

Ein Modellsystem zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen Energiesektor und Gesamtwirtschaft

von Manfred Strubegger und Sabine Messner*

Kurzfassung

Der vorliegende Artikel stellt ein Instrument zur Analyse der Zusammenhänge zwischen gesamter Wirtschaft, privatem Konsum und Energiesektor dar. Es ist als integriertes Modellsystem realisiert, mithilfe dessen in szenariomässigen Untersuchungen Vorstellungen bezüglich der zukünftigen Entwicklung von Energiesystem und Gesamtwirtschaft auf ihre Konsistenz geprüft werden können. Das Modellsystem soll eine methodologische Grundlage zur Rationalisierung von energiewirtschaftlichen Diskussionen im gesamtwirtschaftlichen Raum liefern.

Inhalt: 1. Einleitung; 2. Die globale Energiesituation; 3. Die österreichische Energiesituation; 4. Das entwickelte Modellsystem; 5. Das Energiemodell; 5.1. Energieflüsse; 5.2. Kapazitäten; 5.3. Dynamische Beschränkungen; 5.4. Absolute Beschränkungen; 6. Das Wirtschaftsmodell; 6.1. Der Modul zur Berechnung der Inputkoeffizienten; 6.2. Der Verflechtungsmodul und die Berechnung des privaten Konsums; 6.3. Der Preismodul; 6.4. Der Aussenhandelsmodul; 7. Die Verbindung von Energiemodell und Wirtschaftsmodell; 8. Datenerfordernisse; 9. Einsatzmöglichkeiten des Modellsystems; 10. Ergebnisse der Modellrechnungen; 10.1. Hohe und niedrige Energiepreise - Ein Szenariovergleich; 10.2. Weitere Szenariorechnungen; 11. Zusammenfassung;

1. Einleitung

Während der letzten 15 Jahre beschäftigte sich eine Reihe von Projekten mit dem Problem der Wechselbeziehung zwischen Energieversorgung und allgemeiner wirtschaftlicher Entwicklung. Einen der ersten Versuche, dieses komplexe Problem modellmässig zu erfassen, stellt das Modell DGEM (Dynamic General Equilibrium Model) dar (Jorgenson, 1979). Ein neueres Modellsystem, welches sich mit dieser Problemstellung beschäftigt, ist ZENCAP (Codoni, Fritsch, 1980). Beide Modelle basieren hauptsächlich auf ökonomisch geschätzten Beziehungen, mittels derer die wirtschaftlichen Zusammenhänge abgebildet werden. Die intersektoralen Verknüpfungen werden durch ein Input-Output System mit variablen Verknüpfungskoeffizienten abgehandelt.

Im Gegensatz zu den erwähnten Modellen liegt das Hauptgewicht der hier vorgestellten Arbeit auf der genauen Darstellung des Energiesystems, da vorrangig verschiedene Strategien zur Energieversorgung untersucht werden sollen. Als *Energiemodell* wird ein dynamisches Optimierungsmodell verwendet, das die Struktur des gesamten Energiesektors abbildet, wobei sowohl technische als auch ökonomische und umweltbezogene Charakteristika des Energiesystems berücksichtigt

* Die Autoren erstellten das Modellsystem in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energiewirtschaft der Technischen Universität Wien und mit Unterstützung des Internationalen Institutes für Angewandte Systemanalyse. Das Projekt wurde vom Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung finanziert.

werden. Dieses Modell basiert auf dem am IIASA entwickelten Energieversorgungsmodell MESSAGE II (Messner 1984, Strubegger 1984), das auch die mehrkriterielle Entscheidungsanalyse unterstützt (Grauer, Messner und Strubegger 1985).

