlung von Energieimporten besteht darin, die heimische Kapazität und Produktion an Kohle, Öl und Erdgas exogen festzulegen und die Importe als Differenz der als Lösung des Systems gewonnenen Outputgröße und der exogenen heimischen Produktion zu bestimmen. Auf jeden Fall gleichen Importe bei jedem Kohle- oder Ölpreis den Unterschied zwischen Angebot und Nachfrage aus.

Um die von den Käufern gezahlten unterschiedlichen Preise aus den Energieströmen zwischen den Sektoren zu eliminieren, werden diese Ströme auch in SKE Einheiten gemessen. Die Transaktionsmatrix in SKE Einheiten erhält man, indem man exogene "SKE pro DM 1975" Raten auf die Energiedaten in der zu konstanten Preisen von 1975 projizierten Input-Output-Tabelle anwendet. Bei dieser Umrechnung muß eine Preisdifferenzierung beachtet werden, da z.B. die Haushalte höhere Strompreise als die Sektoren bezahlen, jedoch die gleiche physikalische Einheit beziehen. Die Input-Output-Ströme in Energieeinheiten zeigen, in welchen Sektoren und in welcher Komponente der Endnachfrage die einzelnen Energiearten unterschiedlich stark eingesetzt werden.

9. Zusammenfassung

Das Jorgenson-Modell zur Projektion von Energieangebot und Nachfrage berücksichtigt die Auswirkungen von Energiepreisen auf die Höhe und Zusammensetzung des Energieeinsatzes. Ferner berücksichtigt es das Ausmaß der wirtschaftlichen Tätigkeit der Nicht-Energiesektoren auf den Energieverbrauch und trägt dem Umstand Rechnung, daß umgekehrt Energiepreise und Angebot auf Preise, Input, Output und Konsum der Nicht-Energiesektoren einwirken. Diese Verzahnung der Energiesektoren mit den Nicht-Energiesektoren ist wesentlich und muß zur Analyse wirtschaftspolitischer Maßnahmen und für Vorhersagezwecke beachtet werden. Beispiele dieser Interpendenz sind die Auswirkungen der jüngsten Ölverknappung auf die Autoindustrie und die Bestrebungen zur Einsparung von Energie nach den Ölpreiserhöhungen des letzten Jahres. Darüber hinaus besteht die entscheidende Verbesserung des Jorgenson-Modells gegenüber anderen Modellen darin, daß die Inputstruktur, d.h. die Input-Output-Koeffizienten, auf Preisveränderungen reagieren. Dadurch werden Substitutionsmöglichkeiten berücksichtigt, wie sie z.B. für Kohle und Öl bei der Elektrizitätserzeugung bestehen. Doch darf auch die Substitutionsmöglichkeit verschiedener Energiearten nicht isoliert betrachtet werden, denn jeder Übergang zu anderen Energiequellen ist mit einer Umstrukturierung des Anlagevermögens verbunden. Da die sektoralen Produktionsmodelle jedoch alle Inputs gleichzeitig in den Produktionsprozeß einbeziehen, wird nicht nur die Substitution innerhalb verschiedener Energieformen als Möglichkeit

einbezogen, sondern auch die Substitution von Energie durch Nicht-Energie explizit berücksichtigt.

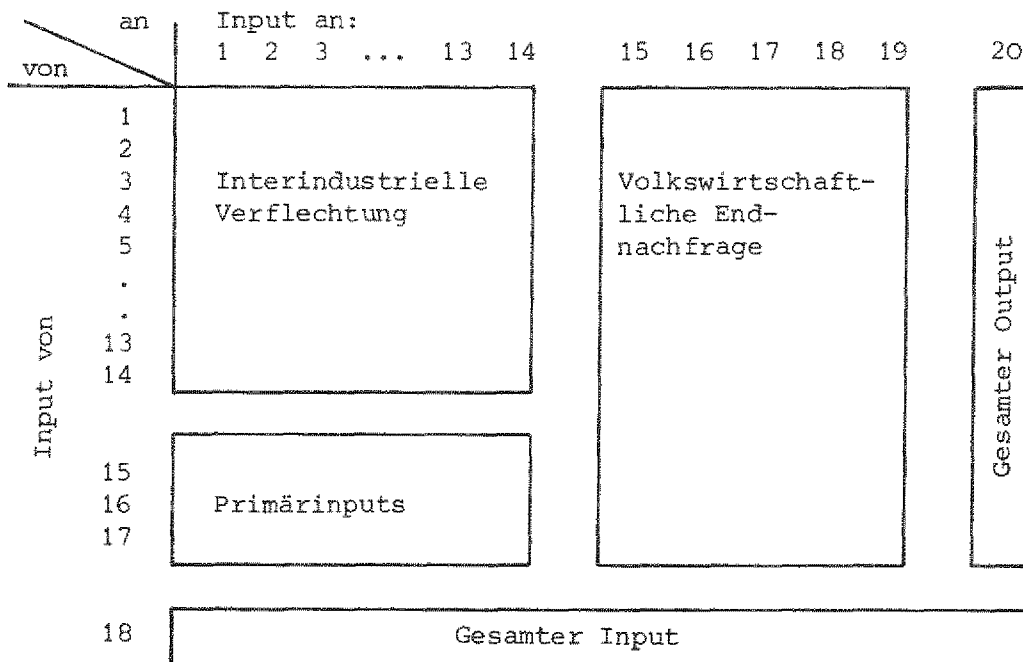
Die simultane Bestimmung des Preissystems und die Reaktion der Produzenten und Konsumenten auf Preisänderungen im Rahmen eines umfassenden Modells der Volkswirtschaft zeigt einen Weg auf, der auch für Energieprognosen in der Bundesrepublik eingeschlagen werden sollte.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Siehe W.W. Leontief: The Structure of the American Economy 1919 - 1939, New York, Oxford University, 1951.
- /2/ Abgedruckt in einer zur Veröffentlichung vorgesehenen Studie: D.W. Jorgenson und H.S. Houthakker, Energy Resources and Economic Growth: Final Report to the Energy Policy Project, September 1973.
- /3/ Das Jorgenson-Hudson-Modell oder DRI-Modell ist beschrieben in: E.A. Hudson und D.W. Jorgenson, U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975 - 2000, Harvard Institute of Economic Research, Discussion Paper Number 372, Juni 1974.
- /4/ K. Conrad, Ein ökonometrisches Makromodell mit endogenem Außenhandel, Oktober 1974, unveröffentlichtes Manuskript.
- /5/ Eingeführt in: D.W. Jorgenson, Long-term Impact of U.S. Tax Policy, Jan. 1972, unveröffentlicht.
- /6/ E.R. Berndt und D.W. Jorgenson, Production Structure, Kapitel 3 der Studie von Jorgenson und Houthakker (siehe Lit. /2/).
- /7/ Die Translag Preistransformationskurve wurde eingeführt in: L.R. Christensen, D.W. Jorgenson und L.J. Lau, Transcendental Logarithmic Production Frontiers, Review of Economics and Statistics, Vol. 55, No. 1, Febr. 1973, S. 28-45.
- /8/ Siehe dazu: L.R. Christensen, D.W. Jorgenson und L.J. Lau, Transcendental Logarithmic Utility Functions, American Economic Review, 1974 (erscheint demnächst). Im Zusammenhang mit der Energiestudie siehe: L.R. Christensen und D.W. Jorgenson, Demand Analysis, Kapitel 4.1 der Studie von Jorgenson und Houthakker (siehe Lit. /2/).
- /9/ Zum DRI Makromodell siehe: E.A. Hudson und D.W. Jorgenson, U.S. Economic Growth, 1973 - 2000, Kapitel 2 der Studie von Jorgenson und Houthakker (siehe Lit. /2/).
- /10/ Am Rande sei bemerkt, daß diese Spezifikation einer Taylor-

Approximation einer CET-CES-Funktion gleichkommt. (Constant Elasticity of Transformation in den Outputs, Constant Elasticity of Substitution in den Inputs).

Tabelle 1
Schema der Lieferverflechtung



Sektoren:

1. Kohlenbergbau (große DIW-Tab. Nr. 4)
2. Erdölgewinnung, Erdgas (gr. DIW-Tab. Nr. 7)
3. Elektrizitätswirtschaft (gr. DIW-Tab. Nr. 2)
4. Gas- und Wasserwirtschaft (gr. DIW-Tab. Nr. 3)
5. Mineralölverarbeitung (gr. DIW-Tab. Nr. 15)
6. Chemie, Steine, Erden ohne Mineralölverarbeitung (kleine DIW-Tab. Nr. 3 ohne 5) oben)
7. Eisen und Stahl (kleine DIW-Tab. Nr. 4)
8. Stahl, Maschinen, Fahrzeugbau (kleine DIW-Tab. Nr. 5)
9. Elektrotechnik (kleine DIW-Tab. Nr. 6)
10. Verkehr, Nachrichtenübermittlung (kleine DIW-Tab. Nr. 11)
11. Land- und Forstwirtschaft (kleine DIW-Tab. Nr. 1) und Bergbau (ohne Kohlenbergbau und Erdölgewinnung (kleine DIW-Tab. Nr. 2 ohne 1) und 2) oben)
12. Nahrungs- und Genußmittel (kleine DIW-Tab. Nr. 8)
13. Holz, Papier, Leder (kleine DIW-Tab. Nr. 7) und Bauwirtschaft (kleine DIW-Tab. Nr. 9)
14. Handel (kleine DIW-Tab. Nr. 10) und Sonstige Dienstleistungen (kleine DIW-Tab. Nr. 12 und kl. DIW-Tab. Nr. 14) inkl. priv. Haushalte und priv. Org. ohne Erw.

Primärinputs

15. Importe (kl. DIW-Tab. Nr. 15)
16. Arbeit (kleine DIW-Tab. Nr. 20)
17. Kapitaleinkommen (inkl. Abschreibungen) (kleine DIW-Tab. Nr. 16 u. 21)

Endnachfrage

15. Privater Verbrauch (kleine DIW-Tab. Nr. 16 und 17)
16. Private Bruttoinvestition (kleine DIW-Tab. Nr. 18, 20, 21 und 22)
17. Investition des Staates (kleine DIW-Tab. Nr. 19)
18. Konsum des Staates (kleine DIW-Tab. Nr. 15)
19. Exporte (kleine DIW-Tab. Nr. 23)

Tabelle 2
(nach E. Hudson und D.W. Jorgenson)
Interindustrielles ökonomisches Modell

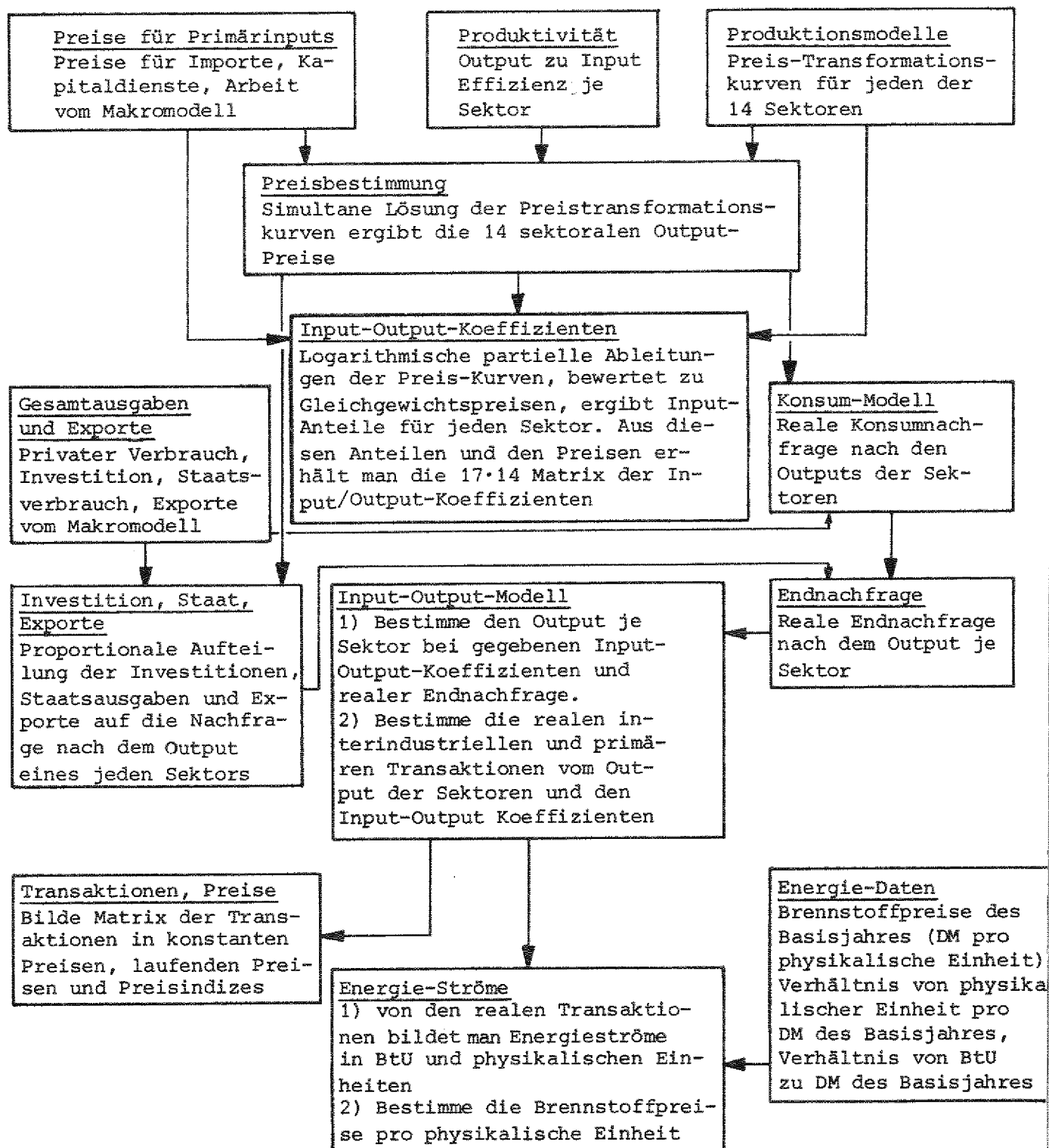


Tabelle 3
Das ökonomische Makromodell

1. Angebot an Investitionsgütern

$$\frac{PIS \cdot IS}{PLD \cdot LD} = 0,563 + 0,43 (\ln IS - \ln CS) - 0,103 (\ln EX - \ln CS) + 1,08 \ln A$$

2. Angebot an Exportgütern

$$\frac{PX \cdot X}{PLD \cdot LD} = 0,338 - 0,103 (\ln IS - \ln CS) + 0,3 (\ln EX - \ln CS) - 0,05 \ln A$$

3. Nachfrage nach Kapitaldiensten

$$\frac{PKD \cdot KD}{PLD \cdot LD} = - \left[-0,636 + 0,077 (\ln MD - \ln KD) - 0,215 \ln A \right]$$

4. Nachfrage nach Importen

$$\frac{PM \cdot M}{PLD \cdot LD} = - \left[-0,344 + 0,077 (\ln KD - \ln MD) - 0,072 \ln A \right]$$

5. Transformationskurve

$$\begin{aligned} \ln LD = & 0,56 \ln IS + 1,08 \ln CS + 0,338 \ln EX - 0,635 \ln KD - 0,344 \ln MD + 1,02 \ln A + \frac{1}{2} \cdot 0,43 \\ & (\ln IS)^2 - 0,328 \ln IS \ln CS - 0,103 \ln IS \ln EX + 0,107 \ln IS \ln A + \frac{1}{2} \cdot 0,525 (\ln CS)^2 \\ & - 0,197 \ln CS \ln EX + 0,228 \ln CS \ln A + \frac{1}{2} \cdot 0,3 (\ln EX)^2 - 0,05 \ln EX \ln A - \frac{1}{2} \cdot 0,077 \\ & (\ln KD)^2 + 0,077 \ln KD \ln MD - 0,215 \ln KD \ln A - \frac{1}{2} \cdot 0,077 (\ln MD)^2 - 0,072 \ln MD \ln A. \end{aligned}$$

6. Nachfrage nach Konsumgütern

$$PC \cdot C = 0,0454 \cdot (0,145 - 0,0015 \cdot t) \left[W(-1) + 21,2 (PL \cdot LH + EL) \right]$$

7. Nachfrage nach Freizeit

$$PL \cdot LJ = 0,0454 (0,855 + 0,0015 \cdot t) \left[W(-1) + 21,2 (PL \cdot LH + EL) \right]$$

Marktgleichungen

8. Konsum in konstanten Preisen

$$CS = C + CG$$

9. Konsum in laufenden Preisen

$$(1 + TC) \cdot PCS \cdot CS = PC \cdot C + PCG \cdot CG$$

10. Investition in konstanten Preisen

$$IS = I + IG$$

11. Investition in laufenden Preisen

$$(1 + TI) \cdot PIS \cdot IS = PI \cdot I + PIG \cdot IG$$

12. Arbeit in konstanten Preisen

$$L = LD + LG + LR + LU$$

13. Zeitbeschränkung

$$LH = L + LJ$$

14. Arbeit in laufenden Preisen

$$(1+TL) (PLD \cdot LD + PLG \cdot LG + PLR \cdot LR) = PL \cdot L$$

Definitionsgleichungen

15. Kapitaldienst

$$KD = AK \cdot K(-1)$$

16. Kapitaldienst in laufenden Preisen

$$\begin{aligned} (1-TK) (PKD \cdot KD - (TP-TPS \cdot QP) \cdot PI(-1) \cdot AW(-1) \\ \cdot K(-1) + RPF) = \\ = N \cdot PI(-1) \cdot AW(-1) \cdot K(-1) + D \cdot PI \cdot AL \cdot K(-1) \end{aligned}$$

17. Wert von Input und Output

$$PIS \cdot IS + PCS \cdot CS + PX \cdot EX = PLD \cdot LD + PKD \cdot KD + PM \cdot MD$$

18. Ersparnis

$$S = PI \cdot I + PG(G-G(-1)) + PR(R-R(-1))$$

19. Kapitalstock

$$K = AI \cdot I + (1-M) K(-1)$$

20. Vermögen

$$W = PI \cdot AW \cdot K + PG \cdot G + PR \cdot R$$

T a b e l l e 4
Die Variablen des Makromodells

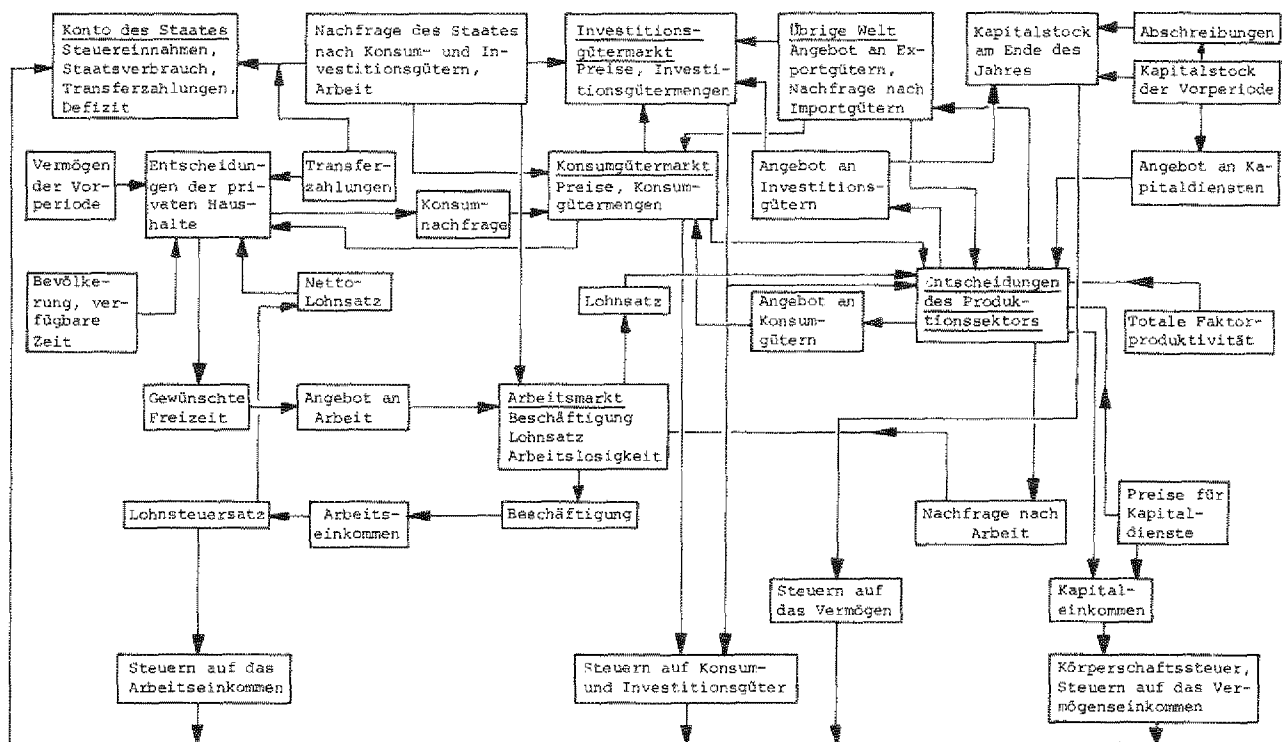
a) Endogene Variable

C	Privater Verbrauch
CS	Inländisches Angebot an Konsumgütern
EX	Exporte
I	Private Bruttoinvestition einschließlich Vorratsveränderung
IS	Inländisches Angebot an Investitionsgütern
L	Arbeitsangebot des Haushaltssektors
LD	Arbeitsnachfrage des Produktionssektors
LJ	Freizeit
K	Kapitalbestand
KD	Kapitaldienste
MD	Importe
PC	Preisindex für C
PCS	Preisindex für CS
PI	Preisindex für I
PIS	Preisindex für IS
PL	Preisindex für L
PLD	Preisindex für LD
N	Ertragsrate aus dem privaten inländischen Sachvermögen
S	Private Bruttoersparnis
W	Privates Vermögen

b) Exogene Variable

A	Gesamte Faktorproduktivität
AI	Aggregationsvariable (Kapitalstock-Investition)
AL	Aggregationsvariable (Wert des Kapitalstocks, verzögert)
AK	Aggregationsvariable (Kapitalstock, verzögerter Kapitaldienst)
AW	Aggregationsvariable (Wert des Kapitalstocks)
CG	Käufe des Staates für die laufende Produktion
D	Abschreibungsrate auf den privaten inländischen Sachvermögensbestand
EL	Transferzahlungen des Staates
G	Nettoforderungen an den Staat
IG	Käufe des Staates an Investitionsgütern
LG	Käufe des Staates an Arbeit
LH	Verfügbare Zeit
LR	Nettoexport an Arbeit
LU	Arbeitslosigkeit
M	Ersatzrate
PCG	Preisindex für CG
PG	Preisindex für G
PR	Preisindex für R
PIG	Preisindex für IG
PM	Preisindex für MD
PX	Preisindex für EX
PLG	Preisindex für LG
PLR	Preisindex für LR
PKD	Preisindex für Kapitaldienste
QP	Anteil der Kapitalgesellschaften am Gesamtvermögen der Vorperiode
R	Nettoforderungen an die übrige Welt
RPF	Lastenausgleichszahlungen
TC	Effektiver Steuersatz auf Konsumgüter
TI	Effektiver Steuersatz auf Investitionsgüter
TP	Effektiver Steuersatz auf Sachvermögen
TPS	Effektiver Steuersatz auf das Sachvermögen der Kapitalgesellschaften
TK	Effektiver Steuersatz auf Vermögenseinkommen
TL	Effektiver Steuersatz auf das Arbeitseinkommen

Tabelle 5
Das ökonometrische Makromodell



DISKUSSION

W. Gries, CDU, Bonn: Warum arbeiten Sie in Ihrer ersten Graphik mit der Endnachfrage und nicht mit dem Bruttoinlandsprodukt? Was sind bei Ihnen die X_i , wie bestimmen Sie diese?

K. Conrad, Universität Tübingen: Die Herleitung der Nachfragefunktionen nach Zwischenprodukten und Primärintputs im Produzentenmodell und der Nachfragefunktionen nach den sektoralen Konsumgütern im Konsumentenmodell basiert zwar auf der konventionellen und umstrittenen Methode der Kostenminimierung (Gewinnmaximierung) bzw. Nutzenmaximierung, neu ist jedoch, daß durch Auferlegung von Parameterrestriktionen diese Hypothesen statistisch getestet werden können (F-Test). Empirische Ergebnisse haben gezeigt, daß die Betrachtungsweise, die Höhe und Allokation der nachgefragten Mengen sei das Ergebnis eines Optimierungsprozesses, im Falle der Gewinnmaximierung eher gerechtfertigt ist als im Falle der Nutzenmaximierung. Hier kommt es sehr auf die Wahl der Güter und die Bildung geeigneter Aggregate an. Das Bruttoinlandsprodukt ist enthalten und zwar als die Summe der Komponenten der Endnachfrage. Die X_i sind die Lieferungen des Sektors i an den Sektor j , also die Vorleistungen.

P. Gonschior, DFVLR, Porz-Wahn: Welche Möglichkeiten sehen Sie, die Nutzwerte in den Nachfragefunktionen auszudrücken? Das heißt, welche Normen - Ziele stehen hinter den Funktionen, insbesondere bei der Angebotsfunktion? Die Kostenminimierung entspricht nur dem ökonomischen Prinzip, ist wertneutral. Nach welcher Norm wird bei der Aufteilung zwischen Freizeit und Arbeitsangebot entschieden?

K. Conrad: Die Nutzenfunktion ist lediglich ein Hilfsmittel, um funktionale Zusammenhänge von nachgefragten Mengen und deren Preise herleiten und logisch begründen zu können. Eine zahlenmäßige Auswertung der Nutzenfunktion ist dabei nicht von Interesse. Die Ökonometrie basiert auf Verhaltensmustern der Vergangenheit. Sie versucht, wirtschaftliche Vorgänge und Größen zu beschreiben und zu erklären, indem sie nach Bestimmungsfaktoren sucht. Ökonometrie ist keine normative Wissenschaft; d.h. sie untersucht nicht die Frage, was sein soll.

J. Majus, DFVLR, Porz-Wahn: Der mehrfach geäußerte Wunsch der Ankopplung der in den normativen und prognostischen Modellen gefundenen Daten an gesellschaftliche Beurteilungskriterien und politisch orientierte Normung könnte mit dem umstrittenen, aber praktikablen Instrument der Nutzwertanalyse durchgeführt werden. Es könnte eine sinnvolle Ergänzung sein und ein Interface zwischen Modellbauern und Energie-Experten einerseits und Umwelt-Experten und Politikern andererseits darstellen.

K. Conrad: Ich stimme zu!

St. Rath-Nagel, KFA Jülich: Herr Conrad, in Ihrem Modell rechnen Sie mit monetären Größen. Wieweit können Sie mit diesen monetären Größen auch Aussagen über Veränderungen auf der energetischen Seite machen? Zum Beispiel: Wieviel tSKE wurden von der Mineralölindustrie an die Haushalte abgeliefert und dort verbraucht? Wie gut können Sie, einmal anders ausgedrückt, monetäre und energetische Größen über den Preis koppeln? Reicht der Preis allein aus, um von diesen Wertgrößen auf energetische Größen zu schließen?

K. Conrad: Sicher nicht, deswegen wurde heute auch schon von der Kopplung des Input/Output vom ökonomischen Gesichtspunkt mit der technischen Seite (Kopplung des Hoffman-Modells mit dem Jorgenson-Modell) gesprochen, damit nicht nur die ökonomische Seite die Energieprojektion macht, sondern auch von der technischen Seite die technischen Koeffizienten der Input/Output-Tabelle zusammenspielen.