Für das Wirtschaftsmodell wurde, z.B. im Vergleich zum ZENCAP Modell, ein geringerer Komplexitätsgrad gewählt. Diese einfachere Struktur erleichtert die Handhabung des Wirtschaftsmodells und reduziert seine Datenintensität. Methodologisch basiert das Wirtschaftsmodell auf der *Vintage Production Theory* (Johansen, 1972), die in Form eines putty-clay Modells zur Dynamisierung der Input-Output Struktur herangezogen wird. Der zur Lösung des Problems verwendete Rechenvorgang wurde in seinen Grundzügen von einem Modell für das schwedische Wirtschaftssystem übernommen (Persson, Johansson, 1982).

Ein wesentlicher Aspekt des Wirtschaftsmodells ist, und damit unterscheidet es sich auch von Perssons Modell, dass es erlaubt, einen beliebigen Sektor aus der internen Modelllogik auszugliedern und in einem detaillierteren Modell separat zu untersuchen. Die von diesem genauer abgebildeten Sektor produzierten Güter oder Dienstleistungen werden von den im Wirtschaftsmodell abgebildeten Sektoren nachgefragt, wobei die im Spezialmodell berechneten Preise, der Aussenhandelsbeitrag und die investive und laufende Nachfrage des Energiesektors nach Wirtschaftsgütern berücksichtigt werden.

Im vorliegenden Aufsatz wird zunächst die derzeitige Energiesituation mit spezieller Berücksichtigung der für Österreich relevanten Probleme kurz umrissen. Darauf folgt eine Darstellung der wichtigsten mathematischen Beziehungen des Modellsystems. Abschliessend werden an einem Basisszenario und einigen Varianten das Verhalten und die Möglichkeiten des Modellsystems unter verschiedenen Randbedingungen diskutiert.

2. Die globale Energiesituation

Nach mehr als einem Jahrzehnt angespannter Energiemärkte befinden wir uns nunmehr wieder in einem Käufermarkt, in dem die Energieexporteure mit niedrigen Preisen um ihre Position kämpfen. Niemand kann auch nur mit annähernder Sicherheit vorhersehen, wie sich die Brennstoffpreise in den nächsten Jahrzehnten - oder sogar innerhalb der nächsten Monate - entwickeln werden. Kurzfristig ist das sicher eine eher politische Frage. Langfristig werden die Preise vor allem von der Marktstruktur, aber auch davon abhängen, welcher Energieträger am Weltmarkt die dominante Stellung einnimmt. Am IIASA¹⁾ (Häfele, 1981; Rogner, 1983; Messner, Golovine und Strubegger, 1986), aber auch an anderen Instituten durchgeführte Studien deuten darauf hin, dass Erdgas die dominierende Stellung einnehmen könnte. Die politische Situation der wichtigsten gasexportierenden Länder (Sovietunion, Norwegen, Algerien, Mittlerer Osten für Europa und Mexiko und Kanada für Nord Amerika, sowie Indonesien und Brunei für den Fernen Osten) dürfte eine Kartellbildung ausschliessen, weshalb eine marktwirtschaftliche Preisbildung wahrscheinlich ist. Dies wird auch durch die fortschreitende Integration der Gasnetze unterstützt, da die Einkaufsoptionen erweitert werden. Gleichzeitig wird auch eine stärkere Brennstoff- und Lieferländerdiversifikation zur Preisstabilität beitragen. Die Tendenz, die übermässige Abhängigkeit von einer Primärenergiequelle zu reduzieren, zeichnet sich, wie aus Tabelle 1 ersichtlich, weltweit schon seit der ersten Ölpreiserhöhung 1973 ab.

Trotz der oben erwähnten preisdämpfenden Tendenzen erscheint es bezüglich der Energiepreisentwicklung höchst unwahrscheinlich, dass der derzeit von der OPEC (im wesentlichen von Saudi Arabien) diktierte Ölpreis längerfristig auf einem

¹⁾ International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Österreich.

Tabelle 1: Die Entwicklung der globalen Energieträgerstruktur, 1974 bis 1985, in toe* und Prozent.