A. Voß, KFA Jülich: Haben Sie auch schon einmal darüber nachgedacht, wie andere die Substitution bestimmende Faktoren als der Preis in ihren Modellen berücksichtigt werden können?

K. Conrad: Um weitere Substitutionsmöglichkeiten berücksichtigen zu können, ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit nötig. Mr. Hoffman berichtete heute morgen über die Integration seines Modells und des Hudson-Jorgenson-Modells. Dieses integrierte Modell ist das Ergebnis eines Iterationsverfahrens, bei dem technologisch bestimmte Substitutionsvorgänge innerhalb energie anbietender Prozesse mit volkswirtschaftlichen Zusammenhängen in Einklang gebracht werden. Eine analoge Verknüpfung mit den entsprechenden Modellen für die BRD ist geplant.

W. Häfele, IIASA, Laxenburg, Österreich: George Danzig, einer der Väter des Linear-Programmings, baut zur Zeit ein Test-Laboratorium für LP-Modelle auf. Vielleicht ist es vernünftig, in der BRD eine Stelle zu bitten, Energiemodelle zu

vergleichen und auszutesten. Zum Beispiel könnte das die Programmleitung "Angewandte Systemanalyse" der AGF in Porz-Wahn wahrnehmen.

K. Conrad: Volle Zustimmung!

H.J. Burchard, B.P., Hamburg: Ich will nicht das Modell selbst werten, schon gar nicht seine Formelhaftigkeit kritisieren, die notwendig ist, wenn man sich auf das Gebiet der Ökonometrie begibt. Und das ist sicher notwendig. Aber entfernen wir uns nicht doch zu weit von spezifischen Energiemodellen? Muß man das gesamte Feld der makroökonomischen Zusammenhänge in Bewegung setzen, um zu Resultaten zu kommen, die auf dem Energiegebiet praktisch verwertbar sind? Steht die Genauigkeit der Ergebnisse in einem angemessenen Verhältnis zu dem erheblichen Aufwand? Und: Wer soll praktisch damit arbeiten, abgesehen von wissenschaftlichen Instituten? Werden nicht Energiepolitiker und energiewirtschaftliche Praktiker eher mehr verunsichert als in ihren Entscheidungsmöglichkeiten gestärkt?

K. Conrad: Bei einer Projektion der Energiesituation bis zum Jahre 2000 muß man sicher makroökonomische Zusammenhänge mit in die Analyse einbeziehen, um über wirtschaftliches Wachstum und volkswirtschaftliche Verflechtung Anhaltspunkte für die zu erwartende Nachfrage nach den Produkten der Energiesektoren zu gewinnen. Nimmt man an, daß die gewonnenen Ergebnisse genauer sind, so dürfte der Aufwand gerechtfertigt sein. Es fragt sich eben, um wieviel genauer sie sind als z.B. Ergebnisse mittels naiver Methoden (Trendextrapolation). Was die Frage der Verunsicherung durch komplizierte Modelle anbelangt, so haben einfachere Modelle zwar den Vorteil, daß sie jeder versteht, doch nur selten gelingt es, komplexe Zusammenhänge mit solchen Modellen darzustellen.

H. Tröscher, RWE Essen: Berücksichtigt Ihr Modell den Einfluß der Kapitalknappheit beispielsweise auf die Elektrizitätserzeugung und den Elektrizitätsverbrauch? Ich denke dabei an die Tatsache, daß die Studie der Dresdner Bank einen Kapitalbedarf prognostiziert, der nicht ohne weiteres zu finanzieren ist und daher Auswirkungen auf den Energiepreis und Energieverbrauch vom Kapitalektor her zu erwarten sind.

K. Conrad: Da der Produktpreis P_j je Sektor u.a. von dem Preis des Kapitalinputs abhängt, (P_{17j} in Gleichung (4)), werden die Auswirkungen eines vermehrten Kapitalbedarfs auf die Energiepreise berücksichtigt. Jedoch werden die Preise für den Kapitalinput je Sektor in der bisher vorliegenden statischen Version des Input-Output-Modells exogen festgelegt.

Erst die dynamische Version des Modells wird eine konsistente Abstimmung von erforderlichen Investitionen als Folge der gestiegenen Nachfrage einerseits und den daraus resultierenden Kapitalkosten andererseits bringen. (Endogenisierung der Kapitalkosten.)

KÜNFTIGER BEDARF AN ELEKTRISCHER ENERGIE
IN ABHÄNGIGKEIT VON
WIRTSCHAFTS- UND GESELLSCHAFTSPOLITISCHEN ENTWICKLUNGEN
UND DESSEN DECKUNG,
INSBESONDERE MIT HILFE DER KERNENERGIE

E. Geißler⁺)
G. Modemann⁺⁺)
P. Winske⁺⁺)

+) KFA Jülich G.m.b.H., IPP

++) Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft
der RWTH Aachen
Lehrgebiet Leistungsreaktoren, Leitung Prof. Mandel

I. Ziele der Untersuchung

Die Untersuchungen, über die hier berichtet wird, beschäftigen sich mit der künftigen Entwicklung der Nachfrage nach elektrischer Energie in der Bundesrepublik Deutschland. Sie beschränken sich also auf "nur" eine der verschiedenen Edelenergien.

Daß der Anteil der elektrischen Energie an der Energiedarbringung auch künftig noch ansteigen wird, und daß es die Kernenergie ist, die begründete Aussichten auf eine für lange Zeit gesicherte Versorgung mit dieser preisgünstigen und umweltfreundlichen Energie eröffnet, gilt als allgemein angenommen. Andererseits aber wurde und wird verschiedentlich der weitere Anstieg des Bedarfs im Zusammenhang mit der Errichtung neuer Kernkraftwerke in Frage gestellt. Insbesondere mit Rücksicht auf gezielte öffentliche Förderungsmaßnahmen verdienen daher die mit der weiteren Entwicklung verbundenen wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Aspekte besonderes Interesse.

Die Fragestellung nach dem künftigen Bedarf an elektrischer Energie ist auch unter modelltheoretischen Gesichtspunkten, wenn man den elektrischen Energiesektor nämlich als ein komplexes System betrachtet, durchaus interessant. Bei Erzeugung der elektrischen Energie sind ja alle Primärenergieträger involviert - sie treten sogar in wirtschaftliche Konkurrenz zueinander. Möglichen raschen Veränderungen auf dem Primärenergietrang steht eine zeitlich verzögerte Anpassungsfähigkeit des Kraftwerksparkes gegenüber. Folgerungen bezüglich der Substituierbarkeit und der Wirkungen von Substitutionen lassen sich anhand der vorliegenden Beobachtungen aufstellen und prüfen; denn Substitutionen vollzogen sich bereits in der Vergangenheit, und sie werden sich

auch weiterhin vollziehen - insbesondere als Folge des Einsatzes der Kernenergie.

Vor diesem Hintergrund ergab sich die Thematik einer Studie, die vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gegen Ende 1972 angeregt wurde, und von ihm seither betreut wird. In ihr sollen die Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen dem Bedarf an elektrischer Energie, der Bedarfsdeckung einerseits und künftigen Entwicklungen in Wirtschaft und Gesellschaft andererseits für die Bundesrepublik Deutschland aufgezeigt und analysiert werden; dabei sollen besonders die Lebensbedingungen der Bevölkerung und die Leistungsfähigkeit der Industrie Berücksichtigung finden. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich bis zum Jahre 2000. Die Untersuchung erfolgt in interdisziplinärer Zusammenarbeit mehrerer Arbeitsgruppen, die von folgenden wissenschaftlichen Instituten gestellt werden:

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft
der RWTH Aachen,
Lehrgebiet Leistungsreaktoren, Leitung Prof. Mandel;

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln,
Leitung Prof. Schneider;

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliches Institut des
DGB, Leitung Dr. Markmann;

Prognos AG, Abt. für wirtschaftspolitische Beratung,
Leitung Dr. Schröder;

Institut für Siedlungs- und Wohnungswesen, Münster,
Leitung Prof. Thoss.

Als Berater wirken mit die Herren Prof. Landwehrmann, Prof. Meyer-Abich und Prof. Scheuch. Außerdem sind die einschlägigen Fachreferate des Bundesministeriums des Inneren und des Bundesministeriums für Wirtschaft beteiligt.

II. Zur Methodik

Die seit Anfang der 50er Jahre auch in anderen Industrieländern beobachtete nahezu konstante Zuwachsrates des Verbrauchs an elektrischer Energie legt es nahe, die bisherige Entwicklung durch eine Exponentialfunktion zu approximieren. Welche Entwicklungen technischer, industrieller und wirtschaftlicher Art, welche Lebensbedürfnisse und Verbrauchsgewohnheiten der Bevölkerung, welche Kapazitäten, Versorgungssysteme und Infrastrukturen vonnöten sind, damit ein so formal abgeschätzter Verbrauch oder ein davon abweichender auch real zustande kommen können, das sind die Fragen, die auf ein Modell zur Ermittlung des künftigen Elektrizitätsbedarfs abzielen. Solche Modelle sind nicht frei von subjektiven Bewertungen und Feststellungen hypothetischen Charakters.

Als wenig aussichtsreich und flexibel erscheint die Konstruktion eines Gesamtmodells, das - der idealen Vorstellung der Systemtheorie entsprechend - die Abbildung des hier angesprochenen Fragenkomplexes in ein simultan geltendes Gleichungssystem vermittelte und somit einer präzisen numerischen Analyse zugänglich wäre. Diese Beurteilung gründet sich darauf, daß eine adäquate mathematische Beschreibung der beobachteten oder vermuteten Zusammenhänge, selbst da, wo man kausale Wirkungsmechanismen unterstellen darf, noch in den Anfängen steckt.

Vom Methodischen her gesehen ist aber auch der Versuch einer Vorhersage künftiger Entwicklungen mit Hilfe der Extrapolation von Ausgleichskurven für Daten, in denen sich die in der Vergangenheit beobachtete Entwicklung niederschlägt, unzulänglich. Zuverlässiges Datenmaterial steht nämlich meistens nur über Zeiträume zur Verfügung, die äußerstenfalls vergleichbar sind dem Prognosezeitraum, vielfach jedoch erheblich kürzer. Ohne strengere modellmäßige Begründung lassen sich aber beliebig viele Ausgleichskurven mit Hilfe des Formalismus der kleinsten Quadrate unter nahezu willkürlicher Verwendung mathematischer Funktionen konstruieren und extrapolieren. Es gibt zunächst keinen triftigen Grund für die Annahme, daß die aus praktischen Erwägungen bevorzugten linearen Ansätze anderen Ansätzen überlegen oder von der Sache her gerechtfertigt seien. Die Gefahr der Fehlschätzung, insbesondere bei der Prognose einzelner volkswirtschaftlicher Aggregate und bei der Extrapolation über weite Zeiträume liegt hier aus mehreren Gründen nahe.

- a) Plausibilitätsbetrachtungen und empirisches Datenmaterial allein geben noch keine eindeutigen Kriterien für die Auswahl des "richtigen" Funktionstyps.
- b) Die empirische Analyse der Vergangenheitsentwicklung vermag geringfügige Einflüsse, die erst zu späteren Zeiten merklich ins Gewicht fallen, nicht zu erfassen. Dies gilt erst recht für Einflüsse, die erst im Verlauf der künftigen Entwicklung auftreten werden.

Der hier beschriebene pragmatische Ansatz stützt sich teils auf Zeitreihenuntersuchungen und Trendextrapolationen, teils auf mathematische Modelle, obwohl beiden Vorgehensweisen die genannten methodischen Mängel anhaften. Der Gesamtbereich Elektrische Energie wurde in einzelne Teilbereiche gegliedert, die zunächst isoliert voneinander durch die verschiedenen Arbeitsgruppen bearbeitet werden. Die Teilergebnisse und Teilprognosen werden sodann unter Berücksichtigung vorhandener Kenntnisse über bestehende Abhängigkeiten auf Konsistenz geprüft. Außerdem werden sie angepaßt an die durch Nebengebiete erzwungenen bzw. gegebenen Randbedingungen. So ergab sich ein iteratives Mehrstufenverfahren, wobei die Ergebnisse der einzelnen Teilschritte jeweils den Ansatzpunkt für die Untersuchungen der übrigen Randbedingungen und Eingabedaten führen sollen. Ziel ist die Erarbeitung eines in sich konsistenten und widerspruchsfreien Gesamtmodells, das eine Reihe subjektiver Wertvorstellungen, politischer Rahmenbedingungen und Entscheidungsmöglichkeiten als frei verfügbare Parameter enthält und Aussagen über die Entwicklung des künftigen Stromverbrauchs sowie über den Spielraum,

in dem er durch äußere Maßnahmen beeinflusst werden kann, liefern soll.

Die Aufgabenbereiche der verschiedenen Arbeitsgruppen und ihre jeweiligen Kopplungen sind im Bild 1) dargestellt.

Die Arbeiten sind inzwischen in allen aufgeführten Bereichen angelaufen, teilweise liegen bereits detaillierte Ergebnisse vor; innerhalb dieser Teilbereiche erscheint es möglich, die Konsistenz der Ergebnisse zu wahren, und teilweise sogar eine modellmäßig belegbare theoretische Absicherung zu erreichen. Ebenfalls sind entsprechend den stark hervorgehobenen Verknüpfungen bereits erste Iterationsrechnungen durchgeführt worden.

Im Bereich "Prognose des elektrischen Energiebedarfs, Analyse der Bestimmungsfaktoren" besteht die Aufgabe, die Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs aufzuzeigen und mit Hilfe der gefundenen Abhängigkeiten eine Verbrauchsprognose für die Bundesrepublik Deutschland zu erstellen. Rückwirkungen des Stromverbrauchs auf die Bestimmungsfaktoren sowie deren Einflüsse aufeinander werden dabei zunächst außer Acht gelassen. Im Vordergrund des Interesses stehen wirtschaftliche Faktoren, für die sich funktionale Abhängigkeiten am ehesten angeben lassen. Als wichtige exogene Variable zur Erklärung des Stromverbrauchs werden zunächst grob pauschal das Bruttosozialprodukt, etwas detaillierter dann der Beitrag der Industrie zum Bruttoinlandprodukt, der private Verbrauch sowie ein autonomer zeitlicher Einfluß unterstellt. Die ökonomische Analyse der Vergangenheitsentwicklung unter Aufschlüsselung des Industriestromverbrauchs nach Sektoren wurde inzwischen abgeschlossen, so daß Verbrauchsprognosen in Abhängigkeit von der jeweiligen Entwicklung des Wirtschaftswachstums und der Branchenstruktur möglich werden.

Unmittelbare Verknüpfungen ergeben sich wie dargestellt zu dem Bereich "Prognose der Wirtschaftsentwicklung und der für den elektrischen Energieverbrauch signifikanten Parameter". Gegenstand dieses Teilprogramms ist es, die in dem vorgenannten Bereich benötigten Prognosewerte der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung bereitzustellen. Dabei werden einerseits die wirtschaftlichen Abhängigkeiten berücksichtigt, andererseits aber im Hinblick auf die Lebensgewohnheiten der Bevölkerung und auf politische Rahmenbedingungen der weiteren Entwicklung mögliche Verhaltensweisen in Form von Hypothesen aufgezeigt. Mit der Entwicklung des Strombedarfs in engem Zusammenhang stehen Investitionen, privater Verbrauch und Industrieproduktion. Entsprechende Daten werden durch Disaggregation des Bruttosozialproduktes ermittelt, durch Zeitreihenuntersuchungen und Trendextrapolation vorausgeschätzt und auf Konsistenz geprüft.

Im Teilprogramm "Bedarfsdeckung, Kostenoptimierung" steht ein Modell zur Optimierung des Systems Stromversorgung der Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung, das die gesamten aktualisierten Kosten aus Kraftwerkeinsatz und -zubau im Betrachtungszeitraum erfaßt. Die nichtlineare Zielfunktion wird mit einem Verfahren der Operationsrechnung minimiert, wobei Kraftwerkeinsatz und Zubau, Reserveleistung, Wartung und Ausfall, Primärenergieeinsatz und andere realistische Randbedingungen berücksichtigt

werden. Die unabhängigen Variablen sind die Leistungen der einzelnen Kraftwerkstypen in bestimmten Lastbereichen, die aufgrund geordneter Jahrerzeugungendiagramme erstellt werden. Grundlage für die Konstruktion der Jahrerzeugungendiagramme sind die charakteristischen Tagesganglinien sowie die prognostizierten Werte des Jahresstromverbrauchs. Der Planungszeitraum 1970 - 2000 ist in sechs Perioden aufgeteilt, so daß die Tendenz zur Ver gleichmäßigung der Belastung mit fortschreitender Zeit berücksichtigt werden konnte. Ein besonderer Vorteil des Modells besteht darin, daß es durch die Minimierung der gesamten im Planungszeitraum anfallenden Kosten die künftigen Auswirkungen früherer Entscheidungen zu erfassen vermag. Im Zuge des Rechenprogramms werden wesentliche Kennwerte über Umweltbelastungen, benötigtes Kapital, Brennstoffbedarf u.a. mehr ermittelt. So können die aus dem Ausbau und Betrieb des Kraftwerkparks entstehenden Konsequenzen aufgezeigt werden. Die wirtschaftlichen Daten ermöglichen die direkte Kopplung der vorgenannten Teilprogramme im Sinne des Iterationsverfahrens.

Die umweltrelevanten Daten aus dem Bereich "Bedarfsdeckung" und die ökonomischen Daten aus dem Bereich "Wirtschaftsentwicklung" dienen zur Ankopplung eines multisektoralen Energie- und Umweltplanungsmodells /1/. Damit sollen die Fragen nach Art und Umfang der Schadstoffemissionen, nach Änderung der Kostenstruktur durch Restriktionen seitens des Umweltschutzes und nach der Rückwirkung auf die weitere Entwicklung sowohl im wirtschaftlichen als auch im energiewirtschaftlichen Bereich behandelt werden.

Der Bereich "Gesellschaftspolitische Entwicklungen, Lebensgewohnheiten der Bevölkerung" ist bis jetzt noch nicht sehr systematisch bearbeitet worden. Im Vordergrund des Interesses steht die Nachfrageentwicklung der Haushalte, wobei insbesondere ihre Ausstattung mit besseren und bequemeren Geräten und die Tendenzen zur Verbesserung des Lebensstandards berücksichtigt werden. Ein entscheidender Unsicherheitsfaktor ist z.B. die Raumheizung, die bei einer allgemeinen Umstellung den Anteil dieses Sektors verdoppeln würde. Ohne Raumheizung wird nach ersten qualitativen Analysen der Anteil der Haushalte bis 1990 30 % der gesamten Nachfrage wahrscheinlich nicht übersteigen. Die Einengung der im Haushaltssektor gegebenen Unsicherheit erscheint möglich mit Hilfe der Randbedingungen, die durch die übrigen Bereiche geliefert werden.

Fragen der Energieeinsparung durch neue Technologien werden in einer besonderen Studie behandelt, die ebenfalls vom Bundesministerium für Forschung und Technologie in Auftrag gegeben wurde. Ihre Ergebnisse können auf mehrfache Weise als zusätzliche Rahmenbedingungen in die hier beschriebenen Untersuchungen einfließen. Ebenso ist die Einkopplung des bisher noch nicht behandelten Bereichs "Außenwirtschaft, Rohstoffversorgung" in das hier beschriebene iterative Modell möglich.

III. Stand der Ergebnisse

Vorläufige Abschlußberichte über die Ergebnisse der Teiluntersuchungen werden bis Frühjahr 1975 vorliegen. Darin werden die jeweiligen Prämissen, Näherungen, Verknüpfungen und Folgerungen näher dargelegt werden. Es wird sich eine Erörterung anschließen, in der insbesondere soziologische Aspekte in die Betrachtung einbezogen werden sollen. Aufgrund der ersten Zwischenberichte wurden inzwischen Modellrechnungen mit in sich konsistenten Datensätzen durchgeführt; es wurden Teilergebnisse ausgewiesen, die den anderen Gruppen neue Anknüpfungspunkte lieferten.

Aufgrund der jetzt vorliegenden Ergebnisse kann ausgesagt werden, daß die Annahme eines weiteren Anstiegs des Bedarfs an elektrischer Energie von 7 %/a sich aller Wahrscheinlichkeit nach nicht realisieren lassen wird. Diese Beurteilung gründet sich einmal auf die Betrachtung weit disaggregierter Mengenreihen, die für den Sektor der Energie von Belang sind; hier sind Sättigungstendenzen, teilweise sogar Rückgänge bereits jetzt erkennbar. Zum anderen zeigt die Projektion der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, daß der bisher beobachtete Anstieg des Brutto sozialproduktes sich deutlich verlangsamen wird. (Durchschnittliche Wachstumsraten zwischen 1970 und 1985 etwa 2,8 %/a zwischen 1985 und 2000 etwa 2,1 %/a). Mit diesen Ergebnissen werden zur Zeit mittlere Wachstumsraten des Nettostromverbrauchs von 5,5 %/a bzw. 4,9 %/a abgeschätzt. Mit Hilfe dieser Voraussetzungen und neuer Daten, die die aktuellen Kosten und Preise im Kraftwerksektor (Stand Herbst 1974) berücksichtigen, wurden abermals Optimierungsrechnungen zum System Kraftwerkzubau und -einsatz durchgeführt. In den Bildern 2) bis 5) sind einige typische Ergebnisse dieses Rechenlaufs dargestellt.

Man erkennt aus den Bildern 2) bis 4), daß der gesamte Zubau im Planungszeitraum fast ausschließlich vom Kraftwerktyp des LWR bestritten wird. Lediglich in den beiden letzten Planungsperioden entfallen merkliche Anteile auf die Gasturbine und das Steinkohlenkraftwerk. Der Zubau der Gasturbine dient zur Spitzenlastdeckung, der Zubau der Steinkohlenkraftwerke resultiert aus der zugrundegelegten Bedingung konstanter Verstromung, aus der Verdrängung der Steinkohlenkraftwerke in höhere Lastbereiche und aus dem Ersatz veralteter Anlagen.

Auch bei den übrigen konventionellen Kraftwerken läßt sich die Verdrängung in höhere Lastbereiche verbunden mit einem Abfall der Ausnutzungsdauer beobachten. Festzuhalten ist ferner, daß das Öl seine ohnehin beschränkte Bedeutung auf dem Kraftwerksektor bereits in den nächsten beiden Planungsperioden verlieren wird.

Aufgrund der heute verfügbaren Kostendaten für den HTR und SBR ergibt sich im gesamten Planungszeitraum kein nennenswerter Beitrag dieser Linien zur Stromerzeugung (installierte Nettoengpaßleistung jeweils ca. 0,4 GW). Allerdings ist zu berücksichtigen, daß das ökonomische Potential dieser Linien sich nicht allein auf die Erzeugung elektrischer Energie gründet.

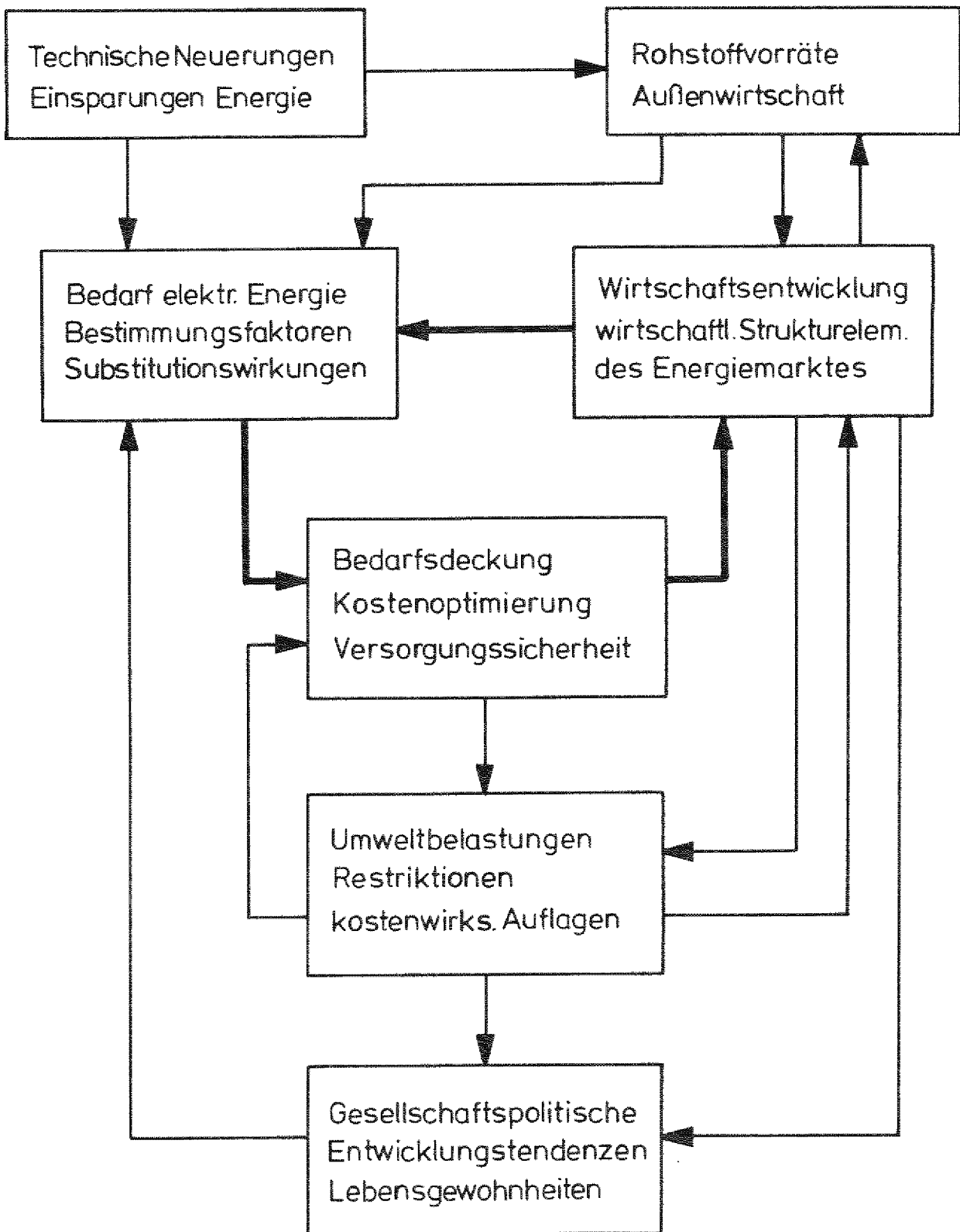
Aufgrund der ausgewiesenen Zubauraten ergeben sich Gesamtinvestitionen in Höhe von 40 bis 45 Mrd. DM für den Zubau allein von Kraftwerken im Zeitraum 1975 - 1985. Dieses Ergebnis ist in mehrfacher Hinsicht interessant:

- a) Es beruht auf Vorausschätzungen, die geringere Zuwachsraten als die bisher angenommenen ausweisen. Die erheblich höheren Angaben z.B. in dem Bericht der Dresdner Bank zur "Energiewirtschaftlichen Entwicklung in der BRD bis 1980/85" /2/ basieren auf den Annahmen einer fast ungeminderten Steigerungsrate im Stromverbrauch und einer jährlichen Inflationsrate von 6 %/a.
- b) Die im Bericht der Dresdner Bank dargelegten Finanzierungsschwierigkeiten dürften jedoch, den ersten Schätzungen zufolge, bereits bei den hier als wahrscheinlich aufgezeigten "relativ niedrigen" Investitionen auftreten. Danach wären Investitionen dieser Höhe nur unter der Annahme wesentlicher Verschiebungen innerhalb der Investitionsstruktur als unproblematisch anzusehen.

Inwieweit der hier gewählte pragmatische Ansatz sich als Prognosemodell für den Gesamtbereich elektrische Energie eignet bzw. sich zu einem solchen ausbauen läßt, kann entsprechend dem jetzigen Stand der Untersuchungen noch nicht abschließend beurteilt werden. Es besteht begründete Aussicht, auf dem hier gezeigten Wege relativ einfach und vor allem jederzeit kontrollierbar zu verwertbaren Aussagen zu kommen. Diese betreffen insbesondere das Gebiet der Elektrizitätsausbaukonzeptionen. Darüber hinaus gestattet der hier gewählte Ansatz die Einbeziehung weiterer Unterbereiche, die entweder als äußere Rahmenbedingungen vorgegeben oder modellintern verknüpft werden können, so daß sowohl die Verbindung zu anderen Modellansätzen gegeben ist wie auch die Möglichkeit zu weiterführenden Untersuchungen.

Literaturhinweise

- /1/ Siehe den Beitrag "Ein multisektorales Energie- und Umweltplanungsmodell", von H.P. DÖLLEKES, Universität Münster.
- /2/ Energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis 1980/85, Herbst 1974, Dresdner Bank.



Tätigkeitsbereiche der Arbeitsgruppen

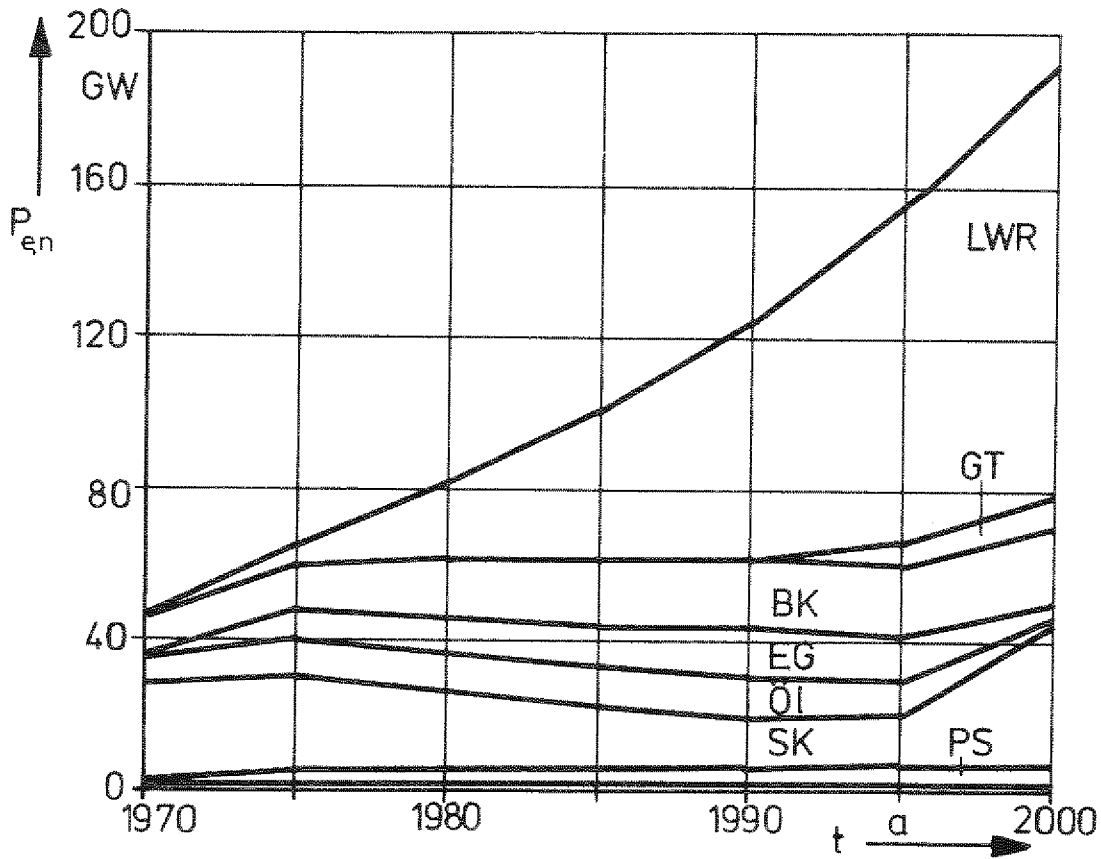


Bild 2: Optimale Verteilung der installierten Nettoengpaßleistung

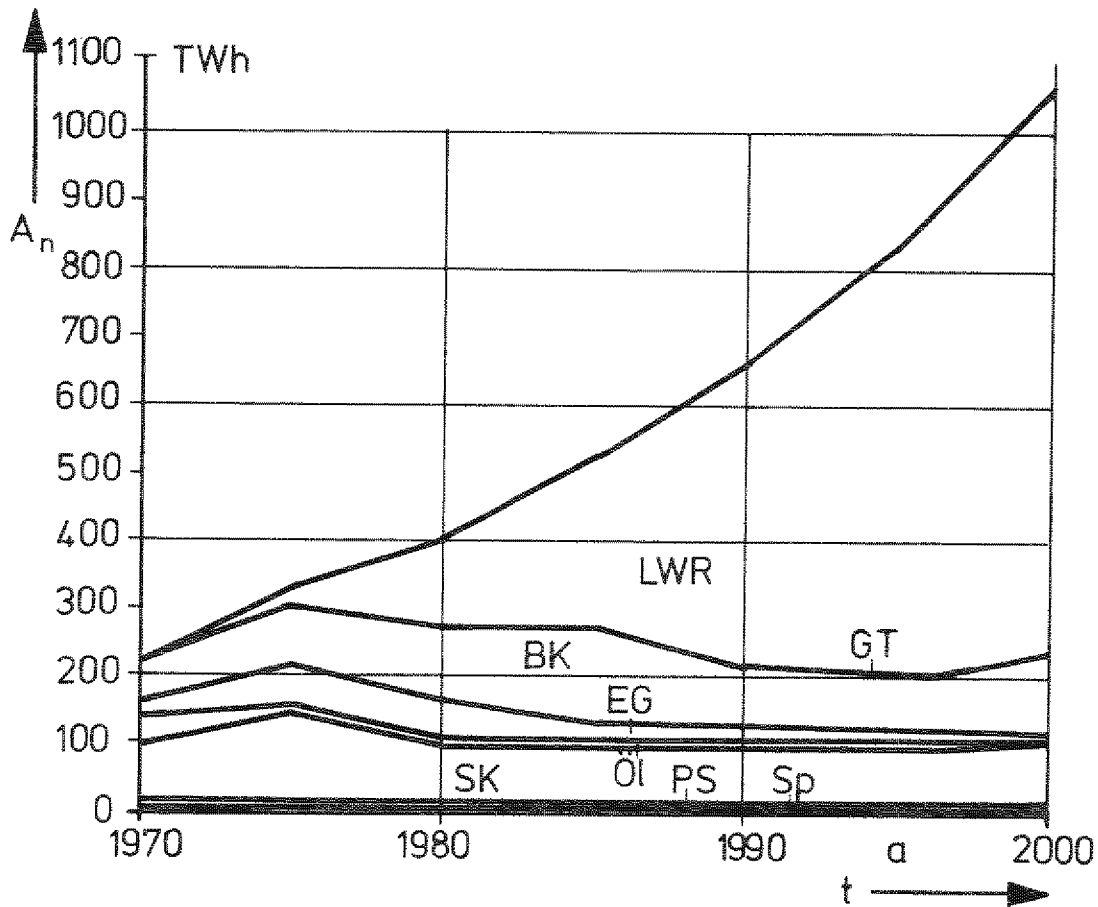


Bild 3: Optimale Verteilung der installierten Nettostromerzeugung

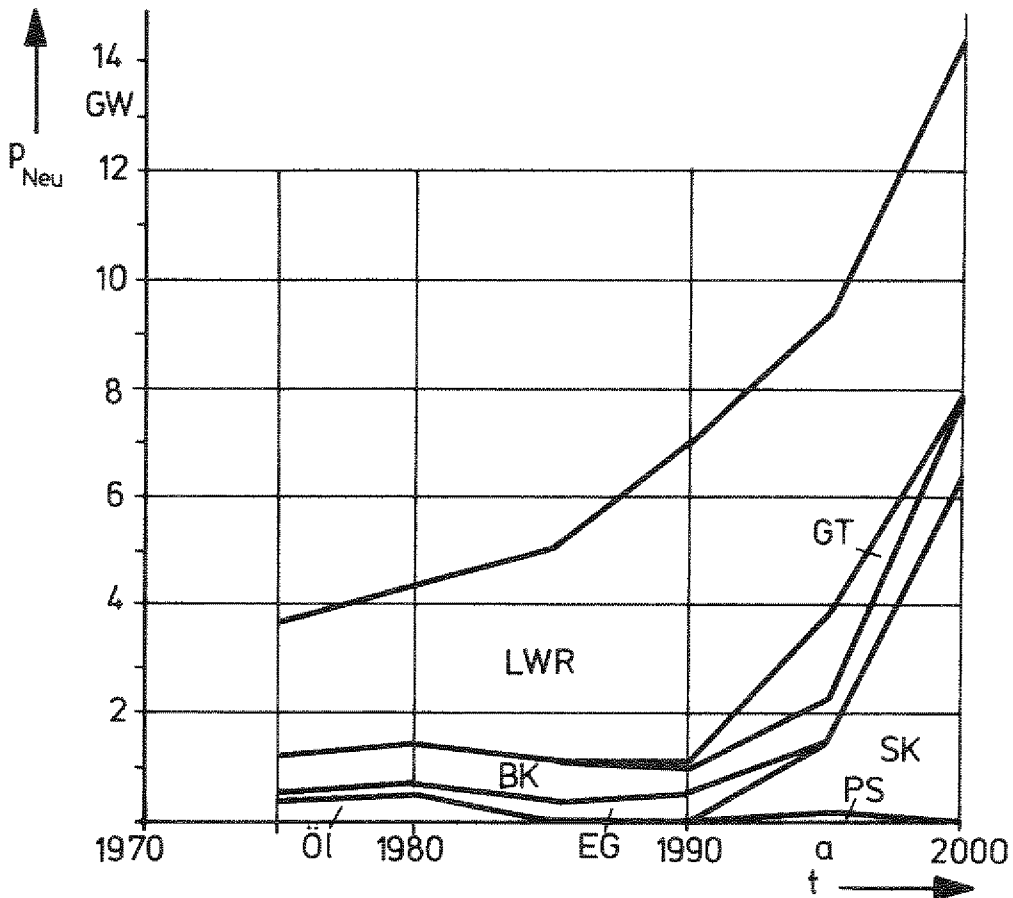


Bild 4: Aufteilung der jährlichen Zubauleistung auf die einzelnen Kraftwerktypen

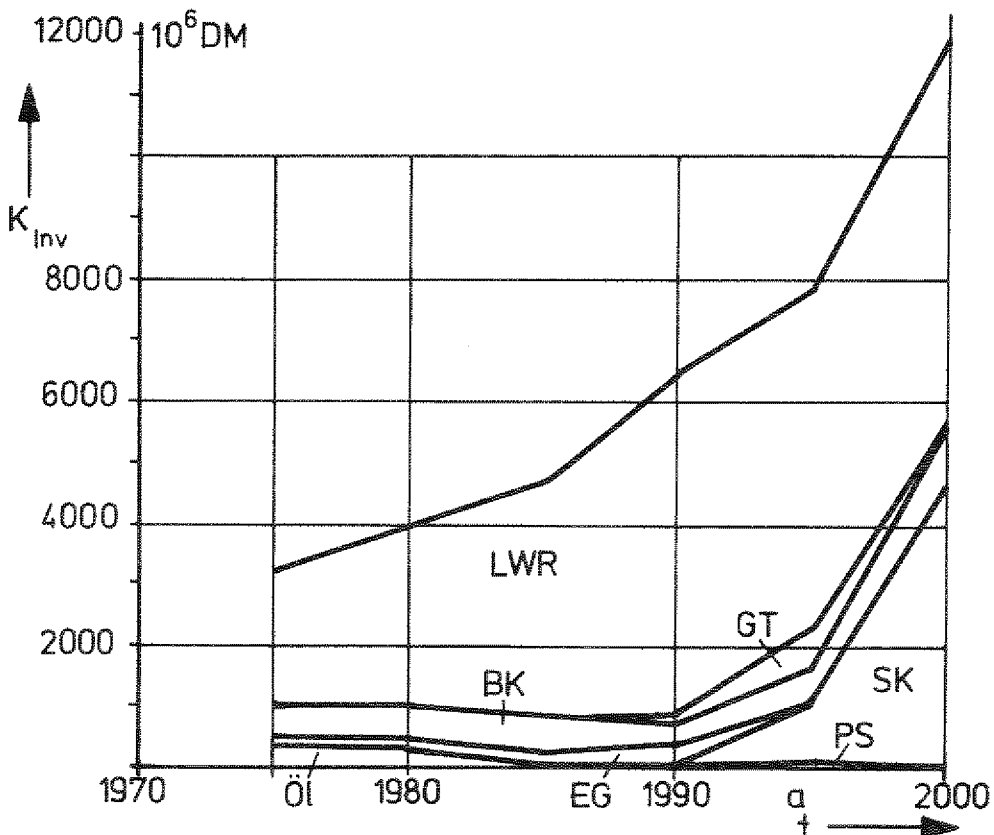


Bild 5: Aufteilung der jährlichen Investitionskosten für den Zubau der einzelnen Kraftwerktypen

DISKUSSION

H. Krämer, KFA Jülich: Bei Betrachtung der von Ihnen prognostizierten Zubauraten für den HTR und SNR meine ich, daß Ihr Modell innerhalb des BMFT noch keine volle Glaubwürdigkeit erreicht hat. Anderenfalls könnte ich die weitere Förderung dieser Reaktorlinien durch das BMFT nicht verstehen.

E. Geißler, KFA Jülich: Das ökonomische Potential des HTR gründet sich vor allem auf die Möglichkeiten seines Einsatzes zur Produktion anderer Edelenergien und in der Wärmekraftkopplung - nicht allein auf die Erzeugung elektrischer Energie. Mit Rücksicht auf die erreichbaren Gesamtwirkungsgrade wird der HTR wahrscheinlich im Verbund mit elektrischer Energieerzeugung in Koppelkraftwerken eingesetzt werden. Die künftige Bedeutung des SBR besteht darin, daß er durch effektive Vergrößerung der verfügbaren Brennstoffvorräte die langfristige Sicherung der Energieversorgung zu gewährleisten vermag. Vom Entwicklungsstand her ist mit einem vermehrten Schnellbrüttereinsatz erst ab Beginn der 90er Jahre zu rechnen. In den vorgestellten Ergebnissen wurden die heute verfügbaren Kostendaten für Kraftwerkanlagen zugrundegelegt - zunächst nur unter dem Aspekt der kostengünstigsten Stromerzeugung. Dieses Bild mag sich ändern, wenn die Eingabedaten aufgrund der Ergebnisse, die vornehmlich in den Bereichen "Außenwirtschaft", Rohstoffversorgung" bzw. "Substitutionen, Technische Neuerungen" zu erarbeiten sind, aber noch nicht zur Verfügung stehen, modifiziert werden müssen.

G. Modemann, RWTH Aachen: Statement als Mitautor obigen Beitrags: Eine provokative Wertung verschiedener Ansätze des heutigen Tages

- 1) Bossel, Karlsruhe: Nachbildung des Energiemarktes im Netzwerk nur durch Addition, Subtraktion und Multiplikation.
- 2) Gesamtmodelle (u.a. Voß, Jülich) - Vorbehalt, ob Teilbereiche durch analytische Funktionen und Gleichungssysteme darstellbar sind beim derzeitigen Wissensstand.
- 3) Vorgestellter Arbeitskreis mit Teilmodellen, die einzelne Fachleute iterativ miteinander verknüpfen.

J. Bürstenbinder, ZBZ, Berlin: Im ersten Teil Ihres Vortrages sagten Sie, daß Ursachenforschung für den Energieverbrauch und die Verwendung von e-Funktionen betrieben werden sollen,

gleichzeitig aber kein Gesamtmodell erarbeitet werden soll. Wie schlagen Sie die Brücke von der Ursache Energieverbrauch zur Deckung dieses Bedürfnisses? Verwenden Sie die Extrapolationsverfahren zur Erstellung in sich konsistenter Daten, die Sie unzulänglich nannten, weil Ihnen kein besseres Verfahren zur Verfügung steht?

E. Geißler:

1. Die Möglichkeit zur Erarbeitung eines Gesamtmodells ohne hinlängliche Kenntnis der Ursachen, die einzelnen Entwicklungen in diesem Modell zugrunde liegen, ist nach allem, was wir über naturwissenschaftliche Systementwicklungen wissen, als sehr gering einzuschätzen. Die Brücke wird durch die Methode der Naturwissenschaftler "Systematische Beobachtung und Ausrichtung der Spekulation auf die Beobachtungen und eine längere Zeit der gegenseitigen Betrachtung" geschlagen.
2. Ja, allerdings nannte ich nicht die erhaltenen Daten unzulänglich (für unsere Zwecke schon gar nicht), sondern die verfügbaren Methoden, mit denen man zur Zeit an Gesamtmodellen baut.

M. Bald, KWU, Frankfurt: Die Entwicklung des Stromverbrauchs wurde von der Entwicklung des Bruttosozialproduktes, von der industriellen Produktion und vom Konsum abhängig gemacht. Nun sind von der Definition her die beiden letztgenannten Größen Teile des BSP. Wegen der hierbei zwangsläufig auftretenden Autokorrelation dürfte eine solche Vorgehensweise bei der Schätzung des Stromverbrauchs problematisch sein. Die Schätzung der installierten Kraftwerksleistung der BRD für das Jahr 2000 erbrachte nach dem gezeigten Bild Werte um 190 GW. Unsere hauseigenen Schätzungen liegen erheblich höher. Dieser sehr niedrige Wert von 190 GW scheint mir auch als pessimistische Variante aus heutiger Sicht nicht realistisch. Eines der gezeigten Bilder brachte nach 1990 einen starken Anstieg der Kohlekraftwerke. Dieser Punkt sollte vielleicht etwas näher erläutert werden, u.a. auch im Hinblick auf die dann notwendige Ausweitung der Kohleförderung.

E. Geißler:

1. Entwicklung des Stromverbrauchs:

Die Regressionsrechnungen zur Bestimmung der Abhängigkeit zwischen Stromverbrauch und volkswirtschaftlichen Kenngrößen verwenden zunächst die Gesamtaggregate, also im einfachsten Fall das BSP. Die Gesamtaggregate werden dann sukzessive aufgespalten, das BSP z.B. im zweiten Schritt in den Beitrag der Industrie zum BIP und in den privaten Verbrauch. Weitere Verfeinerungen werden schrittweise und mit der nötigen Vorsicht vorgenommen, aber niemals so, daß neben den Teilaggregaten noch die Gesamtaggregate auftreten. Diese Vorgehensweise dürfte die von Ihnen befürchteten Autokorrelationen ausschließen. Rückwirkungen des Stromverbrauchs auf die disaggregierten Bestimmungsfaktoren sowie deren

Einflüsse aufeinander können allerdings zunächst nicht ausgeschlossen und nicht berücksichtigt werden. Aufgrund der wiederholten Konsistenzprüfungen und der iterativen Vorgehensweise bereits in den einzelnen Teilbereichen glauben wir aber, grobe systematische Fehlschlüsse vermeiden zu können.

2. Schätzung der installierten Kraftwerkleistung:
Die vorgestellten Werte wurden nicht unter pessimistischen Annahmen abgeleitet. Es trifft zu, daß sie, verglichen mit früheren Schätzungen, sehr niedrig liegen. Andererseits ist zu bedenken, daß die bloße Extrapolation des bisherigen Verlaufs durch realistische Bilder noch nicht begründet worden ist und wahrscheinlich auch nicht begründet werden kann.

3. Kohlekraftwerke:

Als Randbedingung wurde zugrunde gelegt, daß eine bestimmte, z.B. gesetzlich festgelegte Menge Steinkohle auch weiterhin verstromt werden wird. Der Zubau der Kohlekraftwerke in den beiden letzten Planungsperioden resultiert aus dieser Bedingung, aus der Verdrängung der Steinkohlenkraftwerke in höhere Lastbereiche und aus dem Ersatz veralteter Anlagen. Eine Ausweitung der Kohleförderung ist nicht notwendig mit der Bedingung konstanter Steinkohleverstromung verbunden.

H. Krämer, KFA Jülich: Der relativ steile Zubauanstieg von Kohlekraftwerken gegen Ende dieses Jahrhunderts bei gleichbleibendem Kohleabsatz kann nur so verstanden werden, daß diese Kraftwerke nur bei Spitzenkraft betrieben werden. Haben Sie in Ihrem Modell zeitliche Veränderungen der Jahresdauerlinie vorgesehen?

E. Geißler: Mit dem Optimierungsmodell können zeitlich veränderliche Jahreserzeugungsdiagramme bearbeitet werden. In vorliegender Rechnung wurde davon ausgegangen, daß die Tendenz zur Vergleichmäßigung der Belastungscharakteristiken im gesamten Planungszeitraum anhält. In den 6 verschiedenen Planungsperioden wurden dementsprechend verschiedene, mit fortschreitender Zeit gleichmäßiger werdende Lastkurven zugrunde gelegt. Die Jahreserzeugungsdiagramme werden mit Hilfe charakteristischer Tageslastdiagramme - wechselnd während des ganzen Jahres - unter Berücksichtigung der variierenden Lastbereiche ermittelt. Daß die Kohlekraftwerke in höhere Lastbereiche verdrängt werden, folgt bereits aus den hier dargestellten Ergebnissen, ist aber auch ein oben nicht näher dargestelltes Ergebnis der Optimierungsrechnungen. Ihnen liegt die Bedingung konstanter Steinkohleverstromung zugrunde.

R. Quack, Universität Stuttgart: Die Autoren geben an, daß die in der Vergangenheit über Jahrzehnte konstante Zuwachsrate des Elektrizitätsbedarfs von etwa 7 %/Jahr sich in Zukunft auf 5,5 bzw. 4,9 %/Jahr verringert. Dazu ist zu sagen, daß in den letzten Jahren der Zuwachs des Stromver-

brauchs der Industrie schon rückläufig war, daß dies aber durch eine stärkere Zunahme des Haushaltsstromverbrauches in etwa kompensiert wurde. Es erhebt sich also nun die Frage, ob bei einer sich abzeichnenden Sättigung des Haushaltsstrombedarfs ein anderer Verbrauchssektor in die Bresche springen wird, so daß die Anstiegsrate des Gesamtbedarfs doch wieder den traditionellen Betrag von etwa 7 %/Jahr erreicht. Als solche neuen Sektoren wären denkbar: Aufwendungen für verstärkten Umweltschutz oder im Zusammenhang mit der zunehmenden Rohstoffverknappung die energieaufwendigere Verarbeitung ärmerer Erze etc., oder das ebenfalls energieaufwendigere Recycling, die Wiedernutzbarmachung von Stoffen aus dem Abfall. Dabei bleibt aber noch die Frage offen, in welchem Land der Erde ein solcher Energiebedarfszuwachs infolge der Investierung neuer Produktionsstätten anfallen wird. Da zukünftige Investitionen nicht von uns allein, sondern in zunehmendem Maße von den roh- und brennstoffreichen Ländern finanziert werden, ist anzunehmen, daß diese Länder bevorzugt dort investieren werden, wo man bereit ist, für niedrige Löhne und lange tägliche Arbeitszeit effektiv zu produzieren, und so den Kapitalgebern maximal zu dienen. Unser Schicksal in der Bundesrepublik und in Westeuropa kann sich möglicherweise in dieser Richtung entwickeln.

H.W. Schmidt, RWI, Essen: Die Zahlen, die Sie, Herr Geißler, für das Wachstum des Bruttosozialproduktes und des Bruttostromverbrauches genannt haben, sind auf den ersten Blick verblüffend. Sie dürften beträchtliche Auswirkungen auf zukünftige Wachstumsraten des Primärenergieverbrauchs haben, sie dürften, Effekte der Energieeinsparung unterstellt, deutlich unter denen des Bruttosozialproduktes liegen und auch beträchtliche Konsequenzen für den zukünftigen Anlagenzugang im Elektrizitätssektor haben. Meine Frage: Haben Sie bei Ihren Arbeiten noch alternative Vorstellungen über das Wachstum des Bruttosozialproduktes und des Bruttostromverbrauches entwickelt? Welche Lastverteilung und welche Struktur der Stromerzeugungskosten haben Sie Ihrem Diagramm über den Zugang von Anlagen zugrundegelegt?

E. Geißler: Zu den Alternativen kann ich Ihnen eigentlich jetzt nichts sehr Verbindliches sagen. Sie wissen, daß man über Alternativen zunächst recht spekulativ argumentieren kann. Uns kam es darauf an, sehr schnell zu praktisch verwertbaren Aussagen zu kommen und die Spekulationen bis Frühjahr 1975 etwas hintenanzustellen. Dann wollen wir sehr stark die Anregungen gerade von der soziologischen Seite hören und auch die gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen, die bisher noch nicht in unserem Modell enthalten sind, berücksichtigen.

U. Däunert, BMFT, Bonn: Bemerkung zur Zielsetzung dieser Arbeiten:
1. Hauptwert des Ansatzes liegt darin, daß durch Iterationsschritte interessierende Kenngrößen eingeeengt werden kön-

nen. Bisher sind noch nicht alle Iterationsschleifen für die verschiedenen Einflüsse in Funktion. Ergebnisse sind daher nur mit Vorbehalt zu sehen, die sich bei weiteren Iterationen (z.B. Umwelteinflüsse) ändern können.

2. Präsentation zum heutigen Zeitpunkt erfolgt, um aufzuzeigen, daß Modelle so entwickelt werden können, daß andere Modelle iterativ angekoppelt werden können.

EIN MULTISEKTORIALES ENERGIE- UND UMWELTPLANUNGSMODELL

H. P. Döllekes
Sonderforschungsbereich 26
Raumordnung und Raumwirtschaft
Universität Münster
Münster

So umfassend die Energie- und Umweltprobleme in der Vergangenheit dargestellt, diskutiert und verbal problematisiert wurden, so wenig haben insbesondere wirtschaftswissenschaftliche Beiträge in der Vergangenheit konkrete Entscheidungshilfen für die politische Ziel- und Instrumentenfindung (vgl. dazu die Diskussion über "external diseconomies") geboten.

Erst jüngere Artikel von LEONTIEF, ISARD, LEHBERT, TATEMATO, KNEESE, FÖRSUND, STRÖM, RUSSEL und THOSS, die ökologische Betrachtungen in die ökonomische Analyse einbeziehen, weisen einen Weg, der nicht nur einen Fortschritt für die Theorie der Wirtschaftspolitik, sondern auch einen ökonomischen Beitrag zur Lösung praktischer Energie- und Umweltprobleme verspricht.

Auch der auf dem Gebiet der Energie- und Umweltplanung arbeitende Forscher hat sich vor der seine Arbeiten erst ermöglichen Gesellschaft zu rechtfertigen. Dieser Gesellschaft ist langfristig weder durch eine Produktion von Katastrophenvisionen gedient, noch durch eine feine gedankliche Ableitung ökonomischer Theoreme unter völlig realitätsfernen Annahmen.