	1974		1980		1985	
Ol	2.88	(47)	3.08	(44)	2.81	(38)
Gas	1.13	(18)	1.34	(19)	1.49	(20)
Kohle	1.70	(28)	2.00	(29)	2.28	(31)
Wasser**	.34	(6)	.42	(6)	.50	(7)
Nuklear**	.06	(1)	.17	(3)	.34	(5)
Gesamt	6.11		7.01		7.42	

* Eine Tonne Olequivalent (toe) entspricht 44.76 GJ (=44.76 10⁹ J).

** Wasser- und Kernkraft (berechnet nach der Äquivalenzmethode)

Quelle: BP Statistical Review of World Energy, June 1985 and June 1986.

Niveau von unter 15US\$/boe²⁾ bleibt. Dieser Preis würde (unter Ausschluss von drastischen technischen Verbesserungen oder Innovationen) eine Ausweitung der Gasförderung in der Nordsee oder von Lagerstätten mit ähnlicher Kostenstruktur unökonomisch machen und lediglich den Weiterbetrieb schon existierender Förderinseln bzw. einen begrenzten Ersatz ausgebeuteter Lagerstätten erlauben. Damit wäre mittelfristig eine wichtige, zur Preisstabilisierung beitragende Energiequelle nur mehr begrenzt verfügbar. Es kann, insbesondere nach der Entscheidung im Sommer 1986, das teure Troll-Feld in der Nordsee zu erschliessen, angenommen werden, dass, zumindest in Europa, zur Erhaltung der Importdiversifikation ein höherer Durchschnittspreis akzeptiert wird, um kostendeckende Preise an die Nordseeförderländer zu bezahlen. Durch die Aufschliessung von Gaslagerstätten wie dem Trollfeld und Feldern nördlich des 64. Breitengrades würden grosse Mengen von Erdgas (etwa 3500 Milliarden m³)³⁾ verfügbar.

Doch selbst bei einer massiven Rückkehr zu OPEC Ol scheint es fragwürdig, ob die OPEC das niedrige Preisniveau über längere Zeit aufrechterhalten kann. Wenn der Ölpreis bei 15\$/boe gehalten wird, werden sogar bei maximaler Kapazitätsauslastung der OPEC (etwa 30-33x10⁶boe/Tag (≈ 70EJ/Jahr)) nur etwa die gleichen Einnahmen wie 1982/83 erzielt werden können. Geht man davon aus, dass das OPEC Kartell bestehen bleibt, könnte das dadurch verursachte Leistungsbilanzdefizit nur durch Importrestriktionen oder den Abbau von Fremdwährungsguthaben (ca. 400 Milliarden US\$ im Jahre 1984 (Petroleum Economist, Juni 1985)) ausgeglichen werden.

Aus den oben genannten Tatsachen und vorliegenden Abschätzungen der Kosten für die Öl- und Gasförderung in der Nordsee kann geschlossen werden, dass sich der Ölpreis, nach einer Überreaktion, auf weniger als 20\$/boe einpendeln wird, was entsprechende Preisanpassungen der anderen Energieträger nach sich ziehen würde. Eine solche Entwicklung hätte auch positive Auswirkungen auf die Handelsbilanz der Sovietunion, welche Anfang der achtziger Jahre etwa 80%, derzeit nur noch 60% ihrer Hartwährungseinnahmen aus Energieexporten erlöst. Da die Preise für exportiertes Erdgas an die Preise anderer Energieträger gebunden sind, würden die Hartwährungseinkommen bei niedrigen Energiepreisen entsprechend sinken. Mehreinnahmen durch grössere Exportmengen sind derzeit nicht absehbar, da die Erdölproduktion nur noch unwesentlich gesteigert werden kann und, zumindest für die nächsten fünf bis zehn Jahre, der Erdgasmarkt in Europa nur wenig wachsen wird.

²⁾ Ein boe (Barrel of Oil Equivalent) entspricht 6.12 GJ.