Erforderlich ist eine formalisierte Darstellungsweise, um einerseits die komplexe Energie- und Umweltstruktur übersichtlich und durchschaubar erfassen und darstellen zu können sowie andererseits die Voraussetzungen für die Quantifizierung zu sichern. Der politische Handlungsraum, innerhalb dessen die Variablen zu ermitteln sind, ist durch Zielsetzungen, Aktivitäten und Constraints zu bestimmen.

Soweit sich die einem Problem zugrunde liegenden Zusammenhänge annähernd in Form linearer Funktionen darstellen lassen, kann zur Lösung von komplexen Entscheidungsmodellen die Methode der mathematischen linearen Programmierung angewandt werden.

Für eine fein gegliederte Analyse ist ferner ein Instrument er-

forderlich, das die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wirtschaftssektoren in bezug auf die Entstehung von "goods" und "bads" im Zuge der Produktion und Konsumtion beschreibt. So führt zum Beispiel die Verschärfung von Umweltqualitätsstandards bei unveränderten technologischen Entsorgungsaktivitäten zu Reduktionen besonders umweltbelastender Produktionsaktivitäten und damit zu wechselseitigen Konsequenzen in den Vorleistungsaktivitäten. Hier bietet sich die Input-Output-Analyse an. Sie wurde von ihrem "Erfinder" LEONTIEF durch Einbeziehung von Umweltbelastungs- und Entsorgungsaktivitäten erweitert.

Eine differenzierte Betrachtung der ökologischen Zusammenhänge wird schließlich ermöglicht durch die Einführung von Schadstoffbilanzen, die die Herkunft und den Verbleib einzelner Umweltbelastungsstoffe beschreiben.

Betrachten wir diese Komponenten - Lineare Programmierung, Vorleistungsverflechtung, Schadstoffbilanzen - zusammen, so können im Rahmen einer als Programmierungsmodell formulierten, erweiterten Input-Output-Analyse die volkswirtschaftlich gewünschten Güter, die "goods", und die umweltbelastenden unerwünschten Kuppelprodukte, die "bads", durch ein System von Gleichungen und Ungleichungen erfaßt und simultan - unter den jeweiligen Umweltrestriktionen und Normen - optimal bestimmt werden.

Die Bedeutung dieser Methode liegt vor allem darin, daß die im Rahmen energie- und umweltökonomischer Systemzusammenhänge relevanten Interdependenzen explizit erfaßt werden können. Der politische Entscheidungsträger erhält auf diese Weise konkrete Ansatzpunkte und Entscheidungshilfen zur Zielfixierung und Dosierung potentieller Umweltstrategien.

Der besondere praktische Nutzen dieser Konzeption ist darin zu sehen, daß die jeweils berechneten optimalen Lösungen die Opportunitätskosten der unterschiedlich fixierbaren Standards aufzeigen. Jedem Nutzen einer ökologischen oder energiepolitischen Normenerhöhung können die ökonomischen Kosten gegenübergestellt werden. Der Politiker hat in diesem Fall zum Ausdruck zu bringen, welchen Beitrag des einen Ziels er bereit ist aufzugeben, um eine Einheit des anderen Ziels zu erhalten. Darin liegt unserer Meinung nach ein wesentlicher Beitrag, die größtenteils emotionsgeladene Diskussion über Umwelt- und Energieprobleme rationalisieren zu können.

So können z.B. umweltorientierte, wirtschaftspolitische Fragestellungen der folgenden Art beantwortet werden:

- Welche Mischung der Wirtschaftsbranchen und der Energieträger ist in der Region anzustreben?
- An welcher Stelle ist die Emission von Schadstoffen vorrangig zu drosseln?
- An welcher Stelle sind vorrangig neue Technologien zur Einsparung von Energie einzuführen?
- Welche Auswirkungen haben neue Technologien für Gesamt-

wirtschaft, Energiewirtschaft und Umwelt?

- Welche Auswirkungen haben Verschärfungen von Umweltstandards auf Mischung der Wirtschaftsbranchen, der Energieträger?

Lassen Sie mich nun verdeutlichen, meine Damen und Herren, wie das Instrumentarium zu gestalten ist, um derartige Fragestellungen bearbeiten zu können. Ich beziehe mich dabei auf einen regionalen Ansatz, weil damit zugleich Grundelemente und Hauptbestandteile einer Regionalisierung und Dynamisierung angesprochen werden.

Eine Regionalisierung würde lediglich für jede Region entsprechend ihrer Besonderheiten ein der noch vorzustellenden Grundkonzeption entsprechendes, modifiziertes Modell erfordern, deren Verknüpfung über tautologische Ex- und Import-Beziehungen herzustellen wäre.

Eine Dynamisierung verursacht ebenso wenig grundsätzliche Schwierigkeiten. Die Grundkonzeption ist zu einer zeitlich vertikalen Sequenz gleicher Modelltypen auszubauen, die im Rahmen eines Simulationsmodells mit Hilfe der Methode der rekursiven Programmierung zu verbinden sind.

Weiterhin werde ich die Umweltprobleme auf die Luftbelastung beschränken. Die Begrenzung auf diesen Teilkomplex soll jedoch keineswegs den umfassenden Systemzusammenhang der Umweltproblematik verkennen. Die vorzustellende Konzeption ist vielmehr so ausgerichtet, daß jederzeit nach dem Baukastenprinzip eine Ankoppelung an andere Submodelle, die Probleme der Flächennutzung, des Mülls und Klärschlammes und der Abwasserbehandlung, vorgenommen werden kann. Diese Vorgehensweise führt zu dem von THOSS und Mitarbeitern konzipierten, umfassenden Entscheidungsmodell für eine integrierte Struktur- und Umweltplanung /1/ (vgl. Schaubild 1).

Integrale Strukturelemente der Grundkonzeption des hier zu beschreibenden multisektoralen Energie- und Umweltplanungsmodells bilden

- Sektorenbilanzen, die die interdependenten Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wirtschaftssektoren in bezug auf die Entstehung von "goods" und "bads" im Zuge der Produktion und Konsumtion beschreiben und
- Energiebilanzen, die in Form einer statistischen Übersicht die energiewirtschaftliche Struktur, d.h. den gesamten Energiefluß aller zu betrachtenden Energieträger vom Aufkommen bis zur Verwendung darstellen.

Daneben werden die Emissionen produktionstechnischer und energetischer Aktivitäten erfaßt sowie eine Reihe verschiedener Constraints fixiert.

Für dieses Modell wird die Fragestellung der traditionellen Input-Output-Analyse umgekehrt. Also nicht Umfang und Zusammen-

setzung der Wirtschaftsbranchen, Energieträger und Emissionen bei zunehmender Endnachfrage im prognostischen Sinne sind zu analysieren, sondern es werden u.a. Beschäftigten-, Energieträger- und Emissions-Standards vorgegeben und die Grenzen des Wachstums einer Region bestimmt, die zu erreichen sind, ohne daß die natürliche Lebensgrundlage in der Region gefährdet wird. Die unter diesen Nebenbedingungen zu berechnende Optimallösung zeigt die anzustrebende Mischung der Wirtschaftsbranchen und der Energieträger.

Einen schematischen Überblick über die Konzeption des Planungsmodells vermittelt die Restriktionsmatrix (vgl. Schaubild 2). In den Spalten sind die Aktivitäten aufgeführt (vgl. Kopfzeile). Die Zeilen beschreiben die Bedingungen, denen alle energie- und umweltbeeinflussenden Aktivitäten der Region zu genügen haben.

Die Aktivitäten des Modells sind so gewählt, daß eine möglichst umfassende Planung der Energie- und Umweltpolitik ermöglicht werden kann. Eine Aktivität ist definiert als jeweilige Spalte, die einen Vektor aus unterschiedlichen Koeffizienten enthält. Die Aktivität X_1 beschreibt also z.B. den Prozeß der Produktionstätigkeit der Wirtschaftsbranche 1. Alle Aktivitäten bzw. deren Niveaus werden in absoluten Größen ausgedrückt, deren Dimensionen in der Kopfzeile aufgezeigt sind.

Neben den als Spalten-Vektoren definierten Aktivitäten beschreibt die letzte Spalte der Restriktionsmatrix die zu fixierende "Right-Hand-Side", deren Werte im Zusammenhang mit den Constraints fixiert werden.

Graphisch sind diese Constraints als ein System von Gleichungen und Ungleichungen dargestellt, deren Konkretisierung sich dadurch ergibt, daß die innerhalb der Kästchen stehenden numerischen Koeffizienten mit den zu suchenden Aktivitätsniveaus multipliziert werden. Das System beschreibt das der Planung der Energie- und Umweltpolitik zugrunde liegende ökonomische Modell durch einen Satz quantifizierter Beziehungen zwischen den Variablen und spiegelt ein vereinfachtes Abbild des umweltökonomischen Ablaufs wider. Die "goods" - volkswirtschaftlich nachgefragte Güter und Dienste - und die "bads" - Schadstoffe, wie z.B. Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid - können unter Berücksichtigung der formulierten Constraints, wie z.B. Beschäftigten-, Energie- und Emissions-Standards, simultan bestimmt werden. Die Aktivitätsniveaus, die bei Einhaltung der Nebenbedingungen zu einer Maximierung der Zielfunktion führen, stellen die Optimallösung dar.

Betrachten wir die Restriktionsmatrix etwas näher, so zeigen die ersten Spalten die Aktivitäten der volkswirtschaftlichen Endnachfrage, die in der dargestellten Form auch in der DIW-Matrix enthalten sind /2/. Aufgeführt sind Bruttoinlandsprodukt (Y), privater und staatlicher Konsum (C_{pr} und C_{st}), private und öffentliche Investitionen (ΔK), Exporte (E), Importe (M) und Lagerveränderungen (ΔV). Die Aktivitäten "Exportüberschüsse" (E-M) und die positiven "Lagerveränderungen" (ΔV) werden in die Zielfunktion mit negativer Gewichtung eingehen. Die Exportüberschüsse deshalb, weil permanente Zahlungsbilanzüberschüsse letztlich

Verlust an heimischen Gütern bedeuten, was volkswirtschaftlich unerwünscht ist. Zugleich sollen ökonomisch unerwünschte Lagerveränderungen klein gehalten werden /3/.

Die Aktivität "Bruttoinlandsprodukt" (Y) geht mit positiver Gewichtung in die Zielfunktion ein. Das Volkseinkommen wird unter den gegebenen Bedingungen zu maximieren sein. Außerdem ist die Einführung dieser Aktivität notwendige Voraussetzung für die Formulierung der gesamtwirtschaftlichen Güterverwendungsstandards.

Die nachfolgenden Spalten erfassen die Sektoren und Produktionsprozesse X_j^k . Der Index j bezeichnet den Sektor ($j=1, \dots, 56$) und k den jeweiligen Prozeß innerhalb eines bestimmten Sektors j (vgl. Tabelle 1).

Die Übernahme der von dem Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung in der Input-Output-Rechnung für die Bundesrepublik Deutschland enthaltenen 56 Wirtschaftssektoren ermöglicht die Erfüllung der oben angesprochenen Forderung nach einer expliziten Erfassung der ökonomischen Struktur. Über die "DIW-Matrix" werden die ökonomischen Interdependenzen zwischen den Produktionssektoren erfaßt. Die stärkere Disaggregation der Sektoren 2, 4 und 7 ist zum einen eine notwendige Voraussetzung einer sinnvollen Integration der Energiebilanz in unser Modell. Zum anderen werden dadurch neben limitationalen - vgl. den Teil der Beziehung des offenen statischen Input-Output-Modells einschließlich der Energieträger als "commodities" - substitutionale Produktionsfunktionen für den Bereich der Energiewirtschaft eingeführt. Die sogenannte Prozeßsubstitution kann damit explizit eingeführt werden, d.h. das Gleichungssystem beinhaltet Beziehungen, die wie im Rahmen sog. verallgemeinerter Input-Output-Modelle verwendet werden /4/.

Die nächsten Spalten weisen den Energiebedarf aus, der getrennt erfaßt wird für

limitationale (D_{Ut}^L und D_{Tt}^L)

und substitutionale ($D_{2t}^1, D_{2t}^2, D_{2t}^3, D_{2t}^4$ und D_{Ct}^5)

Inputs sowie für Exporte (T_{Et}), Importe (T_{Mt}), Bestandsentnahmen (B_{Nt}) und Bestandszunahmen (B_{Zt}).

Die limitationalen Inputs werden gesondert erfaßt für den Bedarf in den Gewinnungs- und Umwandlungssektoren (D_{Ut}^L) und für den Bedarf in den Endverbrauchssektoren (D_{Tt}^L). Die Sektoren "Öffentliche Wärmekraftwerke" (D_{2t}^1), "Zechen- und Grubenkraftwerke" (D_{2t}^2), "Industriekraftwerke" (D_{2t}^3) und "Fernheizwerke" (D_{2t}^4) sind Subsektoren der Wirtschaftsbranche 2 (Elektrizitätswirtschaft). Der gestrichelte Spaltenblock im Bereich der Sektoren- und Produktionsprozesse soll verdeutlichen, daß die in der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland ausgewiesenen Energieträger in limitationaler Form hier ersetzt werden durch substitutionale Produktionsprozesse - Strom kann wahlweise in Prozeß 1, 2 oder 3 erzeugt werden /5/ - und substitutionale Verbrauchsprozesse - Strom in Prozeß 1, 2 und/oder 3 kann wahlweise durch Einsatz der Energieträger Erdgas oder Heizöl

oder Steinkohle oder Braunkohle u.a.m. bereitgestellt werden. Die in den jeweiligen Spaltenblöcken erfaßten Energieträger ($t=1, \dots, 34$; vgl. Tabelle 2) repräsentieren den jeweiligen Kraftwerkstyp (z.B. Steinkohlenkraftwerk, Braunkohlenkraftwerk).

Die explizite Berücksichtigung des Haushaltsbereichs gewinnt angesichts seiner zunehmenden Bedeutung als Energieverbraucher an Gewicht. MÜLLER-MICHAELIS prognostiziert einen steigenden Endenergieverbrauchsanteil des Sektors "Haushalte und Kleinverbraucher" von 36 % (1960) auf ca. 51 % (1985), während der Anteil der Industrie von 48,5 % (1961) auf ca. 32,5 % (1985) abnehmen wird /6/.

Die nächsten Spaltenblöcke erfassen den Ex- (T_{Et}) und Import (T_{Mt}) der Energieträger sowie deren Bestandsent- (B_{Nt}) und Bestandszunahme (B_{zt}) .

Im Rahmen der "Bestände" werden unter B_{Nt} ($t=1, \dots, 34$) neben Bestandsentnahmen auch die in der Energiebilanz ausgewiesenen positiven statistischen Differenzen berücksichtigt /7/. Unter B_{zt} ($t=1, \dots, 34$) werden neben Bestandsaufstockungen auch Hochseebunkerungen, Fackel- und Leitungsverluste incl. Bewertungsdifferenzen /8/, Nichtenergetischer Verbrauch /9/ und negative statistische Differenzen erfaßt /10/.

Die differenzierte Betrachtung der Aktivitäten des Energiebedarfs und die Erfassung der aufgezeigten Wirtschaftsbranchen, einschließlich der disaggregierten Sektoren, sichern die grundsätzliche Basis für die Bearbeitung der anfangs geschilderten Problemstellung.

Außerdem sind die aus den Produktions-, Energieumwandlungs- und -verbrauchsprozessen resultierenden umweltbelastenden Emissionen in die Planung mit einzubeziehen. Diese sind in den letzten beiden Spalten gesondert als "bads" der energieunabhängigen produktionsspezifischen Emissionen (Q_{P}^S) und der energiespezifischen Emissionen (Q_{T}^S) sowie als deren Gesamtmenge (Q_{G}^S) in Tonnen pro Jahr erfaßt für die in Tabelle 3 enthaltenen Schadstoffe.

Die in der Kopfzeile des Tableaus enthaltenen Aktivitäten werden simultan mit der Bestimmung der Zielvariablen durch eine Verknüpfung aller Aktivitäten festgelegt.

Heutzutage, wo das Ziel eines ungehinderten Wachstums mit zunehmendem Mißtrauen und mit Kritik betrachtet wird, mag die einfache Zielfunktion, die eine Maximierung des Gesamteinkommens in der Region fordert, auf den ersten Blick etwas verwundern. In der Tat besteht aber das wahre Ziel der Planung der Energie- und Umweltpolitik in der Einhaltung der Nebenbedingungen. Während die Variablen der Zielfunktion flexible Werte annehmen können, werden die Constraints als fixierte oder einseitig fixierte (größer bzw. kleiner gleich) Ziele in die Planung eingehen. Das bedeutet, daß die Constraints gegenüber allen ökonomischen "Wachstumsvariablen" absolute Priorität erhalten. Das ökonomische Wachstum kann nur unter Beachtung der fixierten Nebenbedingungen maximiert werden.

Indem wir z.B. Umweltgüte - Standards einführen, unterstellen wir, daß der Schutz und die Versorgung der Umwelt in der Präferenzordnung des Entscheidungsträgers eine höhere Priorität als die ökonomischen Wachstumsvariablen einnehmen.

Ohne im einzelnen auf die zugrunde liegenden mathematischen Funktionen eingehen zu wollen, kann das System der Constraints nach 2 Kategorien unterschieden werden. Zum einen ist der Teil der positiven Ökonomie und zum anderen der Teil der normativen Ökonomie zu sehen.

In die erste Kategorie fallen die Sektoren-, Energie-(Güter) und Schadstoffbilanzen. Die Sektorenbilanzen sind im Schaubild im Zeilenblock "Sektorenbilanzen" enthalten. Sie erfassen die gesamtwirtschaftlichen interindustriellen Verflechtungen. Unerwünschte Kuppelprodukte, die sogenannten externen Effekte, lassen sich mit den gewünschten Produktions- und Konsumaktivitäten verknüpfen. Dieser Ansatz basiert auf den Beiträgen von LEONTIEF und ist u.a. von LEHBERT erweitert worden.

Die aus den herkömmlichen Input-Output-Analysen bekannten Sektorenbilanzen beschreiben Herkunft und Verwendung der in einer Region produzierten bzw. konsumierten Outputs. Die Bedeutung im Rahmen unseres Modells ist in zweifacher Hinsicht zu sehen. Einerseits sind diese Sektoren als Produzenten und Verbraucher Verursacher der Umweltbelastung und damit in direkter Beziehung zu den Schadstoffbilanzen zu sehen. Andererseits ist eine ausschließlich umweltbezogene Betrachtung ohne Einbeziehung der Vorleistungsverflechtung und Energiestruktur unbefriedigend, weil ein rationales Umwelt-Management neben den "ökologischen Kosten der Produktion" auch den ökonomischen Nutzen zu berücksichtigen haben wird.

Die Integration der Energiebilanzen in die Input-Output-Analyse erschließt uns die Möglichkeit einer umweltorientierten Energieplanung, die Versorgungs- und Umweltqualitätsstandards berücksichtigt.

Die für die BRD vorliegende Energiebilanz haben wir dergestalt integriert, daß einerseits Höhe und Zusammensetzung des Energieaufkommens in seiner Interdependenzbeziehung zu den Sektorenbilanzen erfaßt wird. Andererseits ist die Energieverwendung so zu berücksichtigen, daß die damit verbundenen erheblichen Abgasbelastungen sektor- und energieträgerspezifisch quantifiziert werden können.

Die Verknüpfung der Sektor- und Energiebilanzen vollziehen wir über entsprechende technologische Relationen, die die Energieträgerproduktion in Beziehung setzt zu dem von den Wirtschaftssektoren gewünschten Energiebedarf.

Diese Verknüpfung der Sektoren-Bilanzen mit den Energie-Bilanzen stellt sicher, daß im Rahmen der Energie- und Umweltplanung neben den direkten Konsequenzen bestimmter Maßnahmen auch die indirekten Auswirkungen, insbesondere für die Energie- und Schadstoff-Bilanz, erfaßt werden. So wird z.B. die Substitution zwischen den Energieträgern Kohle und Gas in dem Prozeß "Öffent-

liche Wärmekraftwerke" zunächst eine direkte Änderung der Energieträgerinputs und der Emission in diesem Sektor auslösen. Außerdem verursacht der Substitutionsvorgang eine Änderung der Produktionswerte in den betroffenen Sektoren "Bergbau" und "Erdgasgewinnung" sowie u.U. in der Aktivität "Energieträger-Export oder Import" über die Vorleistungsverflechtung (indirekte Wirkungen). Die Konsequenzen beider Einflüsse können aufgezeigt werden.

Für die Lösung der oben geschilderten Problemstellung ist der Teil der Planung am interessantesten, der substitutionale Input-Relationen vorsieht /11/.

In dem Teil, der mit "limitationale Inputs" beschrieben ist, sind wir von der Annahme ausgegangen, daß für Produktionsprozesse keine Wahl zwischen den einsetzbaren Inputs (Energieträger) zugelassen wird. Diese Vorgehensweise führt zu festen Mengenverhältnissen zwischen den Inputs. Die damit unterstellten Produktionsfunktionen des Walras-Leontief-Typs schließen die Möglichkeit der Substitution zwischen den Inputs aus.

Um die Strategie einer Input-Substitution für Energieträger erfassen zu können, sind wir von dem theoretischen Ansatz ausgegangen, der für einzelne Wirtschaftssektoren die Wahl zwischen verschiedenen Herstellungsprozessen zuläßt und in der Literatur im Rahmen "verallgemeinerter Input-Output-Modelle" diskutiert und als Prozeßsubstitution bezeichnet wird /12/.

In unser Modell haben wir die Voraussetzungen für die Möglichkeit eingebaut, verschiedene Mischungen von Energieträger-Inputs für Umwandlungs- und/oder Endverbrauchssektoren simulieren und deren umweltökonomische Effekte verdeutlichen zu können.

Wie oben gezeigt wurde und aus dem schematischen Überblick ersichtlich wird (vgl. Schaubild 2), werden für die Bereiche "Öffentliche Wärmekraftwerke" (D_{2t}^1), "Zechen- und Grubenkraftwerke" (D_{2t}^2), "Industriewärmekraftwerke" (D_{2t}^3), "Fernheizwerke" (D_{2t}^4) und "Haushalte und Kleinverbraucher" (D_{Ct}^5) substitutionale Inputs zugelassen.

Graphisch wird die Möglichkeit der Inputsubstitution dadurch veranschaulicht, daß anstelle von Spaltenvektoren (vgl. die in Schaubild 2 gestrichelten Linien im Spaltenblock "Sektoren und Produktionsprozesse"), deren Elemente limitationale Input-Koeffizienten darstellen, Zeilenvektoren eingeführt werden, deren Elemente substitutionale Input-Koeffizienten beschreiben (vgl. Zeilenblock "Substitutionale Inputs i. Umwandlungs- und Endverbrauchssektoren" des Schaubilds 2). Während also für die Erzeugung einer Einheit Strom als Input die Energieträger Erdgas und Heizöl und Steinkohle etc. in festen Proportionen zum Output "Strom" standen, besteht nun die Möglichkeit, eine Einheit Strom wahlweise durch Erdgas und/oder Heizöl und/oder Steinkohle etc. zu produzieren. Analoges führen wir für die Fernwärme- bzw. Wärmeerzeugung in Fernheizwerken (D_{2t}^4) bzw. Haushalten und Kleinverbrauchern (D_{Ct}^5) ein. Wir wollen diesen Vorgang als "intra-sektorale Input-Substitution" bezeichnen.

Neben der Substitution der Inputs innerhalb der Prozesse 1 bis

3 kann "Strom" auch wahlweise in D_{2t}^1 und/oder D_{2t}^2 und/oder D_{2t}^3 erzeugt werden. Hinzu kommen die Möglichkeiten der Stromerzeugung in Kern- und Wasserkraftwerken. Da diese Prozesse sich dadurch unterscheiden, daß sie verschiedene Input-Mischungen aufweisen, erfolgt durch eine Verlagerung der Stromerzeugung z.B. von Prozeß 3 nach 1 ebenfalls eine Input-Substitution. Gleiches gilt für die Prozesse $k=1,2,3,4$ des Sektors 4 (Bergbau) und für die Prozesse $k=1,2$ des Sektors 7 (Erdöl- und Erdgasgewinnung).

Die Unterschiede zwischen diesen Prozessen und denen des Sektors 2 liegen zum einen auf der Output-Seite, wo Kuppelprodukte erzeugt, und zum anderen auf der Input-Seite, wo limitationale Relationen unterstellt werden. Das bedeutet, daß eine Input-Substitution nur durch Produktionsverlagerungen zwischen Prozessen in den Sektoren 4 und 7 aufgrund der angesprochenen verschiedenen Güter-Input-Mischungen der Prozesse ausgelöst werden können. Wir wollen diesen Vorgang zur Unterscheidung des oben Besprochenen als "intersektorale Input-Substitution" bezeichnen.

In dem Schaubild drücken die Symbole Z_k für $k=1,2,3$ den Bedarf an Strom, Z_4 den Bedarf an Fernwärme und Z_C den Bedarf an Wärme für den Bereich Haushalte und Kleinverbraucher aus. Diese Koeffizienten werden berechnet aus Beobachtungen des Basisjahres. Sie sind definiert als Anteile des Strom-, Fernwärme- und Wärmebedarfs an dem Produktionswert des jeweiligen Prozesses X_j^k bzw. des Privaten Konsums C_{pr} . Sie tragen die Dimension 1000 to SKE pro 1 Mio DM.

Das Symbol η_t drückt den Gesamtwirkungsgrad des in dem Prozeß k eingesetzten Energieträgers t aus.

Das Symbol k_{tj}^k repräsentiert den Produktionsanteil des Energieträgers t in dem Prozeß k des Sektors j . Dabei wird es sowohl Prozesse geben, die jeweils nur einen Energieträger produzieren, als auch Prozesse, die ein Bündel von Energieträgern (Kuppelproduktion) anbieten. In letzterem Falle beinhaltet die entsprechende Aktivität mehrere positive Output-Koeffizienten.

Alle Koeffizienten werden aus der Energiebilanz berechnet. Sie gehen als Konstante in das Modell ein und tragen die Dimension 1000 to SKE pro 1 Mio DM.

Sowohl die Aktivität zur Produktion von Gütern und Diensten als auch die Produktion und der Verbrauch von Energieträgern bewirken eine Belastung des Naturhaushaltes durch die Emission luftverunreinigender Stoffe. Diese "bads" definieren wir als unerwünschte Kuppelprodukte. Sie werden außerhalb der Produktionsfunktion im Rahmen von Abgaskoeffizienten (Emissionskoeffizienten) erfaßt.

Zur besseren Lokalisierung der Verursachergruppen bestimmen wir die Schadstoffbilanzen getrennt für Abgase aus den Aktivitäten zur Produktion von Gütern und Diensten (vgl. "P-Schadstoffe") und Abgasen, die bei dem Umsatz von Energieträgern (vgl. "E-Schadstoffe") entstehen.

Die bisher aufgezeigten Constraints gehören in den Bereich der positiven Ökonomie. Wenden wir uns nun den normativen Aspekten und damit der zweiten Kategorie des Modells zu. Sie umfaßt Güterverwendungs-, Beschäftigten-, Energie- und Umweltstandards.

Die bekannten Tendenzen, daß eine exponentiell wachsende Wirtschaft auf Inputrestriktionen, d.h. auf Grenzen regenerierbarer bzw. substituierbarer natürlicher Ressourcen und auf Output-Restriktionen, d.h. auf Grenzen der Aufnahmefähigkeit der Ökosysteme für Emissionen, stößt, begründen die Notwendigkeit, diese Umweltnormen zu setzen.

Die Lösung des Zielkonflikts zwischen der Maximierung volkswirtschaftlich gewünschter Güter und einer möglichst minimalen Umweltbelastung durch unerwünschte Kuppelprodukte erfordert einerseits die Fixierung normativer Umwelt-Standards, die sicherstellen, daß eine maximal zulässige Abgasbelastung nicht überschritten wird. Andererseits haben Mindeststandards sicherzustellen, daß eine ausreichende Versorgung der Bevölkerung mit Gütern und Arbeitsplätzen gewährleistet wird.

Die Problematik liegt jedoch in der Fixierung der Normen, die letztlich weder durch ökologischen, medizinischen noch ökonomischen Sachverstand erfolgen kann, sondern ein gesellschaftspolitisches Problem ist /13/. Da es also keinen Weg gibt, objektive Normen zu finden, sehen wir in diesem Zusammenhang in unserem Planungsansatz, wie eingangs bereits angedeutet, eine bedeutende Hilfe für die Zielfixierung im politischen Entscheidungsprozeß. Indem unterschiedliche Normen gesetzt und deren potentielle Konsequenzen simuliert werden, kann dem Entscheidungsträger verdeutlicht werden, wie hoch die ökonomischen Kosten (z.B. gemessen in entgangenen Produktionseinheiten) und der ökologische Nutzen (z.B. gemessen in Einheiten verminderter Abgasbelastung) sind.

Die Güterverwendungsstandards sind in den Zeilen "Endnachfrage" erfaßt. Sie stellen eine in den fixierten Grenzen unveränderte Entwicklung der Größen C_{pr} , C_{st} , ΔK und $(E-M)$ sicher, d.h. daß keine Bevorzugung der Investitionen zu Lasten des Konsums (vice versa) möglich ist und somit eine realistische Struktur der Endnachfrage aufrechterhalten bleibt.

Die Beschäftigtenstandards (vgl. Arbeitsangebot) bewirken eine begrenzte Mobilität des Produktionsfaktors Arbeit innerhalb der Sektoren.

Für den Fluß der Energieträger fixieren wir Normen sowohl für den Bereich des Energieaufkommens (Förderung, Produktion, Importe und Bestandsentnahmen) als auch für den Bereich der Energieverwendung (sektorbezogene Inputs, Exporte und Bestandszunahmen). Diesen Normen kommen in unserem Planungsmodell in zweifacher Hinsicht strategische Bedeutung zu. Zum einen können politische Entscheidungen, die ihren Ausdruck in der Fixierung bestimmter Ziele finden, z.B. über Fördermengen im Bergbau, Mindesteinsatzmengen an Steinkohle zur Verstromung, Bestands- oder Außenhandelsveränderungen, hinsichtlich ihrer energie- und umweltpolitischen Konsequenzen simuliert werden. Zum anderen kön-

nen Ressourcen-Engpässe, die aus übergeordneten Weltmodellen erkennbar sind, explizit in die nationale Planung einfließen. Damit wird zugleich die Nahtstelle zwischen weltweiter und nationaler Planung der Nutzung der nichtregenerierbaren Rohstoffreserven deutlich.

Lassen Sie mich zum Schluß, meine Damen und Herren, noch eines betonen:

Wir wollen entschieden den Eindruck vermeiden, daß wir mit Hilfe solcher Modelle die einzige und beste Lösung von Problemen dieser Art ermitteln können, selbst wenn die Bezeichnung optimal verwendet wird. Dies bezieht sich nämlich auf die mathematische Optimalität des Systems.

Aufgrund der vielen Werturteile, die in das Modell eingehen, betrachten wir vielmehr die Ergebnisse eines Modells dieser Art als eine rationale Grundlage für eine öffentliche Diskussion der zugrunde liegenden normativen Urteile.

In dieser Verbindung muß noch einmal explizit eine besonders wichtige Eigenschaft der mathematischen Optimierung /14/ hervorgehoben werden, nämlich die Ressourcenbewertung.

In der oben beschriebenen Form wird das lineare Programm das primale Problem bzw. das Mengenproblem genannt. Zu diesem primalen Problem gibt es eine direkte Entsprechung, das duale Problem, eine Umformung des Mengenproblems. Der Dualansatz enthält dadurch besondere Bedeutung, daß er eine eindeutige Bewertung der nur beschränkt vorhandenen Ressourcen bzw. der politischen Zielsetzungen und Normen in Form der bekannten Opportunitätskosten oder Schattenpreise ermöglicht.

Diese sog. Dualwerte können für den Energie- und Umweltplaner von großem praktischen Nutzen sein; sie ermöglichen ihm die Simulation eines Marktmechanismus in einer Umgebung, in der der Wettbewerb fehlt. Die Dualkosten bilden das grundlegende Kriterium für die Beurteilung der Zweckmäßigkeit, Normen bzw. Qualitätsstandards in einer bestimmten Höhe festzusetzen. Sie geben uns den Grenznutzen bzw. die Grenzkosten einer Änderung im System an, z.B. die Ansiedlung einer bestimmten Industriekombination, oder die Änderung der Mischung einer Energieträgerstruktur, ausgedrückt in Einheiten der Zielfunktion.

Da die Höhe der Opportunitätskosten den Einfluß und damit die Bedeutung der einzelnen Zielgrößen innerhalb des Gesamtsystems angibt, läßt sich eine Rangfolge für die weitere Zielanalyse ableiten. Diese Zielanalyse führt zu einem erhöhten Informationsstand des Entscheidungsträgers und bildet damit die Grundlage für eine Zielrevision. Die Revisionsmöglichkeiten und ihre Implikationen werden gleichzeitig untersucht.

Analoges gilt für die Analyse zielrelevanter technologischer Koeffizienten. Es läßt sich relativ einfach zeigen, in welchem Prozeß eine Verbesserung der Technik am vorteilhaftesten ist.

Zur Interpretation der Ergebnisse unseres multisektoralen Energie- und Umweltplanungsmodells läßt sich zusammenfassend sagen:

Das Primalergebnis (Mengenproblem) zeigt die unter den fixierten Bedingungen optimale Mischung der Wirtschaftsbranchen und der Energieträger für eine Region.

Das Dualergebnis (Dualwerte) gibt Ausmaß und Richtung des Einflusses der Ziele auf das Gesamtsystem an. Über die Sensitivitätsanalyse und die Parametrische Programmierung werden Vergleiche der Zielkonsequenzen ermöglicht und wesentliche Hinweise zur Zielrevision geboten.

Es ist zu hoffen, meine Damen und Herren, daß Energiemodelle, die die von Menschen nicht simultan zu überschauenden, komplexen Interdependenzen zwischen Natur und Gesellschaft aufzeigen, weiterentwickelt und in zunehmendem Maße als Informationsinstrument bei - und damit auch zur Konkretisierung von - politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsprozessen bezüglich Arbeitsplätze, Einkommenserzielung, Energieversorgung und sozialer Sicherheit einerseits und einer gesunden, menschenfreundlichen Umwelt andererseits eingesetzt werden.

Ein Schritt zur Versachlichung der allzu oft nur auf emotionaler und ideologischer Basis geführten Energie- und Umweltdiskussion wäre damit getan.

Meine Damen und Herren, ich bedanke mich für Ihre geschätzte Aufmerksamkeit!

Literatur:

- /1/ Vgl. THOSS, R.: Methodischer Ansatz eines integrierten Optimierungsmodells zur Verbesserung des Umweltschutzes. In: Ein integriertes Optimierungsmodell zur Verbesserung des Umweltschutzes. Sonderdruck aus Seminarberichte 8 der Gesellschaft für Regionalforschung, Heidelberg, Deutschsprachige Gruppe der Regional Science Association, Januar 1974, S. 3-14. Zu den Inhalten der Submodelle vgl. Beiträge von BRASSE, P., DÖLLEKES, H.P. und WIIK, K. in dem gleichen Bericht.
- /2/ Vgl. dazu die Spalten 57-58, 59-60, 61, 62 und 83 der DIW-Matrix bei STÄGLIN, R. und WESSELS, H.: Input-Output-Tabellen für die Bundesrepublik Deutschland 1966", a.a.O. S. 221.
- /3/ Aus Sicherheitsgründen gehaltene Lagervorräte, wie z.B. für Mineralöle, werden bei der Fixierung der Normen für Energieträger-Bestandsveränderungslimits explizit berücksichtigt.
- /4/ Vgl. dazu THOSS, R.: A Generalized Input-Output Model for Residuals Management, a.a.O., S. 4f, 12 und 26f., und SCHUMANN, J.: Input-Output-Analyse, in: Ökonometrie und Unternehmensforschung, Bd. X. Geschäftsführende Hrsg. Krelle, W., Künzi, H.P., Berlin-Heidelberg-New York, 1968, S.5 und S.87 ff.
- /5/ Hinzu kommt die Substitutionsmöglichkeit, Strom in Wasser- und Kernkraftwerken erzeugen zu können. Beide Prozesse sind im Modell ent-

halten. Sie werden aufgrund fehlender kraftwerksbezogener Input-Substitutionsmöglichkeit im Rahmen der Sektoren und Produktionsprozesse durch limitationale Beziehungen erfaßt.

- /6/ Vgl. MÜLLER-MICHAELIS, W.: Energie 85. Daten und Tendenzen der energiewirtschaftlichen Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland, Hamburg 1972, S.6.
- /7/ So werden in den Energiebilanzen der Jahre 1950 bis 1970 stets in etwa gleichgroße Differenzen für z.B. Steinkohle und Steinkohlenkoks ausgewiesen. In diesen Fällen ist das Aufkommen (Energieangebot im Inland nach Umwandlungsbilanz) kleiner als Endenergieverbrauch. Vgl. dazu Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, a.a.O., Energiebilanzen 1950 bis 1970).
- /8/ Bei den leitungsgebundenen Energieträgern Strom und Gas werden diese Verluste ausgewiesen.
- /9/ Dieser "Verbuchungsvorgang" stellt einen Ausgleichsposten für bereitgestellte, aber nicht für Verbrennungsprozesse vorgesehene Energieträger dar (z.B. Schmierstoffe). Diese Verbuchung stellt zugleich sicher, daß bei der Verwendung dieser Stoffe keine Emissionen vom Modell berechnet werden.
- /10/ Das Energieangebot im Inland nach Umwandlungsbilanz ist größer als der Endenergieverbrauch.
- /11/ Vgl. dazu auch THOSS, R., und DÖLLEKES, H.P.: Energy and Environmental Planning, in: Energy and Environment, OECD, Paris 1974, S. 77-105.
- /12/ Vgl. dazu SCHUMANN, J., Input-Output-Analyse, a.a.O., S. 87. Modellansätze diesen Typs sind neben dem zitierten Buch von CHENERY, H.B. und CLARK, P.G., Interindustry Economics, a.a.O., S. 101 ff., zu finden bei KRELLE, W., Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung einschließlich Input-Output-Analyse mit Zahlen für die Bundesrepublik Deutschland, Berlin 1959, S. 120 ff., und KÖNIG, H., Input-Output-Analyse und Lineares Programmieren. Jahrbuch für Sozialwissenschaft, Bd. 4-10, 64-79 (1959), S. 64 ff., und JAKSCH, H.J., Beiträge zur Theorie der Wirtschaftsplanung: Probleme einer gesamtwirtschaftlichen Anwendung des "Linear Programming", Dissertation, Frankfurt 1958, S. 22. Vgl. auch die Darstellung von THOSS, R., A Generalized Input-Output Model for Residuals Management, a.a.O., S. 4 ff.
- /13/ Vgl. dazu MEYER-ABICH, K.M.: Wertsetzung bei beschränkten Ressourcen, in: Wirtschaftspolitik in der Umweltkrise - Strategien der Wachstumsbegrenzung und Wachstumslenkung. Hrsg. Wolff, J., Stuttgart 1974, S. 126-158.
- /14/ Vgl. dazu WIJK, K., Ein multiregionales Entscheidungsmodell zur Optimierung der Abwasserbelastung, a.a.O., S. 82 f.

Schaubild 1:

Schematischer Überblick über ein Umweltplanungsmodell für eine Region

Bezeichnung der Aktivitäten Bezeichnung und Inhalt der Submodelle	Produktions-Sektoren		Endnachfrage ohne Ex- und Importe	Abfall-Aktivitäten (Beseitigung und Verwertung)		Abwasser-Aktivitäten (Beseitigung)		Abgas-Aktivitäten spezielle Verursacher			Ex- und Import-Aktivitäten	Politische Normen und Kapazitätsschranken
	Landwirtschaft Energie Verkehr andere für 56 Sektoren	andere für 56 Sektoren		Abfallbeseitigungsaktivitäten Recycling-Aktivitäten	Entsorgung nach Klärung Entsorgung ohne Klärung	Entsorgung von Oberflächenwasser Energieverbrauch Verkehrsmittelanfrage Schadstoffe als Verursacher	Ex- und Import-Aktivitäten					
Dimensionen	Mio. t/a		1000 ha	t		m ³	m ³	t t/a	t km	t t/a	div. Dim.	div. Dim.
Zielfunktion												MAX!
0. "Güter- und Arbeitsmarkt"	Sümbilanzen (56 Sektoren)											
	Arbeitsplatzfundament (56 Sektoren)											
1. "Raum"	10 Flächenbilanzen											
2. "Abfall"	Abfallbilanzen (10 Stoffgruppen) Abfall-Standard											
3. "Abwasser"	Abwasserbilanzen (40 Wasser-typen) Wasserführung Inhaltsstoffe Wasserstandard											
4. "Luft"	Abgasbilanzen (8 Schadstoffe) Produktion Emission											
5. "Abgas"	Luftstandard											
6. "Energie"	Energiebilanz (34 Energieträger)											
7. "Verkehr"	Verkehrsbilanz (13 Verkehrsmittel)											

Tabelle 1
Sektoren und Produktionsprozesse

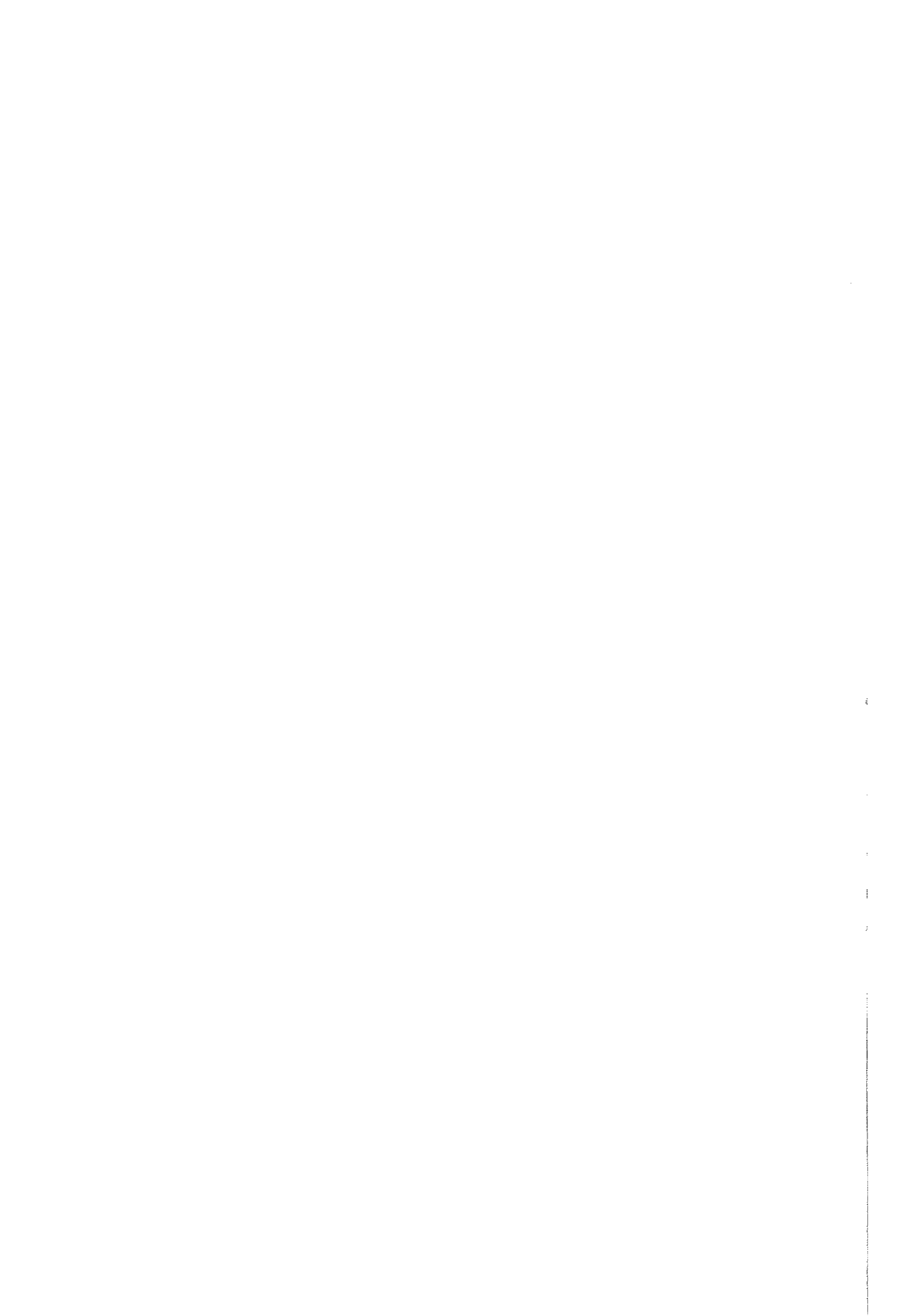
1	Landwirtschaft	22	Luftfahrzeugbau
2	Elektrizitätswirtschaft	23	Schiffbau
21	Öffentliche Wärmekraftwerke	24	Elektrotechnik
22	Zechen- und Grubenkraftwerke	25	Feinmechanik, Optik
23	Sonstige Industrierärmekraftwerke	26	Stahlverformung
24	Kernkraftwerke	27	EBM-Industrie
25	Wasserkraftwerke	28	Feinkeramik
26	Fernheizwerke	29	Glasindustrie
3	Gas- und Wasserwirtschaft	30	Holzverarbeitende Industrie
4	Kohlenbergbau	31	MSSS-Industrie
41	Zechen- und Hüttenkokereien	32	Papierverarbeitende Industrie
42	Steinkohlenzechen und Steinkohlenbrikettfabriken	33	Druckerei
43	Braunkohlengruben	34	Kunststoffverarbeitung
44	Braunkohlenbrikettfabriken und Schwelanlagen	35	Lederindustrie
5	Eisenerzbergbau	36	Textilindustrie
6	Kali-Bergbau	37	Bekleidungsindustrie
7	Erdölgewinnung	38	Mühlenindustrie
71	Erdölgewinnung	39	Ölmühlen, Margarine-Industrie
72	Erdgasgewinnung	40	Zuckerindustrie
8	Restlicher Bergbau	41	Brauerei, Mälzerei
9	Steine und Erden	42	Tabakverarbeitende Industrie
10	Eisenschaffende Industrie	43	Sonstige Nahrungs- und Genußmittel-Industrie
11	EST-Gießerei	44	Handwerk
12	Zieher-Kaltwalzwerke	45	Baugewerbe
13	NE-Metallindustrie	46	Großhandel
14	Chemische Industrie	47	Einzelhandel
15	Mineralölverarbeitende Industrie	48	Eisenbahnen
16	Kautschukindustrie	49	Schifffahrt
17	Holzverarbeitung	50	Übriger Verkehr
18	Papiererzeugung	51	Bundespost
19	Stahlbau	52	Kredit-, Versicherungsgewerbe
20	Maschinenbau	53	Wohnungsvermietung
21	Straßenfahrzeugbau	54	Sonstige Dienste
		55	Staat
		56	Private Haushalte

Tabelle 2
Energieträger

1	Strom
2	Fernwärme
3	Kokerei-, Stadt-, Gruben- und Klärgas
4	Gichtgas
5	Erdgas
6	Erdölgas
7	Raffineriegas
9	Erdöl (roh)
10	Motorbenzin
11	Flugbenzin
12	Rohbenzin
13	Petroleum
14	Flugturbinenkraftstoff
15	Dieselmkraftstoff
16	Heizöl (L)
17	Heizöl (S)
18	Petrolkoks
19	Andere Mineralölprodukte
20	Klärschlamm, Müll
21	Brenntorf
22	Brennholz
23	Steinkohle
24	Steinkohlenkoks
25	Steinkohlenbriketts
26	Rohteer, Pech
27	Andere Kohlenwertstoffe
28	Rohbenzol
29	Rohbraunkohle
30	Braunkohlenbriketts, Schmelzkoks, Staub- und Trockenkohle
31	Hartbraunkohle
32	Pechkohle
33	Kernenergie
34	Wasserkraft

Tabelle 3
Schadstoffe

1	Kohlenmonoxid
2	Kohlendioxid
3	Kohlenwasserstoff
4	Schwefeldioxid
5	Nitrose Gase
6	Fluorverbindungen
7	Chlorverbindungen
8	Stäube



DISKUSSION

K. Conrad, Universität Tübingen:

1. Sie erwähnten, daß Sie die Differenz Bruttosozialprodukt minus Außenbeitrag maximieren wollen. Halten Sie im Falle der BRD eine Lösung $\text{Export} - \text{Import} = 0$ als vertretbar? Sollte der Außenbeitrag nicht als positiv vorgegeben werden?
2. Welche Variablen treten noch in Ihrer Zielfunktion auf?

H.P. Döllekes, Universität Münster: Zur ersten Frage: Eine Lösung $\text{Export} - \text{Import} = 0$ kann es in unserem Modell gar nicht geben. Im Zusammenhang mit den Standards über die Güterverwendung habe ich aufgezeigt, daß die Exportüberschüsse in einer Bandbreite von 1 bis 2 % des Volkseinkommens schwanken können. Das bedeutet, daß unsere Lösung mindestens einen Exportüberschuß von 1 % des Volkseinkommens ausweisen wird. Diese Nebenbedingung können Sie dem Schaubild 3 entnehmen (vgl. Zeilenblock "Endnachfrage" und "Exportüberschuß").

Zur zweiten Frage: Außer den im Schaubild 3 enthaltenen Größen treten zur Zeit keine weiteren Variablen in unserer Zielfunktion auf.

P. Winske, RWTH Aachen: Wie berücksichtigen Sie in Ihrem Modell in den Energiebilanzen die Verbrauchscharakteristik, da doch erst durch ihre Kenntnis die Substitution zwischen den Primärenergieträgern in genügendem ausreichendem Maße berücksichtigt werden kann.

H.P. Döllekes: Hier arbeiten wir nach dem Motto "Schuster bleib bei deinen Leisten". Die Skizzierung der Verbrauchscharakteristik wird ja, Herr Winske, in Ihrem Aachener Institut vorgenommen. Über das BMFT-Projekt, über das Herr Geißler gestern berichtete, kooperieren wir, so daß diese Probleme nicht unberücksichtigt bleiben.

H. Engelhardt, KFA Jülich:

1. Wie wird die Regionalisierung der erweiterten Input-Output-Matrix erreicht?
2. Wie ist der Realisierungsstand des vorgestellten Ansatzes?

H.P. Döllekes: Mit Ihrer ersten Frage treffen Sie ins Herz der Probleme. Die Qualität der Regionalisierung des hier dargestellten Modelltyps hängt zweifelsohne stark von der Güte regionalisierter Input-Output-Tabellen ab.

Für die von unserer Forschergruppe unter der Leitung von Prof. Thoss angestrebte "Regionalisierung für den Bereich der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain" arbeiten wir zur Zeit genau an diesem Problem. Die für diesen Bereich vorhandenen Input-Output-Tabellen werden überprüft. An regionalisierten Investitions- und Produktionsfunktionen wird gearbeitet. Wir sind guten Mutes, wohl wissend, daß noch ein großer Brocken abgearbeitet werden muß.

Mit Ihrer zweiten Frage zielen Sie ab auf den Realisierungsstand des vorgestellten Ansatzes. Das Energie- und Umweltsplanungsmodell für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland ist fertig und läuft. Wir arbeiten zum Teil mit interdisziplinären Forschergruppen zusammen. Die "Däunert-Studie" aus dem BMFT wurde gestern vorgestellt. Daneben arbeiten wir über die "Arbeitsgruppe Umwelt, Gesellschaft, Energie" der Gesamthochschule Essen an einer Technologie-Studie des BMFT.

Die anderen hier skizzierten Submodelle des Thoss-Modells stehen in der Grundkonzeption. Die Submodelle "Abwasser" und "Abgase-Energie" haben wir schon einmal gekoppelt.

A. Voß, KFA Jülich: Die Optimierung einer eindimensionalen Zielfunktion unter restriktiven Nebenbedingungen impliziert die Hypothese der gleichen Bewertung eines Restriktionswertes, der zwischen Null und dem zulässigen Wert liegt. Haben Sie einmal versucht, Größen Ihrer Nebenbedingungen in die Zielfunktion aufzunehmen?

H.P. Döllekes: Es ist keineswegs so, daß mit der Fixierung einer Nebenbedingung implizit die Hypothese der gleichen Bewertung eines Restriktionswertes, der zwischen Null und dem zulässigen Wert liegt, verbunden ist. Zu beachten ist, daß die Bewertung einer bindenden Restriktion durch die Dualvariable (Schattenpreis, Opportunitätskosten) nur für die nächste Einheit gilt. Der Stabilitätsbereich, der über die Sensitivitätsanalyse ermittelt wird, zeigt allerdings eine gleiche Bewertung. d.h., innerhalb des Stabilitätsbereichs werden Veränderungen des Wertes der Nebenbedingungen gleich bewertet. Mit der Frage, ob wir versucht hätten, Größen der Nebenbedingungen in die Zielfunktion aufzunehmen, schneiden Sie ein äußerst interessantes Gebiet an. Aus dem hier vorgestellten Modell können Sie entnehmen, daß neben dem Volkseinkommen lediglich Ex-, Import- und Vorratsveränderungen in die Zielfunktion eingehen. In unserem SFB-26 in Münster haben Thoss und Wiik allerdings Rechenläufe gemacht, in denen Kostengrößen, z.B. Kosten einer Kläranlage, in die Zielfunktion aufgenommen wurden. Methodisch machbar ist das ohne weiteres. Das Problem liegt aber in der Interpretation der Ergebnisse. Es fehlt eine eindeutige Zurechnungsordnung, womit gleichzeitig die Probleme der Gewichtung der Größen in der Zielfunktion angesprochen sind.

W. Schröck-Vietor, KFA Jülich: Die Umweltbelastung wird in Ihrem Modell in to Schadstoff angegeben. Andererseits haben Sie vorgetragen, daß Sie das Gesamtmodell, also die ökonomischen und anderen Aktivitäten, optimieren. Wie bewerten Sie also die Schadstoffe in Geldwert, um insgesamt optimieren zu können? Oder setzen Sie für die Umweltbelastung nur zulässige Grenzen, die bei dem optimierten wirtschaftlichen Prozeß ausgeschöpft werden?

H.P. Döllekes: Eine Bewertung der Schadstoffe in "Geldwert" erfolgt nicht. Das ist auch keineswegs notwendig, um optimieren zu können. Die Zielfunktion beinhaltet zwar monetäre Größen (Mio DM). Die Constraints können aber sehr wohl in physischen Größen gemessen werden. In unserem Modell tragen z.B. die Nebenbedingungen die Dimension 1000 to SKE. Für die Umweltbelastung fixieren wir zulässige, d.h. tolerierbare Grenzen. Ob die "optimalen wirtschaftlichen Prozesse" diese Grenzen ausschöpfen, ist nur aus dem Gesamtsystem der Constraints heraus zu beantworten. Es kann sein, daß z.B. wirtschaftliches Wachstum durch knappe Ressourcen begrenzt wird, so daß die Umwelt-Standards gar nicht "ausgeschöpft" werden könnten.