³⁾ 1 Milliarde m³ entspricht 37.26 PJ.

Die verbleibende, derzeit wohl nicht beantwortbare Frage ist, wann und mit welchen Preisänderungsraten und Überreaktionen diese Rückkehr zu stabileren Energiepreisen stattfinden wird. Es kann jedoch angenommen werden, dass, zumindest kurz- bis mittelfristig, die Konsumentenländer einen wesentlichen Einfluss darstellen. Steigt der Energieverbrauch aufgrund der derzeit niedrigen Energiepreise wieder kräftig an und unterbleiben Investitionen zur Energieeinsparung, wird sich der derzeitige Käufermarkt innerhalb weniger Jahre wieder in einen Verkäufermarkt verwandeln und eine rasche Anhebung der Energiepreise zumindest unterstützen. Grössere Preisschübe sind aber nicht abzusehen, da dies sicher einen weiteren Rückgang der von OPEC-Ländern absetzbaren Öl mengen verursachen würde. Diese Hypothese basiert auf der Annahme, dass die anderen grossen Energieexporteure ihr bisheriges Verhalten nicht ändern und nicht etwa ein Pakt zwischen Norwegen, Algerien und der Sovietunion entsteht, um die Gaspreise zu kontrollieren.

Im Gegensatz zur internationalen Entwicklung der Energiepreise ist die Frage nach der mengenmässigen Verfügbarkeit von Energieträgern für Österreich nur von sekundärer Bedeutung, da die nachgefragten Energiemengen, global gesehen, gering sind (0.3% des globalen Primärenergieverbrauches im Jahre 1984).

3. Die österreichische Energiesituation

Die österreichische Energieversorgung ist, ähnlich derjenigen Westeuropas, durch einen hohen Importanteil charakterisiert. Dadurch ist Österreich, als eindeutiger Preisnehmer, stark von der globalen Entwicklung abhängig. Allerdings konnte im westeuropäischen Durchschnitt, hauptsächlich aufgrund der Öl- und Gasfunde in der Nordsee, aber auch durch den Einsatz von Kernenergie, die Importabhängigkeit von 60% im Jahre 1974 auf 38% im Jahre 1985 verringert werden (siehe Tabelle 2a). Der Importanteil in Österreich ist im gleichen Zeitraum von 63 auf 68% angestiegen (siehe Tabelle 2b).

Tabelle 2a: Primärenergiebedarf in Westeuropa (in Millionen toe) und Importanteile (in % des jeweiligen Energieträgers), 1974 bis 1985.

	1974	1980	1985
Rohöl	686.5 (97)	665.0 (82)	566.8 (66)
Gas	144.9 (8)	181.0 (13)	192.5 (19)
Kohle	236.1 (11)	251.1 (19)	254.6 (25)
Andere*	104.6 (0)	142.3 (0)	222.0 (0)
Summe	1172.1 (60)	1239.4 (50)	1235.9 (38)
(ohne Nordsee)**	(63)	(63)	(57)

* Wasser- und Kernkraft (berechnet nach der Äquivalenzmethode)

** Ohne Erdöl und Erdgas Produktion Grossbritanniens und Norwegens

Quelle: BP Statistical Review of World Energy, June 1985 and June 1986.

Auch ohne Nordseeöl und -gas wäre der Importanteil Westeuropas aufgrund des massiven Zuwachses der nuklearen Stromerzeugung leicht gesunken (von 62 auf 59%). Die Menge des aus Kernkraft produzierten Stroms stieg von 73.6 TWh im Jahre 1974 auf 418.4 TWh in 1984 (d.h. um durchschnittlich 17% pro Jahr), was etwa 23% des derzeit erzeugten Stroms entspricht. Abgesehen von dieser versorgungsorientierten Reduktion des Importanteiles konnte durch Energieeinsparung (teilweise bedingt durch einen Rückgang der Güterproduktion und Umstrukturie-

rung der Wirtschaft) sowohl in Westeuropa, als auch in Österreich eine Abflachung der Dynamik der Energienachfrage erreicht werden (siehe Tabellen 2a und 2b).