H.J. Burchard, B.P. Hamburg: Eine Anmerkung zur Regionalisierung, die zweifellos erwünscht und geradezu notwendig ist. Trotz der verdienstvollen regionalen Arbeiten auf dem Energiegebiet des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung und Prof. Schneider, Köln, z.B. für Bayern, Baden-Württemberg und Hessen, erscheint mir die Regionalisierung sehr problematisch, insbesondere wenn man auf politisch nicht definierte Regionen geht. Dazu eine sehr spezielle Frage: Es gibt in der Politik richtige Einzelüberlegungen auf verschiedenen Gebieten, die zu Einzelforderungen führen, die nicht miteinander in Einklang zu bringen sind. Ein Beispiel: Die Umweltpolitik fordert Reduzierung des Schwefelgehaltes im Schweren Heizöl, die Energiepolitik Reduzierung der Menge an Schwerem Heizöl. Man kann aber dasselbe Zwischenprodukt in der Raffinerie nur entweder entschwefeln (sofern es sich um Schwermetalle handelt) oder cracken. Beides zusammen geht nicht. Wie verhält sich Ihr Modell auf solche widersprüchlichen Limitierungen?

H.P. Döllekes: Sobald konkurrierende bzw. widersprüchliche Limitierungen in das Modell eingehen, ergibt sich eine "Infeasible Solution". Für solche Konfliktfälle bietet unser Planungsmodell eine wesentliche Entscheidungshilfe. Das Modell kann die Konsequenzen verschiedener Kompromißmöglichkeiten aufzeigen. Der Politiker hat zu entscheiden, welchen Beitrag des umweltpolitischen Ziels er bereit ist aufzugeben zugunsten des anderen, des energiepolitischen Ziels. Die jeweiligen Opportunitätskosten der Entscheidung werden aufgezeigt. Der Entscheidungsprozeß wird also dadurch rationalisiert, daß die Konsequenzen der Entscheidung in

gesamtwirtschafts-, energiewirtschafts- und umweltpolitischer Hinsicht transparent gemacht werden.

B. Jehle, KFA Jülich: Wie werden neue Technologien in das Modell eingeführt? Vermutlich in Form neuer Input-Koeffizienten? Neue Technologien haben in der Regel auch Preiswirkungen. Werden diese auch berücksichtigt?

H.P. Döllekes: Die Vermutung in Ihrer ersten Frage ist richtig. Neue Technologien werden durch einen neuen Spaltenvektor eingeführt. Dieser Vektor beinhaltet die Input-Koeffizienten der neuen Technik. Die methodische Vorgehensweise können Sie anhand des Schaubildes 3 erkennen. In den Spaltenblock "Sektoren und Produktionsprozesse" wird der neue Vektor eingeführt. Die Eisenschaffende Industrie erhält z.B. eine Prozeßalternative, die eine Substitution von Erz und Stahl vorsieht. In einem neuen Rechenlauf wird das Modell unter Berücksichtigung aller Constraints verdeutlichen, zu welchen gesamtwirtschaftlichen, energiewirtschaftlichen und ökologischen Konsequenzen die Anwendung der neuen Technologie führen würde. Ihre zweite Frage ist kurz zu beantworten. Preiswirkungen werden in unserem Modell nicht berücksichtigt. Hier wäre sicherlich ein Vergleich mit den Ergebnissen des gestern von Herrn Conrad vorgestellten ökonomischen Modells interessant.

OVERVIEW ON TECHNIQUES AND MODELS USED IN THE ENERGY FIELD

J.P. Charpentier
I.I.A.S.A.
International Institute for Applied Systems Analysis
Laxenburg, Austria

Introduction

At the outset, let me comment on the term "models" and their use. In my view the meaning of the word "model" must be very broad and not confined to econometric approaches. Each tool which could contribute to a better understanding of complex phenomena could receive this designation. But we must not forget that a model as a computer can give no absolute answer; the output must always be related to the input. Models are tools which help the human brain but cannot take its place.

The so-called "energy crisis" has caused increasing concern in the energy industry and in governments. The procedures of environmental protection have further complicated the energy supply and price picture.

The question of how serious an energy problem we are facing and of alternative strategies can be studied by means of extensive models. The adequacy of the available models and the possibilities of different kinds of models under development are being exhaustively reviewed in most countries. The use of models for decision-making in industry is quite well developed, while their use by governments, at national or international levels, is in the beginning stages.

By way of introduction to models in energy, I shall first briefly review the main techniques used in energy modelling to illustrate the extent of the term "model", which ranges from classical methods such as linear programming to the building of normative scenarios.

A review of the most important models developed and being developed then follows; and finally I will pose some questions linked to a specific problem: the energy demand.

I. MAIN MATHEMATICAL TECHNIQUES USED IN ENERGY MODELLING

1. Correlation /16, 9/

In the correlation approach one assumes that the objective for example the energy consumption per capita, is related to a given form, linear, exponential ... to given variable as income, price, etc. ...

A typical form could be represented by:

$$Q_t = K \cdot Q_{t-1}^a \cdot Y_t^b \cdot T_t^c \cdot p_t^d \cdot p_t^e$$

where

Q_t consumption of a certain kind of energy at time t

K constant

Y_t explanatory variable (e.g. GNP, income ...)

T_t average temperature at time t

p_t price of the considered energy

p_t^e price of the concurrent energy

(a, b, c, d, e) $\left\{ \begin{array}{l} - \text{coefficients estimated by regression on past} \\ \text{trend data,} \\ - \text{elasticity coefficient as for example:} \end{array} \right.$

$b = \frac{\delta \log Q_t}{\delta \log Y_t}$ elasticity of energy consumption to the explanatory variable Y_t (if Y_t increases of 1 % then Q_t will increase of b %)

The purpose of the method is then only to find the best coefficients: a, b, \dots, e which link the given relation to past data. The method used is the "least square method".

I want to emphasize on a very important point: this method does not permit to find the most relevant parameters and the relationship. It only gives the adjusted coefficient. In order to reach the best relation fitted on the past data it is very important to test different functions.

Different variables generally used in regression analysis		
Sector	Residential and Commercial	Industrial
Variables	<ul style="list-style-type: none"> . Population . Income per capital . Prices of the different fuels . Weight of each kind of fuel in the global consumption . Quantity of energy consumed during the past period 	<ul style="list-style-type: none"> . Number of employees . Value added . Prices of the different fuels . Weight of specific sector in the global industry sector . Quantity of energy consumed in the past period

Remarks on the difference between Short- and Long-term Elasticity /9/

For simplification let us suppose that the desired demand of a given form of energy depends on the income and the price:

$$q_t^+ = K y_t^a \cdot p_t^b \quad \begin{cases} q^+ & \text{desired quantity} \\ y & \text{income} \\ p & \text{price} \end{cases} \quad (1)$$

The actual level of demand of one year, however, is not necessarily equal to the desired level. In particular actual demand adjusts toward desired demands according to a linear equation between past consumption and desired demand:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dq_t}{q_t} = \lambda \frac{dq_{t-1}}{q_{t-1}} + (1-\lambda) \frac{dq_t^+}{q_t^+} \\ \Delta \text{ demand} = \text{linear combination of } \left(\begin{array}{l} \text{past} \\ \text{demand} \end{array} + \begin{array}{l} \text{desired} \\ \text{demand} \end{array} \right) \end{array} \right.$$

or

$$q_t = q_{t-1}^\lambda \cdot (q_t^+)^{1-\lambda}$$

$$\text{or } q_t = \left(\frac{q_t}{q_{t-1}^\lambda} \right)^{\frac{1}{1-\lambda}} \quad (2)$$

If we put (2) in (1), one obtains (3)

$$\log q_t = A + \lambda \log q_{t-1} + a(1-\lambda) \log y_t + b(1-\lambda) \log p_t$$

where

$$A = (1-\lambda) \log k.$$

Finally the elasticity coefficients are:

Elasticity coefficients	
Short run	Long run
$a(1-\lambda)$	a
$b(1-\lambda)$	b

2. Linear Programming

Most of the models use this well-known technique which consists of optimizing a linear cost function under linear constraints, for example:

$$\min. \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

subject to j constraints:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_j$$

where for example:

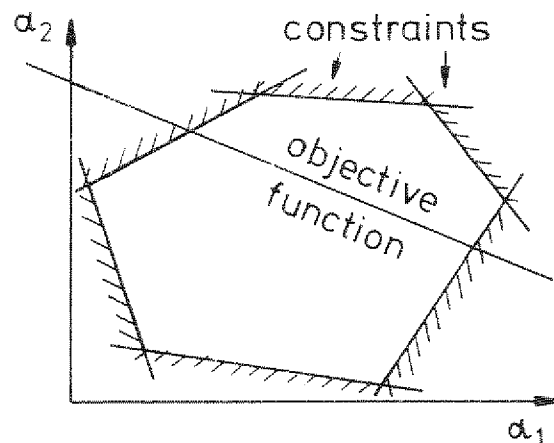
x_i is the quantity of energy under the form i ,

c_i is the cost of production of energy i ,

The j constraints are related to

- demand to satisfy,
- environmental norms,
- fuel balances,

and so on.



This method could be used for static or dynamic investigations; in this last case, the variable $x_i(t)$ and $x_i(t+1)$ are considered

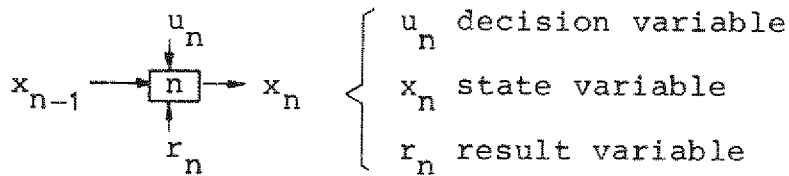
as two different variables during the programming work.

The technique of resolution introduces for each constraint j a dual variable λ_j which (as a lagrangian multiplier¹⁾ could be interpreted as the marginal cost related to this constraint.

¹⁾ Recall of Lagrange: solving $\begin{cases} \max. f(x) \\ g(x) = 0 \end{cases}$ is the same thing as finding x and λ which solve $\max. f(x) + \lambda g(x)$.

3. Dynamic Programming and its Derivative

Each time a decision system could be described at each step n by:



and where the objective function is the sum of the result variable at each step:

$$\text{Opt. } \sum_n r_n$$

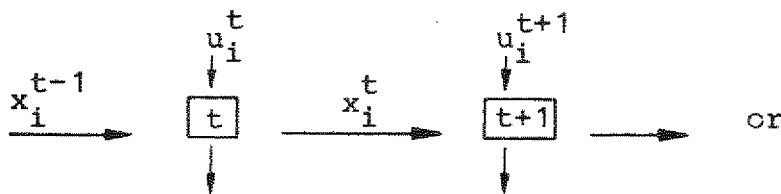
and where

$$r_n = R(u_n, x_{n-1})$$

$$x_n = X(u_n, x_{n-1})$$

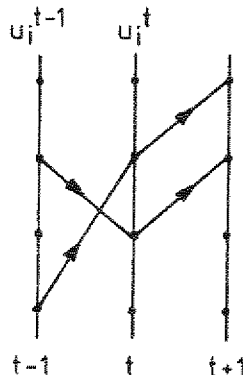
Then the dynamic programming can be used.

For example for a choice of investments of an electricity utility /2/. This problem could be represented in the following ways:



different cost

Choice of the best path



The goal of such a study is to research the optimal investment at each time: $u_i^t \geq 0$ (i is the index characterizing each kind of investment: hydraulic, nuclear, different thermic). x_i^t designates the state variable which corresponds to the global power of the network existing in plant of type i , the year t .

The total actualized cost to minimize is

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n I_i^t u_i^t + G^t(x_i^t, u_i^t),$$

investment management
cost cost

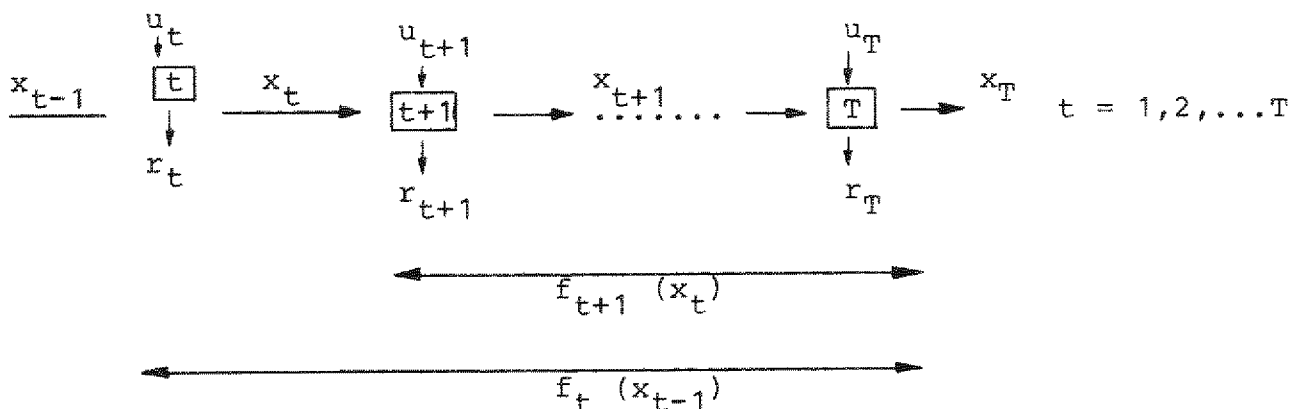
with the state equation

$$x_i^t = x_i^{t-1} + u_i^t \quad i = 1 \dots n$$

(The state of the network at time t equals the state at time $(t-1)$ plus the new investment at time t).

Brief Look at the Elementary Mathematical Principle

A. Dynamic Programming



where

$$\begin{cases} u_t & \text{decision variable } (u_t \in D: \text{domain of possible investments}) \\ x_t & \text{state variable } x_t = X [x_{t-1}, u_t] \\ r_t & \text{economic result of the decision } r_t = R [x_{t-1}, u_t]. \end{cases}$$

The function to optimize is:

$$\sum_{t=1}^T r_t$$

In fact, the dynamic programming consists of step by step optimization of the function.

$$f_t(x_{t-1}) = \text{Opt}_{u_t} [r_t + f_{t+1}(x_t)]$$

where

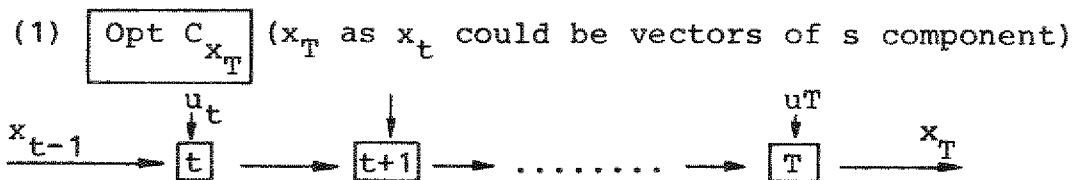
f_t is optimum from T to t.

The first steps begin with: $f_T(x_{T-1}) = \text{Opt}_{u_T} r_T$	The last steps give the result: $f_1(x_0) = \sum_t r_t$
--	--

B. Principle of the "Maximum"

B.1 Under the Discrete Form

In the maximum principle, the goal is to optimize a linear function of the last state vector:



with

- (2) - State equation $x_t = X_t [u_t, x_{t-1}]$
 - $u_t \in D$ domain of variation of the decision variable.

To optimize (1) under (2) is the same as to optimize

$$(3) \quad \text{Opt}_{(u_t, x_t)} L = cx_T - \sum_{t=1}^T \lambda_t [x_t - X_t(u_t, x_{t-1})]$$

where λ_t are the Lagrange multipliers.

a) optimum related to $u_t \in D$: as u_t belongs only to one term, it is enough to optimize:

$$\hat{H}_t = \lambda_t X_t \text{ at each step, in function of } u_t;$$

b) optimum related to x_t : (as there are no constraints on x_t) is possible to derive at each step.

For the last step:

$$\frac{\delta L}{\delta x_T} = C - \lambda_T \longrightarrow \lambda_T = C.$$

For each other step (as x_t belongs only to X_{t+1}):

$$\frac{\delta L}{\delta x_t} = \lambda_t + \frac{\hat{H}_{t+1}}{\delta x_t} \longrightarrow \lambda_t = \frac{\hat{H}_{t+1}}{\delta x_t}$$

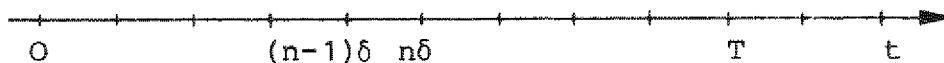
Summary: Optimizing cx_T is equivalent to determining a set of λ_t which verified:

$\lambda_T = C$
$\lambda_t = \frac{\delta \hat{H}_{t+1}}{\delta x_t}$

(λ_t are calculated step after step)

B.2 Under the Continued Form (or Maximum Principle of Pontryagin)

The problem is exactly the same as above. To see roughly how the method goes, let us suppose that the time is divided in very small intervals: δ



$$x_{n\delta} = x_{(n-1)\delta} + \delta x'$$

where

x' is given:

$$x' = h \left[x_{(n-1)\delta}, u_{n\delta} \right].$$

The state variable $x_{n\delta}$ could then be written as before in the discrete case:

$$x_{n\delta} = x_{(n-1)\delta} + \delta h = \lambda_{n\delta} [u_{n\delta}, x_{(n-1)\delta}]$$

Then the problem is close to the discrete case, and it is long but easy to show that the solution of the problem is to find the vector $\lambda(t)$ where

$$\begin{aligned} \text{Opt } \hat{H} &= \text{Opt}_{u(t)} \lambda(t) \cdot h(x, u) \\ \frac{d}{dt} \cdot \lambda(t) &= - \frac{\delta h}{\delta x(t)} \cdot \lambda(t) \end{aligned}$$

Economic Interpretation:
 $\lambda(t)$ could be interpreted as the maximum price for the state variable that the owner of the system would accept marginally to pay for getting it on an external market, if this one would exist.

4. Simulation

In this case it is impossible to give a general overview of the mathematical technique. There is no function to optimize. Each author mathematically describes the system he wants to study, and he does so after sensitivity studies of the different parameters.

It is nevertheless interesting to note one kind of simulation which consists in simulating a system at the supposed optimum level and for doing so to use the equations of the optimum condition. Let us briefly recall what these conditions (called Kuhn and Tucker conditions) are. When the system:

$$\begin{cases} \text{Max. } Y(x) \\ a(x) \geq 0 \text{ is optimum, then a vector } u \geq 0 \text{ exists.} \end{cases}$$

with

$$\begin{cases} \left(\frac{dY}{dx} \right) \hat{x} + u \left(\frac{da}{dx} \right) \hat{x} = 0 \\ \text{u.a. } (\hat{x}) = 0. \end{cases}$$

where

Y is the objective function
 a(x) the matrix of the conditions
 u vector of dual variables that could often be interpreted as marginal costs.

For example Prof. Hendrick Houthakker and Michael Kennedy at Harvard /10/ used this technique to simulate world uses of petroleum where each of the equations used has an economic interpretation as for example:

- one postulates that the supply of crude oil and the demand for products in each region depends linearly on all prices in the world market;
- another translates the fact that the cost for operating any activity must be less than or equal to the revenue of operating this activity, and so on.

5. Other Different Techniques

A. Input-Output Analysis

Robert Herendeen /8/ has been one of the first to develop the relationship between energy consumption and the money value of the output of different sectors of the industry.

This technique is based on I/O matrices that we can describe under the following linear form:

$$X_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} X_j + Y_i \quad (1)$$

where

X_i the total output (dollars) of sector i
 Y_i the output (dollars) of i sold to final demand
 A_{ij} constant coefficient representing what the sector i sales to the sector j for producing one unit of its output.

The equation (1) can be put under the matrix form:

$$X = AX + Y$$

or $X = (I-A)^{-1} Y.$

Herendeen introduces the energy in the following way:

$$\text{let } E_i = \sum_{k=1}^n E_{ik} + E_{iy}$$

where

- E_i total energy output (kcal) of energy sector i
- E_{ik} energy sales (kcal) from sector i to k
- E_{iy} energy sales (kcal) from sector i to final users,

since

$$E_{ik} = \left(\frac{E_{ik}}{X_k}\right) X_k = \left(\frac{E_{ik}}{X_k}\right) \sum_{l=1}^n \left[(I-A)^{-1} \right]_{kl} Y_l$$

$$E_i = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{E_{ik}}{X_k} \left[(I-A)^{-1} \right]_{kl} Y_l + \left(\frac{E_{iy}}{Y_i}\right) Y_i$$

Define:

- (a) $R_{ik} = E_{ik}/X_k$
- (b) $S_{ik} = \begin{cases} E_{iy}/Y_i, & i = k = \text{energy sector} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

Then:

$$E = \left[R(I-A)^{-1} + S \right] Y = \Sigma Y$$

where Σ is the total energy matrix. Σ_{ij} gives the total output (kcal) of energy sector i required for the economy to deliver a dollars's worth of project j to final demand.

Example for the glass sector⁽²⁾, see Fig. 1.

B. Scenarios /5/

In fact each model represents a fixed scenario, therefore it is necessary to explain what we call here a scenario. This term indicates the description of different states of the world through the aggregation of elementary events.

(2) Unpublished study made at IIASA with the French I/O Table for 1969

In order to be clearer let us take an example: let us suppose that in order to describe the energy situation related to the forthcoming period 1975 - 1990 we consider the different situations obtained by combination of the following three simple events:

- 1) the first event will belong to the technical area as e_1 : 75 % of electricity is supplied by nuclear plants;
- 2) the second event will belong to the environmental area as e_2 : in average all the rivers of the country will be at 30 °C;
- 3) the last considered event will belong to the sociologist area as e_3 : each year there are strong protest marches against nuclear power plants.

A scenario or a state of the world could be supplied by the combination of the three elementary events, e.g.:

$$S_i = \{e_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3\} \left\{ \begin{array}{l} \text{Nuclear power supplies 75 \% of the electricity, but technical progress has been made in the cooling system, and there is no risk of strong opposition to nuclear energy;} \end{array} \right.$$

or

$$S_j = \{\bar{e}_1, e_3, \bar{e}_3\} \left\{ \begin{array}{l} \text{Nuclear power does not supply 75 \% of the electricity but nevertheless, for other reasons, the temperature of the rivers is at 30 °C, and there is no opposition to nuclear energy;} \end{array} \right.$$

and so on. In the whole it is possible in this case to build $2^3 = 8$ scenarios. If the number of elementary events was fifty, it would be possible to build 2^{50} scenarios.

As it impossible to study a lot of scenarios, it would be interesting to study only the most relevant ones. To do so, the idea is to classify the different scenarios in a stochastic order.

It is roughly possible to do the following. Ask to a panel expert to reach a consensus in regard to the following probability:

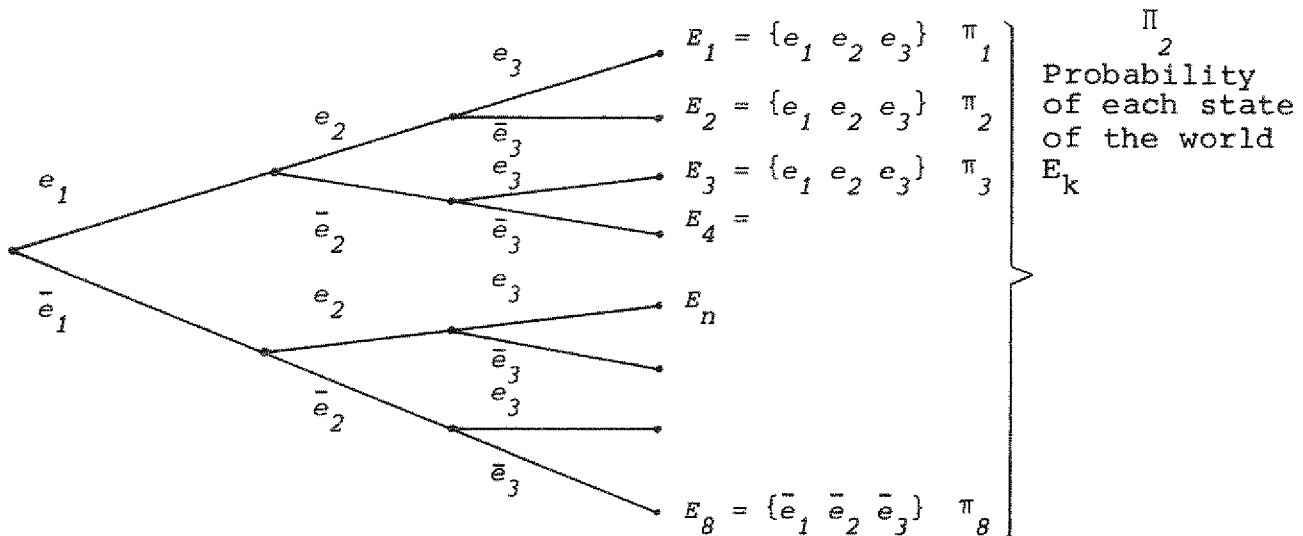
- $p(i)$ probability that the event e_i will occur during the considered time period 1975-1990;
- $p(i/j)$ probability that e_i will occur, given that e_j has occurred in this period;
- $p(i/\bar{j})$ probability that e_i will occur, given that e_j has not occurred during this period.