Tabelle 2b: Primärenergiebedarf in Österreich (in 10^6 toe) und Importanteile (in % des jeweiligen Energieträgers), 1974 bis 1985.

	1974		1980		1985	
Öel	10.45	(80)	12.05	(88)	9.70	(86)
Gas	3.45	(48)	4.08	(61)	4.56	(78)
Kohle	4.06	(74)	3.42	(77)	4.34	(79)
Andere*	6.02	(0)	7.78	(0)	9.30	(0)
Summe**	23.98	(63)	27.34	(67)	27.90	(68)

* Wasserkraft (nach der Äquivalenzmethode berechnet)

** Importanteile enthalten auch Stromimporte

Quelle: BP Statistical Review of World Energy, June 1985 and June 1986.

Obwohl die Energienachfrage in Österreich in der Periode von 1974 bis 1983 nur um durchschnittlich 1.2% pro Jahr gewachsen ist, erfolgte eine drastische Zunahme der für Energieimporte aufzuwendenden Geldmittel. Diese Ausgaben stiegen nominell zwischen 1973 und 1984 um den Faktor 5, also im Mittel um 17.2% pro Jahr (nach Berücksichtigung der Inflation um 9.6%/Jahr). Bild 1 gibt einen Überblick über die Entwicklung von Gesamtenergieverbrauch, Ausgaben für Energieimporte und Bruttoinlandsprodukt.

Dieses Bild scheint darauf hinzudeuten, dass der Energieverbrauch relativ preisinsensitiv ist und im wesentlichen vom Wachstum des Bruttoinlandsproduktes bestimmt wird. Die starken Preisschübe 1973 und 1979 zogen zwar eine kurzzeitige Entkopplung von Energie- und Wirtschaftswachstum nach sich, die entsprechend der Höhe der Preisanstiege etwa 2 Jahre (1973 bis 1975) bzw. vier Jahre (1979-1983, allerdings mit einer Unterbrechung in 1982) dauerten. In allen anderen Perioden - dies bestätigt auch die Entwicklung im Jahre 1985 - hatten das Wachstum von Energieverbrauch und Bruttoinlandsprodukt einen sehr ähnlichen Verlauf. Diese gegenüber den Preissteigerungen importierter Energie gering scheinende Preiselastizität ergibt sich jedoch aus der verzögerten und gedämpften Weitergabe der Importpreiserhöhungen an den Endkonsumenten (siehe Bild 2), wobei die geringeren Anstiege der Endenergiepreise teilweise auch durch die unterproportionalen Preiserhöhungen elektrischer Energie bedingt sind.

Andererseits ist auch der - betriebswirtschaftlich gesehen - relativ geringe Anteil der Energieausgaben an den Gesamtausgaben zur Produktion von Gütern und Dienstleistungen ein Faktor, der Reaktionen dämpft. So betragen die Energieausgaben im Zeitraum von 1964 bis 1973 nur 2.8% des gesamten Bruttoproduktionswertes. Bis 1980 verdoppelte sich dieser Anteil und verursachte speziell in den Sektoren mit hohem Energiekostenanteil den Beginn eines Umstrukturierungsprozesses. Dieser wird auch in den kommenden Jahren noch Auswirkungen haben und, unabhängig vom Energiepreis, weitere Reduktionen der Entwicklung des Energieverbrauchs in Relation zum Bruttoinlandsprodukt nach sich ziehen.