All these probabilities only concern either separate events or pair of events but nevertheless, it would be very surprising that the experts' opinions would satisfy the classical relationship.

$$\begin{cases} p(i) &= p(i/j) \cdot p(j) + p(i/\bar{j}) \cdot p(\bar{j}) \\ p(i \cdot j) &= p(i, j) \cdot p(j) = p(j/i) \cdot p(i) \end{cases} \quad (1)$$

Furthermore the information is not sufficient to calculate the probability of each state of the world:

$$E_k = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$$



Let us call π_k the unknown probability of the state of the world E_k ($\sum_k \pi_k = 1$). Then the probability of a simple event e_i can be written in the following form:

$$p^+(i) = \sum_{k=1}^{2^N} \theta_{ik} \cdot \pi_k \quad (2)$$

where

$$\begin{cases} \theta_{ik} &= 0 \text{ when } e_i \text{ does not belong to } E_k \\ \theta_{ik} &= 1 \text{ when } e_i \text{ belongs to } E_k. \end{cases}$$

In the same way:

$$p^+(i/j) = \frac{\sum_k t(ijk) \pi_k}{p(j)} \quad (3)$$

where

$$\begin{cases} t(ijk) &= 1 \text{ when } e_i \text{ and } e_j \text{ belongs to } E_k, \\ t(ijk) &= 0 \text{ when } e_i \text{ or } e_j \text{ does not belong to } E_k. \end{cases}$$

And:

$$p^+(i/j) = \frac{\sum_k S(ijk) \pi_k}{1-p(j)} \quad (4)$$

where

$$\begin{cases} S(ijk) = 1 & \text{when } e_i \text{ and } \bar{e}_i \text{ belong to } E_k, \\ S(ijk) = 0 & \text{when } e_i \text{ or } \bar{e}_j \text{ do not belong to } E_k. \end{cases}$$

The p^+ stars are theoretical probabilities which satisfied the relations (1). The probabilities of each state of the world π_k will be found in minimizing the difference between $p(i) \cdot p(i/j)$ factors resulting from the experts' opinions and the theoretical probability $p^+(i) \cdot p^+(i/j)$ expressed in terms of π_k :

The objective function is:

$$\begin{aligned} \text{Min. } & \sum_{i,j} \left[p(i/j) \cdot p(j) - \sum_k t(i,j,k) \cdot \pi_k \right]^2 \\ & + \sum_{i,j} \left[p(i,j) \cdot p(\bar{j}) - \sum_k s(i,j,k) \cdot \pi_k \right]^2 \quad (5) \end{aligned}$$

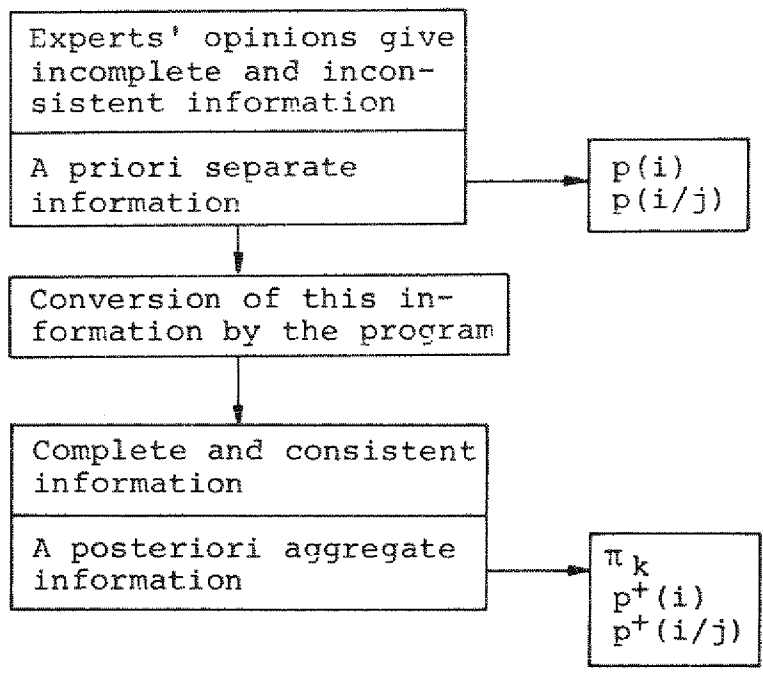
with

$$\begin{aligned} \sum_k \pi_k &= 1 \\ \pi_k &\geq 0 \end{aligned}$$

The output of the program (5) gives the probability π_k of each state of the world and a posteriori probability p^+ of the experts opinion in using the relations (2), (3), (4).

It is then possible to classify the states of the world and to study only the most relevant ones.

This approach could be summarized in the following way:



II. OVERVIEW ON THE DEVELOPED MODELS IN THE WORLD

1. Overview and Classification of Energy Models

Last summer IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) organized a meeting in this theme /15/ and also published the first issue /3/ of an annual review devoted to the energy models currently being developed all over the world.

To bring together what was discussed during this meeting with an analysis of this view, two major points must be made:

- 1) If we put away the very specific models developed by private utilities, there are few models which permit study of the global energy problems either at a national or international level.
- 2) The institutions and the links between universities and energy agencies have a fundamental role to play for the quality and the realistic aspects of the models.

Let us have a quick look at the review and the classification adopted at IIASA.

1.1 Standard Summary of the Model

Each studied model has been summarized in a standard form in Fig. 2.

Item 1 contains the bibliographical information: name of author, date, localization, etc. Item 2 describes the studied subject and the goals of the model. Item 3 gives a general idea of the complex interactions within a system described.

After this general description of the system studied and the goals aimed at by the author, the following two terms "Modelling Techniques" and "Input Data" try to make a clear distinction between what is endogenous and what is exogenous. The term "Modelling Techniques" endeavors to give a description of all logical aspects of the model. The mathematical aspects are not detailed; only the main concepts which explain the internal structure of the mathematical representation are drawn up.

The term "Output Data" only indicates the kind of results given by the model. The quantitative values supplied by each model are often too large to be incorporated in such a summary. Finally, the term "Observations" is mainly devoted to possible future developments of the models.

1.2 Classification of the Models

The already adopted classification of models is made in using six classes (A, B, ... F). The first distribution is made between models which study energy problems either at a national or at an international level. Then a second classification is made for distinguishing the models which only look at the energy problems and the models which link the energy area with global economics. In the first group another subdivision is used for separating models which take into account one energy field from models which investigate different energy sources.

CLASSIFICATION OF MODELS

Areas of Application		National	International
Energy System (energy is the main problem)	One kind of fuel	A (46 %) (3)	B (6 %) (3)
	Several kinds of fuel	C (23 %)	D (1 %)
Linkage between energy and general economy		E (17 %)	F (6 %)

In the group A (one energy form at the level of a country) we found a tremendous number of models (approximately one half of the seventy models analyzed in the review). It is practically impossible to give a general overview of them because one finds inside all the industrial firm models in which each author follows a specific goal! I would not have any sense to review them, since each has its own special target.

In the group B (one energy form at the international level) one finds, and it was easy to forecast because of the present fuel-oil problem, a large number of models studying the market of this fuel.

The two models developed R.J. Deam /4/, of Queen Mary College, U.K., and H. Houthakker and Mr. Kennedy /10/, of Harvard, U.S.A., seem to be the most efficient. In both models, the world market of fuel oil is divided into a certain number of regions where production, transport and refining are taken into account. The Deam model used linear programming in order to minimize the total expenditure for a given level of the demand. The Houthakker

(3) Percent of models in this class among the seventy analyzed models.

and Kennedy model simulated a market that the authors supposed optimal and it is described by using equations which can be interpreted as first order conditions of a quadratic programming problem describing a competitive market. These two models are still being developed but could nevertheless be used now for studying different policies.

Group C (different forms of energy for a given country) is as important in number (23 % of the analyzed models) as it is in its theme. The group essentially studies the possibilities of substitution between different forms of energy either at the primary supply side or at the final use side. One of the most relevant models in this category is that of Dr. Kenneth Hoffman (Fig. 2) /17/ of the Brookhaven National Laboratory, U.S.A., which is using linear programming. For a given year it studies the best linkage between thirteen given supply sectors and fifteen given demand sectors. The criterion is the minimization of the total expenditure. The constraints are essentially related to the demand level to be satisfied, to the level of supply and to the level of pollution (SO_x , CO_x , NO_x , particulates, radioactive wastes and thermal wastes). Dr. Hoffman is actually working on a dynamization of his model.

Linked to this group is the work being carried on by Prof. W. Häfele and his team at IIASA for the study of transition from fossil to other fuels in a given economy. The first publication from this work came out in June 1974 entitled "The Strategies for a Transition from Fossil to Nuclear Fuel" by W. Häfele and A.S. Manne /7/. The objective is to minimize (by linear programming) the present value of costs incurred annually during each period (three years) over a seventy-five year horizon. It is interesting to note that two kinds of models have been developed where either the final demands for energy are taken to be exogenous, or these demands are endogenous since they depend upon the costs of supply. In the model where the demands are responsive to price, the objective function is the maximization of the money value of consumers utility less the costs of meeting the final demand. (If q is the quantity of energy, then the utility function of the consumer is $u(q) = aq^b + c$, where a, b, c are estimated through a series of assumptions concerning the demand curves.

It is not useful to speak in detail of the models of group D (different fuels at international level) and group F (energy inside global and international models) because if the subject is very important, few models have been developed in this way at the time being. Even if energy is a major problem, it is only one problem within the complex system that humanity has to forecast and to solve. For this reason it was logical that the energy problem was only part of the global and world studies. The Club of Rome initiated such studies, and now five or six such works are in progress around the world. Unfortunately, even in the most elaborated way, the energy area is often only quickly studied.

Nevertheless, three of these studies are interesting to note. The first is the well-known "World Model" of Mesarovic, U.S.A., and Pestel, F.R.G. /13/, the second so-called "Latin American

Model" (Fundacion Bariloche Argentina) /1/. The Mesarovic-Pestel model mainly tries to investigate the results of various alternatives policies, while, on the other hand, the Bariloche model has an explicit, normative goal, namely to narrow the gap between rich and poor countries. The third author to be mentioned is Prof. L.R. Klein, U.S.A. /12/ who is currently developing a model which links different national models in using external trade relations.

Now let us look at group E where energy is studied by linkage to other national economic problems. Without any doubt, these kinds of models are the most important even with most of them still being developed. The energy area has such a great impact on all other economic problems that the linkage between energy and economics seems essential. Right now, a number of models in this field either are being worked on, from the qualitative or the quantitative point of view. Even though the qualitative approaches seem very fruitful for long-term investigations, I shall not mention them now.

In the quantitative aspect of this problem I should especially like to mention the work done by Prof. Dale Jorgenson, Harvard, U.S.A. /11/ who dynamized the input-output matrix in using production functions which include both technical progress and price effects. This study is a good one to narrow the energy demand aspect which in most of the other models is either exogenously treated or endogenously integrated in using simple elasticity coefficients that many authors are beginning to consider not very efficient for forecasting problems.

The Jorgenson model is formulated for the analysis of interrelationships between energy utilization and economic activity. The most distinctive feature of the model is the incorporation of demand and supply for energy into a single analytical framework. A second important innovation is the analysis of the relationship between energy demand and supply and US economic growth.

The first component of the Energy Model is the Long-term Growth Model which provides projections of aggregate US consumption, investment, government final demand and the prices of primary input: labor and capital. The model includes production and household sectors of the US economy as endogenous components, and the government and foreign sectors as exogenous. The model determines demand and supply for consumption goods, investment goods, capital services, and labor services by means of simulated market processes. Both prices and quantities of final output and factor input are endogenous to the model. The Long-term Growth Model is made dynamic by links between investment, capital stock and productive capacity, and by the reaction of the household sector to past as well as present incomes and prices.

The second component of the Energy Model is based upon an inter-industry structure incorporating transactions not only between producers and final users, but also producers purchases of primary inputs and transactions between different production sectors themselves. The basis element of the model is a model of

producer behavior, one for each of the producing sectors, that determines the sector's input requirements and output price on the basis of other prices, levels of technological efficiency and production coefficients. This sectoral information is then integrated, and the sectoral interdependencies analyzed by means of the input-output technique.

Briefly, input-output analysis sets up requirements for input purchases per unit of output, for each sector and then brings the transactions pattern into consistency by requiring that production levels be such that a specified mix of final output can be satisfied with total demand and supply of each sector's output being equal. The novel feature of the energy model is that the input-output coefficients, which specify the input requirements per unit of sectoral output, can vary in response to changes in relative price and technological efficiencies. This variation allows substitution between inputs, within the limits of production technology, in response to changes in prices and availabilities, and it also allows each sector's efficiency level to be reflected in the amount of inputs required per unit of output.

The actual solution of the model proceeds along the following steps:

- a) The long-term Growth Model provides prices of the primary inputs and the total final demands for consumption, investment and government spending;
- b) The energy model disaggregates the final demand totals into final demand for each of the producing sectors;
- c) Prices are estimated on the basis of primary input prices, technology levels, production coefficients and the models of producer behavior;
- d) The models of producer behavior are also used to calculate, using these prices, technology levels and production coefficients, the input-output coefficients specifying the input patterns from the twelve supplying sectors into each of the nine producing sectors;
- e) The final demand requirements for each sector are combined with the input-output coefficients to derive the total required output from each sector as well as the inter-industry sales, the purchases of primary inputs and the sales to final users.

Inter-industry or producing sectors:

- 1) agriculture, non-fuel mining, construction
- 2) manufacturing, excluding petroleum products
- 3) transportation
- 4) communications, trade, services
- 5) coal mining
- 6) crude petroleum and natural gas
- 7) petroleum refining and related industries

- 8) electric utilities
- 9) gas utilities

Primary input sectors:

- 10) imports
- 11) capital
- 12) labor

Final demand sectors:

- 13) consumption
- 14) investment
- 15) government
- 16) exports

CONCLUSION

As a conclusion I should like to briefly highlight major, difficult problems: related to the formulation of energy demand and its linkage to the global economy.

- A. The first problem deals with exogenous versus endogenous representation of the demand of energy modelling.

If the exogenous concept of demand is used a great deal, it should nevertheless be looked at as some kind of first approximation that you may find useful. Only if you concentrate on something other than demand may exogeneous notions of demand be useful as for example in investment models of private utilities.

- B. The purpose of the second remark deals with the structural relation between GNP and energy consumption.

Up to now a lot of global energy forecasts have been made in using the "good" mathematical correlation between GNP and energy consumption. Two remarks can then be made:

1. you shift the problem of energy demand to the forecast of GNP which is not easy to solve,
2. the structural relation between GNP and energy has never been really proved, and furthermore, if you disaggregate, for example, the industrial sector into production sub-sectors such as glass, steel and so on, the correlation between energy consumption and value added in each sector is never more evident.

Three questions now come to mind:

1. Would the good correlation between GNP and energy not be only a mathematical result due to two quantities

which had growth at a constant rate up to now? Are we authorized to use the result in new forecastings in societies where a lot of things change in the economic relations?

2. Could we consider, as it often is, that GNP is a good approximation of income which is a major variable in the consumption function. Many authors have already drawn attention to this point, and the famous example given by Morgenstern likens the increasing of the CNP to being blocked with your car in a traffic jam: the motor is running, but not the car.
3. Could we continue to use trend projections where these appear to be complete changes in different economic relationships?

C. The third remark deals with the next variable that one would introduce after income: The price of energy or of its components.

There are general agreements on the fact that responses to price are not instantaneous. But how to measure the fact that the modifications of habit takes some time is a problem. As long as the consumer thinks that he still wants the same amount of energy when it has become more expensive, he will find that he can only have less of something else. When he becomes aware of this he will change his habits. But in addition there is his energy using equipment: e.g. the big car. It takes a few years before the big car is worn out, that is to say, before he is ready to substitute a smaller car for the bigger one. Therefore we must regard this demand relationship as having a time-lag structure to it, but the data in this field are very poor at this time.

I shall stop the list of the not-well-known questions related to the problem of energy demand here. In this field such a great number of questions have to be studied, and a full seminar could be devoted to it.

As final conclusion I will now briefly report on the work being done at IIASA on this subject: energy demand research program tries to highlight the problem from two aspects:

1. The first /14/ consists of an econometric model of the world energy system where the efficiency of the market forces to determine the prices of energy resources are carefully studied along with the efficient allocation of energy resources over time. For the time being, the world is broken into five regions; the resources variables are: petroleum, oil shale, coal, nuclear fuel, and natural gas. Demand is broken into the following categories: electricity, process heat, residential heat, substituable and non-substituable transport. Many new technological processes are included for example: gasification and liquifaction of coal, breeder reactors, hydrogen and electric automobile, and so on.

In order to avoid the fixing of a horizon on the model, the concept of backstop technology is introduced. That is a set of processes which

- a) are capable of meeting the demand requirement, and
- b) have virtually an infinite resource.

The modelling technique used is the linear programming.

2. The goal of the second approach consists of building normative scenarios which link the level of energy consumption with the global economic development of different "model societies".

For that purpose the work presently developing is being pursued along two lines:

- (1) The first deals with the qualitative (and when possible quantitative) research on the most relevant parameters that have to be taken into account for linking the energy area with the other parts of an economy. Two methods are studied: one is a factor analysis the goal of which is to bring together a group of countries versus their main economic variables; the other is to develop a method /6/ to try by the mean of cross impact matrix¹⁾ to fix an order of effectiveness on the different parameters. The research on the main parameters will be used later to build scenarios in the same way as briefly described above.
- (2) The second line is an engineering approach very close to the problem of energy budget and energy content in

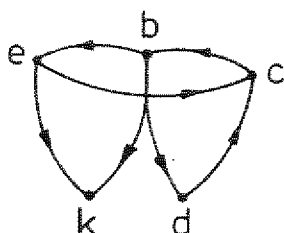
- 1) With the help of experts one has first to define the most possible exhaustive list of parameters having an impact on energy demand. Let us say: a, b, c, ... k. Most of them have mutual influence which could be represented by a matrix as:

	a	b	c	d	...	k
a		0	1	0		1
b	1		0	1		1
c	0	1				
d			1			
k						

where:

0 means for example that (a) has no influence on (b).

1 means for example that (a) has no influence on (c).



This matrix can be represented by a graph where the relations between two parameters are drawn by oriented lines. The idea is then to classify the parameters either in counting the number of lines that are going through there or the number of loops in which they are incorporated. For example, if (a) belong to 6 loops, when (d) belong only to one, it is quite obvious that the parameter (a) is more important than (d), and so on.

different goods: How much energy is needed for producing a car, a house, or a meal of 3000 kcal, etc.? This basic information will be used later on to feed the qualitative scenarios.

References

- /1/ BARILOCH, Foundation "Latin American World Model", Buenos Aires, 1974.
- /2/ BRETON, "Application de la Théorie de la Commande Optimale aux Problèmes de Choix des Equipements de Production". Etudes Economiques Générales E.D.F., Paris, 1972.
- /3/ CHARPENTIER, J.P., with the collaboration of ELSINGHORST, FRG, GIROD, France, TREITEL, France, and VOSS, FRG, "Review of Energy Models", IIASA Publication, May 1974.
- /4/ DEAM, R.J., "World Energy Supply Analysis", Energy Research Unit, Queen Mary College, University of London, 1973.
- /5/ DUPERRIN, J.C., and GODET, M., "A Method for Constructing and Ranking Forecasting Scenarios", Montrouge, 1974, METRA Group.
- /6/ DUPERRIN, J.C., and GODET, M., "Systèmes et Matrices d'Impact Croisés", Rapport Economique CEA-R-4541, Paris, 1973.
- /7/ HÄFELE, W., and MANNE, A.S., "Strategies for a Transition from Fossil to Nuclear Fuel", RR-74-7 Laxenburg, IIASA, 1974.
- /8/ HERENDEEN, R.A., "Use of Input-Output Analysis to Determine the Energy Cost of Goods and Services Energy Demand Conservation and Institutional Problems", Ed. Macrakis, MIT Press.
- /9/ HOUTHAKKER, H., and KENNEDY, M., "Demand for Energy", Cambridge, Mass., Harvard, 1974.
- /10/ HOUTHAKKER, H., and KENNEDY, M., "The World Petroleum Model", Cambridge, Mass., Harvard, 1974.
- /11/ JORGENSON, D., and HUDSON, E., "U.S. Energy Policy and Economic Growth 1975 - 2000", Harvard and Data Resources, Cambridge, Mass., 1974.
- /12/ KLEIN, L.R., "International Linkage of National Economic Models", International Study Group, The Link System Ed. Amsterdam Ball, 1973.
- /13/ MESAROVIC, M., and PESTEL, E., "Multilevel Regionalized World Model", Case Western Reserve Univ., Cleveland, Ohio, 1974.

- /14/ NORDHAUS, W., "The Allocation of Energy Resources", Unpublished Manuscript. New Haven, Conn., Yale University, Laxenburg, IIASA, 1974.
- /15/ Proceedings of the IIASA Working Seminar on Energy Modelling. May 28-29, 1974, CP-74-3. Laxenburg, IIASA, 1974.
- /16/ PUISEUX, L., "Prévoir la Demande d'Electricité." Thèse de Doctorat. Ecole des Hautes Etudes. Paris, April, 1973.
- /17/ HOFFMAN, K., "A Unified Planning Framework for Energy System Planning", Brookhaven National Laboratory, Upton, N.Y.

Any views or conclusions are those of the author, and do not necessarily reflect those of IIASA.

FRANCE 1969

ENERGY CONSUMED (IN kWh_{TH}) TO PRODUCE 1 % OF FINAL PRODUCT
(AT THE 1969 PRICE)

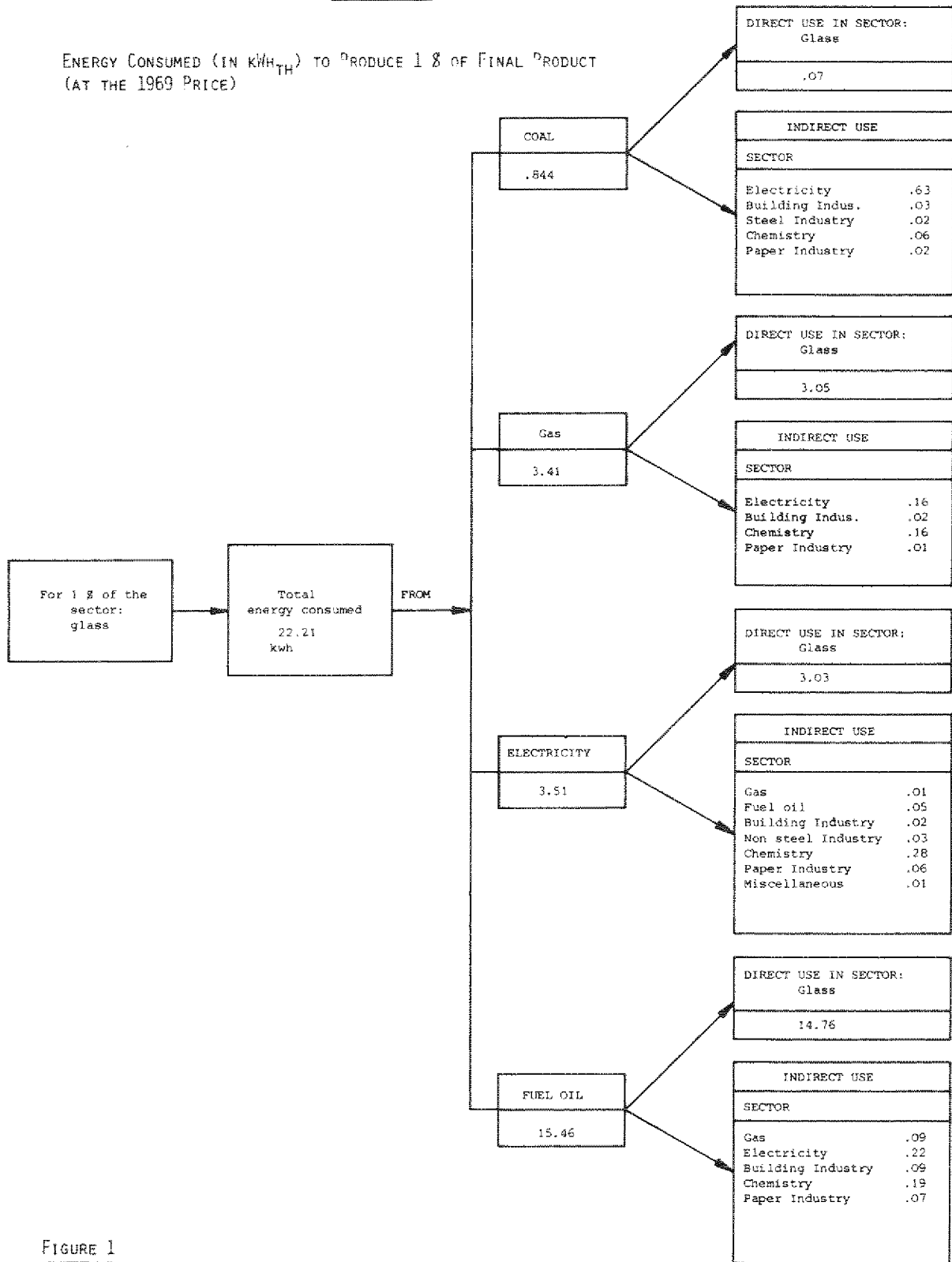


FIGURE 1

Figure 2

U . S . A .

1/ Bibliographical data	Kenneth Hoffman (Brookhaven National Laboratory) "A unified planning framework for energy system planning" Polytechnic Institute of Brooklyn, USA. June 72
2/ Subject and goal	Optimal technical structure of the US energy system. Includes final demands and primary consumption. The model reflects a wide range of energy technologies and interfuel substitutability. It traces paths from primary consumption to final demand for each type of fuel.
3/ System described by the model	This model is concerned with the substitution of different fuels at the level of disaggregated demand and supply. In addition, it estimates the volume of each type of pollutant produced by the energy system.
4/ Area	time space
5/ Modelling techniques	Static model for a particular point in time (the model has been applied to the years 1985 and 2000). USA as a whole
6/ Input data	Optimization model using linear programming. The model provides a feasible path between $n=13$ exogenous supply categories and $m=15$ exogenous demand categories. The objective function is the minimized solution of the present amount of the cost of the different possible paths. Three kinds of constraints must be satisfied: the level of each kind of demand, the possibility of each kind of supply system and the levels of the different pollutions. An expanded model is under development with 27 supply categories and 22 demand categories.
7/ Output data	<u>Physical</u> $n=13$ supply categories are considered as follows: - 8 kinds of control stations that produce electricity as an intermediate energy form: Hydropower, geothermal, coal-steam electric, LWR electric, LMFBR electric, gas turbine electric, pumped storage electric and solar energy. - 4 general purpose fuels that are directly delivered to consumers: oil products, natural gas, synthetic fuel (hydrogen) and coal gas and coal. - 1 decentralized electric supply system known as: total energy (up to 5 MW output) (diesel generators or gas turbine or fuel cells.) For each supply category, the model needs the knowledge of: - the supply constraint given in units of 10^{15} Btu - the amount of energy that can be delivered by a particular supply category, limited either by the energy conversion capacity or by the quantity of available energy resources. $m=15$ demand categories are considered as follows: The demand is divided into 2 sub-categories: 1) exogenous demand which means: different categories of energy demand: space heat, air conditioning, electricity at 8 different load factors, water desalination, pumped storage, production of synthetic fuels, water heating, miscellaneous, thermal heating, air transport, ground transport (public and private), iron production, cement production, and petrochemistry and synthetic materials. 2) endogenous demand: for the electricity mentioned above the model takes into account the load duration curve of the system. For certain demand categories, it is possible to mix the different plants in order to optimize the global load factor curve. The load structures on a seasonal and weekly basis are taken into account. <u>Ecological</u> The model incorporates air pollutants and other wastes generated by energy conversion activities that are proportional to the amount of energy delivered CO_2 , CO, SO_2 , NO, particulates, hydrocarbon, radioactive wastes and thermal wastes. Other pollutants and land use will be incorporated in the expanded model. <u>Economic</u> The coefficients of cost in the objective function reflect the necessary cost of the facilities used in the energy supply system as well as fuel and other operating costs. The necessary cost of capital for the electric supply category is a function of the plant load factor which is also a function of each specific demand category.
8/ Observations	<u>Physical:</u> The model gives for a specified level of each demand the optimal utilization of the different available supply system. <u>Economic:</u> The model gives the total cost of the energy system but the resulting optimal path is greatly dependent of the different input costs. <u>Ecological:</u> The model gives the volume of the different polluting emissions.
	a) This model is static, it can be used only for one year. For that year it is necessary to know the demand and the supply categories. The level of the different kinds of demands can be obtained by using an input-output model. b) The price elasticity of demand is not taken into account in the current model, but is being added to the expanded model.

This summary has been reviewed by the author of the model.

DISKUSSION

W. Häfele, IIASA, Laxenburg, Österreich: Wir haben am Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA) ja auch die Aufgabe zu einer Art Kommunikation zwischen den verschiedenen Gruppen der beteiligten Länder hinzuzuführen. Es zeigt sich, daß die Ausrichtung und auch der wissenschaftliche Gehalt der verschiedenen Energiemodelle in den verschiedenen Teilen der Welt recht unterschiedlich ist. Es gibt im Bereich der ECE (Economic Commission of Europe) in Genf eine Gruppierung, die sich für den internationalen Austausch von Energiemodellen auf Regierungsebene interessiert. Es gibt innerhalb der Vereinigten Staaten eine Arbeitsgruppe, die sich um den Austausch, über die Ausrichtung und den Inhalt von Energiemodellen bemüht. Wir haben es uns in Laxenburg zur Aufgabe gemacht, alle Entwicklungen zu verfolgen, aufeinander abzustellen und abzugleichen, soweit es überhaupt geht, und dafür zu sorgen, daß die Kanäle der gegenseitigen Information zustandekommen. Wir haben die Absicht, in Zusammenarbeit mit der Kernforschungsanlage Jülich diese Art von Verfolgung und Dokumentation auf den Computer zu bringen und so zu einer laufenden Aufgabe zu machen.

P. Gonschior, DFVRL, Porz-Wahn: Gibt es bei der IIASA bereits einen regelmäßigen Austausch von Energiemodellen und eine regelmäßige Kooperation?

W. Häfele, IIASA: De facto ist das bereits der Fall. Wir hatten im vergangenen Mai eine Konferenz zu just diesem Thema, die Herr Charpentier organisiert hat. Die Proceedings dieser Konferenz werden alsbald erscheinen und Ihnen auch zur Verfügung stehen. Es ist beabsichtigt, diese Konferenz von Zeit zu Zeit zu wiederholen. Jeder, der mitmachen möchte, ist also herzlich eingeladen.

A. Voß, KFA Jülich: Herr Charpentier, Sie haben eine Reihe von Methoden und Techniken vorgestellt, die in Energiemodellen Verwendung finden. Ist Ihnen bekannt, ob man auch spieltheoretische Ansätze benutzt innerhalb von Energiemodellen?

J.P. Charpentier, IIASA: Ich glaube, daß viele Autoren einen entscheidungs- oder auch spieltheoretischen Ansatz in ihren

Modellen gern unterbringen möchten. Bis heute ist das noch nicht der Fall.

H.W. Schmidt, RWI, Essen: Sie haben mit Recht gefragt, Herr Charpentier, ob in der Regel gute enge Korrelationen zwischen Wachstum des Bruttosozialproduktes und Wachstum des Energieverbrauchs nicht etwas verführerisch ist. Wir in Essen wenden bei der Prognose ein dreistufiges Verfahren an. Wir kümmern uns zunächst sehr intensiv um die einzelnen Endverbrauchsbereiche, gehen dann über zur Betrachtung des Transformationssektors und kommen dann im Grunde durch Additionen auf den Primärenergieverbrauch. Die Korrelation Bruttosozialprodukt - Primärenergieverbrauch ist eine erste Annäherung, die aber offen bleiben muß, die korrekturfähig sein muß. Sie haben auch zu Recht gefragt, ob man in Anbetracht des Geschehens seit Oktober 1973 noch auf der Basis der alten Zeitreihenanalysen arbeiten kann. Das ist in der Tat ein Problem, vor dem alle jetzt stehen, die Prognosen machen müssen.

J.P. Charpentier, IIASA: Ich glaube, daß Sie das Problem der Unterscheidung zwischen einer Vorhersage auf grundlegenden Erwartungsdaten und einer normativen Abschätzung der Zukunft ansprechen, wobei ein Vergleich der Zukunftsschätzungen mit der heutigen Situation versucht wird. Nach meiner persönlichen Meinung sollten beide Wege beschritten werden, da es keine absolute Antwort gibt.

D. Bünemann, GKSS, Geesthacht: Ich meine, man sollte noch eine Möglichkeit für diese in der Regel komplizierten Systeme betrachten. Man paßt sinnvollerweise vereinfachte Modelle adaptiv an, um schneller modulartig mit Unterstrukturen Ergebnisse zu erhalten.

W. Häfele, IIASA: Sicher stimme ich dem zu, Herr Bünemann. Sie fragen, in welchem Umkreis dieser "approach" bei den Energiemodellen sichtbar geworden ist. Im Augenblick ist eine derartige Vorgehensweise noch nicht üblich. Wir waren aber im letzten Dezember zu einem Seminar in Moskau. Danach scheint es so zu sein, daß die Schule in Irkutsk etwa diesem "approach" folgt. Wir sind dabei, das ein wenig näher kennenzulernen.

H. Fuß, DFVLR, Porz-Wahn: Welche Gefahren entstehen, indem man Korrelationen zwischen z.B. Energie und Bruttosozialprodukt benutzt, wobei die Frage ist, ob das Bruttosozialprodukt überhaupt eine vernünftige Größe ist? Ist die Begriffswelt ausgereift genug, um mit Modellen das zu erreichen, was man erwartet?
Bei dem Versuch der Abbildung der Realität durch ein Modell wird meines Erachtens das Kriterium der Verhaltensstruktur nicht genügend geprüft und kann vielleicht auch bei der Art, wie die Modelle gemacht werden, nicht genügend beachtet werden.

J.P. Charpentier, IIASA: Derzeit wird das Verhaltensproblem in verschiedenen Instituten intensiv bearbeitet, aber man muß eine Menge quantitativer Parameter berücksichtigen, so daß der Fortschritt sehr langsam ist. Es ist leichter zu untersuchen, welche quantitativen Parameter notwendig sind, als sie unter dem qualitativen Gesichtspunkt zu verwenden.

EINBETTUNG VON ENERGIEMODELLEN IN GESAMTMODELLE
UND DIE KOPPLUNG
NATIONALER UND GLOBALER MODELLE

Vorsitz:
R. Pestel
Bundesministerium für Forschung und Technologie
Bonn

Die Diskussion gliederte sich in drei Themenkreise:

1. Situationsbeschreibung rohstoffabhängiger Industrienationen

Zur Problematik der Allokation von Rohstoffen beim Eintreten von Einfuhrrestriktionen oder beim Auftreten physisch bedingter Verknappungen gehören Dinge, wie die Suche nach dem Rohstoffaufwand in bestimmten technologischen Prozessen, die Preiselastizität des Energie- und Rohstoffverbrauchs, die Substituierbarkeit einzelner Rohstoffe, strukturverändernde Drücke und Folgen von Strukturveränderungen. Dabei taucht für die verschiedenen Entscheidungsträger in einer Industriegesellschaft ein Abwägungsproblem auf, das zur Einbeziehung politischer Aspekte in den Problemhorizont führt. Der verschärfte Wettbewerb um Rohstoffe und Märkte erfordert die Berücksichtigung von Konfliktpotentialen, von Kartellbildung, aber auch der konstruktiven Möglichkeiten, etwa der Weiterentwicklung internationaler Arbeitsteilung.

2. Einbettungsaspekte - Rückwirkungen weltweiter Entwicklungen

In geographisch-politischer Hinsicht ist die BRD in den westeuropäischen Raum, darüber hinaus in das Weltwirtschaftssystem eingebettet. Aber auch auf nationaler Ebene besteht die Einbettungsproblematik der Energiefrage, etwa in das Wirtschaftssystem, das als Subsystem der Gesellschaft verstanden werden soll, oder in das Umweltsystem. Die dritte Einbettungskategorie ist die Einbettung der Energiefrage in die energiepolitische Entscheidungssphäre. Dort gilt es, die unterschiedliche Interessenslage verschiedener Entscheidungsträger zu berücksichtigen. Einige Faktoren, die bei der Berücksichtigung globaler Entwicklungen eine Rolle spielen:

- Der internationale Handel und die daraus erwachsenden Arbeitsteilungs- und Abhängigkeitsverflechtungen.
- Die Entwicklungshilfe, die durch Kapitalinvestitionen und Technologietransfer die Art der Arbeitsteilung beeinflusst.

- Gegenseitige Beeinflussung durch Klima- und Umweltveränderungen und Abwanderung von Arbeitskräften.

3. Methodische Ansätze

Es wurde ein Katalog von Forderungen an die Modellbauer zur geeigneten Darstellung der Energiefrage als globale Problematik herausgearbeitet:

- (a) Berücksichtigung von Restriktionen
 - Verhalten der Endenergieverbraucher
 - Trägheit der Wirtschaft bei Strukturveränderungen
 - Kompatibilität zwischen mittelfristiger und langfristiger Strategie
 - Zeitkonstanten von Entwicklungen
- (b) Berücksichtigung der Nachfrage
 - konkrete und nach Branchen aufgeschlüsselte Bedarfsdaten
 - Nachfrageelastizitäten des Verbrauchers
 - Konkurrenz der Energie und Rohstoffe verbrauchenden Nationen auf dem Weltmarkt
- (c) Trennung von veränderlichen und invarianten Strukturen des Systems

Bei Kenntnis der Strukturinvarianten ist eine Status-quo-Prognose möglich, die man dann als Referenzsystem verschiedener alternativer Strategien benutzen kann. Das Interesse der Entwicklungsländer an Ressourcenschonung bei gleichzeitigem wirtschaftlichem Aufbau etwa ist ein Beispiel für invariantes Verhalten im Weltwirtschaftssystem.

Es wurde auf die Chance einer gezielten exogenen Beeinflussung des Systems hingewiesen, die das Auftreten von instabilen Systemkonfigurationen bieten kann. Daran knüpfte sich die Forderung an, von der bisher vorherrschenden einseitigen Orientierung an stabilen oder zyklischen Systemzuständen abzugehen.

Zum Schluß wurde betont, daß Umfang und Komplexität der Problemstellung eine Arbeitsteilung der verschiedenen Modellbaugruppen, damit ein modulares Vorgehen bei der Modellentwicklung erforderlich macht.

ANFORDERUNGEN AN ENERGIEMODELLE
AUS DER SICHT DES
ENERGIEPLANERS IN POLITIK UND WIRTSCHAFT

Vorsitz:
H. Quante
Bundesministerium für Wirtschaft
Bonn

Die Diskussion gliederte sich in drei Themenkreise:

1. Allgemeine Anforderungen an Energiemodelle,
2. Anforderungen aus der Sicht des Energieplaners im politischen Bereich,
3. Anforderungen aus der Sicht des Energieplaners im Bereich Wirtschaft.

Im folgenden werden die wesentlichen Argumente und Gegenargumente der drei Themenkreise zusammenfassend wiedergegeben.

Zu 1:

- Es besteht eine gewisse Schwierigkeit, die vielfältigen Anforderungen aus der Praxis gleichzeitig zu erfüllen. Modelle sind meistens auf eine spezielle Fragestellung zugeschnitten. Standardmodelle, auf die man nach Belieben zurückgreifen könnte, gibt es nicht.
- Gewisse Gefahren bestehen in der Möglichkeit, daß Anwender, denen ein Modell zur Verfügung gestellt wird, dieses kritiklos benutzen.
- Die Anforderungen an ein Modell werden im wesentlichen durch die Zielsetzungen des Anwenders bestimmt. Diese sollten möglichst klar formuliert sein. Jedem Modell sollten eindeutige Modellprämissen zugrunde liegen, wobei subjektive Elemente klar zu kennzeichnen und eventuell durch Diskussionen "abzusichern" sind.
- Es besteht ein Bedarf sowohl an Gesamt- als auch Partialmodellen für die Energiewirtschaft. Der Hauptvorteil dieser Modelle ist darin zu sehen, daß sie zu einem besseren Verständnis der Systemzusammenhänge führen; sie vermitteln

also die Kenntnis vom Gewicht bestimmter Einflußgrößen und damit die Informationsgrundlagen für die Beurteilung der Frage, ob und welche Maßnahmen zu realisieren sind.

- Modelle sollten schnell verfügbar sein, sie erfordern jedoch zu ihrer Entwicklung sehr viel Zeit. Grundsätzlich ist der hohe Aufwand in etwa vergleichbar mit dem bei der Einführung neuer Technologien. Der Zeitfaktor spielt also eine große Rolle für diejenigen, die Modelle erstellen und diejenigen, die sie anwenden.
- Die Kommunikation zwischen Entwicklung und Anwendung von Modellen sollte im Sinne "verstehbarer" Modelle gefördert werden. Modellergebnisse sollten möglichst vergleichbar sein, u.a. wurde vorgeschlagen, eine gleiche Datenbasis zugrunde zu legen. Daraus ergab sich auch die Forderung, verschiedene Modellkonzepte durch Zusammenarbeit bei deren Entwicklung miteinander zu verknüpfen. Denn für die vielfältigen Wünsche der Anwender sind eine Vielzahl von Modellen nötig. Sie sollten möglichst so angelegt sein, daß sie gekoppelt werden können.

Zu 2:

- Es wurde auf die Notwendigkeit hingewiesen, Energiemodelle in gesamtwirtschaftliche Zusammenhänge einzuordnen; eine isolierte Betrachtungsweise der energiewirtschaftlichen Entwicklung könnte zu Fehlschlüssen führen.
- Es wird erwartet, daß Modelle auf hinreichend abgesicherten Forschungsarbeiten aufbauen und, um zu gewährleisten, daß die Systemzusammenhänge richtig wiedergegeben werden, an Vergangenheitsdaten verifiziert sind.
- Modelle sollten die Berücksichtigung normativer Elemente ermöglichen, dabei sollten klar definierte Ziele existieren, um die Anforderungen an ein Modell transparent werden zu lassen. Zu dieser Aussage wurde angemerkt, daß trotz aller Bemühungen, Normen mit in die Beschreibung der Systemzusammenhänge einzubeziehen, die Entscheidungen selbst außerhalb des Modells getroffen werden müssen.
- Beispielhaft können die Anforderungen aus dem politischen Bereich wie folgt verdeutlicht werden:
Erstellung kurz-, mittel- und langfristiger Energieprognosen/-projektionen der Energienachfrage und des Energieangebots:
 - alle Energieträger
 - einzelne Energieträger bzw. Produkte
 - einzelne Verbrauchsbereicheund Durchführung energiepolitischer Alternativrechnungen:
Berechnung der Auswirkungen auf Energienachfrage/-angebot von:
 - Veränderungen des gesamtwirtschaftlichen Wachstums (reales BSP)
 - Strukturänderungen des gesamtwirtschaftlichen Wachstums

- tums (z.B. Veränderung des Gewichts großer Wirtschaftsbereiche oder von einzelnen Industriezweigen)
- Veränderungen der Bevölkerungsentwicklung
- Strukturänderungen beim Endenergieverbrauch
- Änderungen des spezifischen Energieverbrauchs (technischer Fortschritt; Gebäudeisolierung)
- Veränderung des Verbraucherverhaltens (Heizgewohnheiten, Fahrverhalten, Präferenz für bestimmte Verkehrsmittel, Energieeinsparung)
- Veränderung der Energiepreise/Energiekosten
- Steueränderungen
- Einführung, Veränderung, Abbau von Subventionen
- Veränderungen von Struktur und Wachstum der Energieinvestitionen
- Veränderungen des Energie-Außenhandels
- Störungen bei der Energieeinfuhr (alternative Anpassungsstrategien)
- Berechnung der Auswirkungen von
 - Energieerzeugung und -verbrauch auf die Umwelt
 - Umweltschutzmaßnahmen auf die Energieversorgung

Zu 3:

- Aus dem Bereich der Wirtschaft wurden zwei Typen von Modellen gefordert, langfristige zur Beurteilung von wichtigen Trends ("Großwetterlage-Analyse"), mittel- und kurzfristige, die auf ausgewählte wesentliche Bestimmungsfaktoren reduziert sind. Bei der letzteren Modellart wurde vor allem an die Versorgungs-, Absatz- und Organisationsprobleme gedacht. Der Frage des Aufwands und der Genauigkeit kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu.
- Als besonders wichtig wurde herausgestellt, daß Modelle schnell verfügbar sein sollten, insbesondere als Entscheidungshilfe bei der Planung von Investitionen. Da es aber praktisch nicht möglich ist, auf die Entwicklung neuer Modelle zu warten, muß auf vorhandenes Material zurückgegriffen werden. Hierbei ist die generelle Zugänglichkeit zu den vorhandenen Modellen ein wesentlicher Faktor.
- Die bis jetzt erarbeiteten globalen Energiemodelle reichen nach Ansicht eines Vertreters der EVU für die Ausbauplanung in der Elektrizitätswirtschaft nicht aus, da die sehr langfristig orientierten Entwicklungsmöglichkeiten - wie sie den Modellen zugrunde liegen - keine Entscheidungshilfen geben können. Hiergegen wurde jedoch eingewendet, daß bei kurzfristiger und zu enger Orientierung vorhandene Systemzusammenhänge und somit Fehlentwicklungen nicht erkannt und berücksichtigt werden können. Dies gilt insbesondere, wenn man nicht nur die relativ einfachen Verhältnisse der Elektrizitätswirtschaft berücksichtigt, sondern auch andere Bereiche der Energiewirtschaft.

METHODISCHE PROBLEME
BEI DER ERSTELLUNG VON ENERGIEMODELLEN

Vorsitz:
A. Voss, KFA Jülich GmbH, STE

Die Erstellung von Energiemodellen als einem Anwendungsgebiet der noch recht jungen Wissenschaft der Systemforschung stößt heute noch auf eine Reihe methodischer Probleme, die sich grob in zwei Kategorien einteilen lassen. Einmal in die Probleme der Anwendung mathematischer Algorithmen und Verfahren in den Modellen selbst und zum anderen in die Probleme der Beschaffung und Handhabung großer Datenmengen. Die Diskussion im Arbeitskreis 3 orientierte sich an dieser Zweiteilung, wobei die Datenprobleme aus Zeitgründen nur kurz angerissen werden konnten. Im folgenden sollen die Schwerpunkte der Diskussion und die gemeinsam erarbeiteten Ergebnisse erläutert werden.

Neue Techniken und Methoden und ihre Anwendung bei Energiemodellen

Die Begriffe Techniken und Methoden sind in diesem Zusammenhang sehr weit zu verstehen und umfassen sowohl die mathematischen Verfahren und Algorithmen, die dem Modell zugrunde liegen, als auch die Art und Weise der Wechselwirkung des Modells mit seinem Benutzer und schließlich auch das, was man mit "Ergebnisumsetzungstechnik" beschreiben könnte.

Ergebnisumsetzungstechnik meint in diesem Zusammenhang alle Verfahren und Möglichkeiten, die Ergebnisse der Modellrechnungen dem Entscheidungsträger so näher zu bringen, daß sie als Entscheidungshilfe genutzt werden. Prinzipiell lassen sich drei Strategien unterscheiden, die jeweils eine gewisse Rückwirkung auf den Aufbau des Modells selbst haben.

1. Man entwickelt einfache Modelle, deren Struktur im Detail für den Entscheidungsträger durchschaubar ist und die der Entscheidungsträger selbst benutzt. Die Aussagefähigkeit dieser Art von Modellen ist beschränkt, und es besteht die Gefahr, daß der Entscheidungsträger sich der Einschränkungen nicht bewußt ist.

2. Entwicklung komplexer Modelle, die den Problemstellungen adäquat sind und vom Entscheidungsträger benutzt werden sollen. Die Wahrscheinlichkeit, daß der Benutzer sich des Modells nicht bedient, weil er die Zusammenhänge und den Aufbau dieses komplexen Modells nicht versteht, ist sehr groß.
3. Die dritte Strategie besteht in der Entwicklung problemadäquater Modelle, die nicht vom Entscheidungsträger selbst benutzt werden. Hier kommt der Kommunikation zwischen dem, der mit dem Modell rechnet, und dem Entscheidenden eine wichtige Rolle bei der Schaffung des für die Entscheidung notwendigen Vertrauens in die Modellergebnisse zu.

Der Bedeutung der Umsetzung der Modellergebnisse wird oft von den Modellbauern nicht die notwendige Beachtung geschenkt. Gute Ergebnisse, die in der Schublade verschwinden, nutzen aber nichts.

Diskutiert wurde ferner die Möglichkeit der Entwicklung adaptiver Modelle sowie die Anwendung der Netztechniken (Petri-Netze) im Rahmen von Energiemodellen.

Versuch einer Wertung und Einordnung der spezifischen Aussagemöglichkeiten und Anwendungsgebiete verschiedener methodischer Ansätze

Die heute im Rahmen von Energiemodellen verwendeten Ansätze lassen sich einteilen in

Optimierungsansätze,
kybernetische Simulationsansätze und
ökonometrische Ansätze.

Optimierungsmodelle minimieren oder maximieren eine Zielfunktion unter Beachtung einer Reihe von restriktiven Nebenbedingungen. Unter kybernetischer Simulation sind hier Modelle einzuordnen, die die Entwicklung von Zeitreihen der Modellgrößen endogen erklären, z.B. durch die Lösung von Differentialgleichungen nach Vorgabe eines Anfangszustandes. Ökonometrische Ansätze ermitteln Zusammenhänge aus der Vergangenheit und schreiben sie für die Zukunft fort.

	Dynamik	Allokation	stat. Auswirkungsanalyse
Optimierung	-	1	2
kyb. Simulation	1	2	-
Ökonometrie	-	2	1

1 = gut
2 = weniger gut

Dieses Schema versucht nun ganz grob, diese drei Ansätze nach ihren methodisch-spezifischen Aussagemöglichkeiten zu klassifizieren. Es wird dabei unterschieden nach der jeweiligen Eignung zur Beschreibung der Dynamik einer Entwicklung, zur Beschreibung von Zuordnungsproblemen und zur Ermittlung der Auswirkungen von Veränderungen bei einer statischen Betrachtungsweise.

Es bleibt festzustellen, daß die Ziele der Modellentwicklung bestimmend sind für die Auswahl der zu verwendenden Methode. Eine Kombination der verschiedenen methodischen Ansätze wird dabei in der Regel sinnvoll sein, um die jeweiligen spezifischen Vorteile zu nutzen.

Probleme der Regionalisierung

Die Erfassung ortsabhängiger Effekte in Energiemodellen wie z.B. die Energieverteilung, die Standortfragen von Kraftwerken oder die Ortsabhängigkeit des Energieverbrauchs, bereitet heute noch eine Reihe von Schwierigkeiten. Da diese Fragen unter Umständen eine wichtige Rolle bei der Beurteilung zukünftiger Energieversorgungssysteme spielen, ist es notwendig, sie methodisch adäquat in Energiemodellen zu behandeln. Drei Verfahrensweisen scheinen möglich:

1. Die zu betrachtende Region wird in Teilregionen aufgeteilt, deren räumliche Abgrenzung geeignet ist, die ortsabhängigen Einflüsse zu erfassen. Die Modelle der Teilregionen müssen dann verknüpft werden, um die Wechselwirkungen zwischen den Teilregionen (z.B. Ausbreitung der Luftbelastung) zu erfassen.
2. Für die Probleme der Regionalisierung werden eigene Modelle entwickelt, z.B. Transport- und Verteilungsmodelle. Sie werden mit dem Globalmodell in einem iterativen Prozeß betrieben, d.h. die Ergebnisse des Globalmodells werden in bezug auf spezifische Teilaspekte in den Modellen für die Einzelfragen überprüft.
3. Im Rahmen des Globalmodells werden die ortsabhängigen Effekte über Verteilungsfunktionen, z.B. für die Energieverbrauchsichte und über spezielle Strategierechnungen, z.B. für verschiedene Standortkonzepte und die damit verbundenen Transportprobleme erfaßt.

Datenhandhabung

Die Probleme der Datenbeschaffung und der Handhabung großer Datenmengen konnten aus Zeitgründen nur andiskutiert werden. Deshalb ist es auch nur möglich, die Probleme kurz aufzulisten und ihre Bedeutung im Rahmen einer Modellanalyse noch einmal zu unterstreichen:

- Nichtverfügbarkeit wichtiger Daten, z.B. über den Nutzenergiebedarf.
- Probleme der Verarbeitung großer Datenmengen.
- Probleme der Ergebnisauswertung begründet in einer zu großen Menge erzeugter Daten und Informationen.

SCHLUSSWORT

Th. Bohn
Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung
der KFA Jülich GmbH
Jülich

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

die Zeit ist leider so weit fortgeschritten, daß es nicht mehr möglich ist, diese Ergebnisse noch einmal zu diskutieren. Es sollte aber möglich sein, noch einmal darüber nachzudenken, was nun eigentlich der Sinn der Entwicklung von Energiemodellen ist. Ich darf hier in diesem Zusammenhang in einem kurzen Schlußwort in Erinnerung rufen, welche Ziele mit dieser Veranstaltung verbunden waren. Ursprünglich dachten wir an ein Arbeitsseminar mit einer Teilnehmerzahl von etwa 30 bis 40 Interessenten. Wir hatten das Gefühl, daß bisher nirgendwo eine solche Veranstaltung hier in der BRD war, und daß es einfach notwendig ist, sich und die verschiedenen Methoden kennenzulernen. Es hat sich aber bald gezeigt, daß das Interesse an Energiemodellen sehr groß ist, was beweist, daß es sehr wohl notwendig war, eine solche Veranstaltung zu inszenieren.

Was waren nun die Ziele?

Ziel eins war, den derzeitigen Stand der Entwicklung auf dem Energiemodellsektor kennenzulernen und zu diskutieren. Ich glaube, das ist gelungen, denn alle Gruppen, die an Gesamtenergiemodellen für die BRD arbeiten, hatten Gelegenheit, ihre Modelle und ihre künftigen Arbeitsziele vorzustellen. Wir haben darüber hinaus Einsicht bekommen in Arbeiten der IIASA, Laxenburg, und in Arbeiten aus den USA.

Das zweite Ziel war Erarbeitung und Formulierung der Anforderung an Energiemodelle. Hier haben die drei Arbeitskreise sehr interessante Ergebnisse gebracht. Man kann allgemein die Resultate etwa so formulieren:

Energiemodelle sollen helfen abzuschätzen, welche Konsequenzen die verschiedenen Alternativen zukünftiger Energieversorgung auf die menschlichen Verhältnisse und die Umwelt haben, wobei insbesondere wirtschaftliche Probleme im Vordergrund stehen wie auch Probleme der Ressourcensicherung.

Ich glaube, wir haben wirklich eine bessere Einsicht in die Aufgabenstellung der Energiemodellbauer bekommen und auch die Gren-

zen der Energiemodelle kennengelernt. Es hat sich gezeigt, daß es nicht so einfach ist, ein praktikables Instrument dem Benutzer in die Hand zu geben, wenn ein Energiemodell anspruchsvoll hinsichtlich seiner Aussagefähigkeit ist.

Die dritte Zielsetzung war Förderung der Kommunikation, des Erfahrungsaustausches zwischen den einzelnen mit der Erstellung von Energiemodellen befaßten Gruppen, sowie Diskussion von Kooperationsmöglichkeiten. Auch dieses Ziel wurde erreicht. Es hat viele Besprechungen nebenbei gegeben, die darauf abzielten, in Zukunft mehr als bisher zusammenzuarbeiten. Es wurden auch da und dort feste Verabredungen getroffen.

Das letzte Ziel war, über das rein Methodische zu diskutieren. Sie wissen, daß die Wissenschaft "Systemanalyse" noch sehr jung ist, insbesondere der Zweig der Modellerstellung, und die Konsequenzen der Einführung einzelner Methoden ist noch nicht genügend bekannt. Hier müssen noch sehr viele Erfahrungen ausgetauscht werden. Ich glaube, auch dies ist hier geschehen. Allerdings hat man den Eindruck, daß in einem kleineren Kreis noch ausführlicher diskutiert werden muß. Ich würde mich freuen, wenn diese Veranstaltung ein Treffen der Experten vorbereitet hat.

Ich möchte zum Schluß meiner Hoffnung Ausdruck geben, daß Sie selbst in diesen zwei Tagen viele Erfahrungen sammeln konnten und Sie sich in der Kernforschungsanlage Jülich wohlgeföhlt haben.

Herzlichen Dank!