Unter Zugrundelegung der oben ausgeführten Annahme eines bei mässigen Preissteigerungen innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahre nur unwesentlich wachsenden Energiemehrbedarfs liegt ein gewisses Risiko bei den Energieproduzenten. Eine Fehlinvestition kann in Zeiten hohen Wachstums relativ leicht aus späteren Gewinnen finanziert werden. Bei stagnierendem Wachstum kann jedoch jede Fehlentscheidung in eine schwierige Finanzlage führen. Dies gilt natürlich

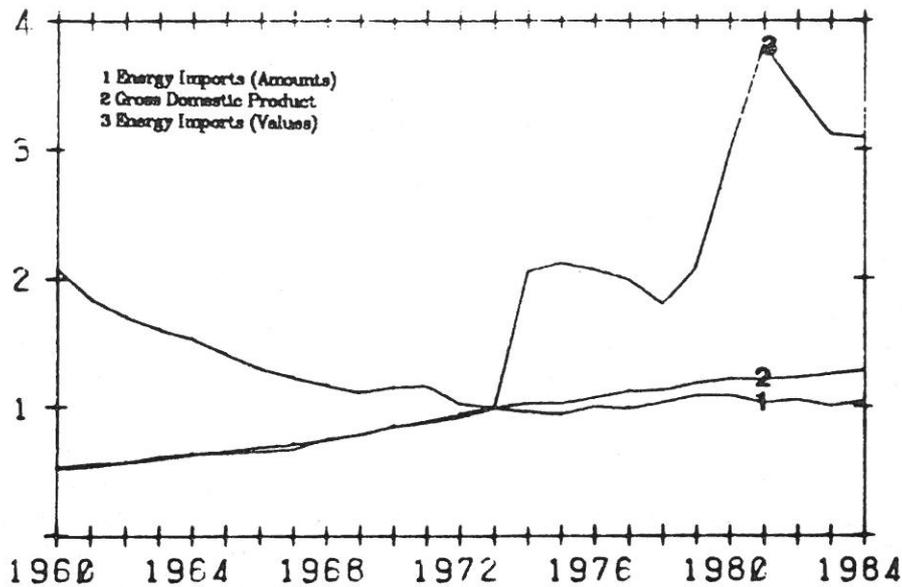


Bild 1: Mengen und Preise der Österreichischen Energieimporte und reales Bruttoinlandsprodukt, 1960 bis 1984, Indexpunkte (1973=1).

nicht nur für die Erdöl- und Erdgasförderländer sondern auch für die heimischen Energieversorgungsunternehmen.

Ein weiteres Problem der heimischen Energieerzeugung ist die derzeitige Einstellung der Bevölkerung gegenüber Grossprojekten. Zumindest drei Kraftwerke wurden von dieser Einstellung betroffen: Zwentendorf, Hainburg und Dorfertal. Sollte, was zu erwarten ist, dieser Trend noch über einen längeren Zeitraum anhalten, so ist der Planungsspielraum wesentlich stärker eingeengt als dies in den vergangenen Jahrzehnten der Fall war.

All dies macht deutlich, dass verfeinerte Instrumentarien zur Untersuchung von Energiestrategien benötigt werden, mit Hilfe derer sowohl die Nachfrage, die Auswirkungen verschiedener Versorgungsoptionen auf die übrige Wirtschaft und auf die Umwelt, aber auch die Konsequenzen verschiedener Importpreisentwicklungen untersucht werden können.

4. Das entwickelte Modellsystem

Das zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Wirtschaft und Energie entwickelte Modellsystem stützt sich sowohl auf ökonomische als auch auf technikorientierte Ansätze. Grundlegend besteht es aus zwei Teilen, wovon eines den Energiesektor und das andere die gesamtwirtschaftlichen Beziehungen abbildet. Beide Modelle können auch einzeln verwendet werden, wobei dann die vom jeweils anderen Modell berechneten Eingabedaten exogen bestimmt werden müssen. Im Falle des Wirtschaftsmodells kann jedoch der Energiesektor endogenisiert und somit wie die anderen Wirtschaftssektoren behandelt werden.

Das Energiemodell basiert auf dem technikorientierten Ansatz der Prozess-

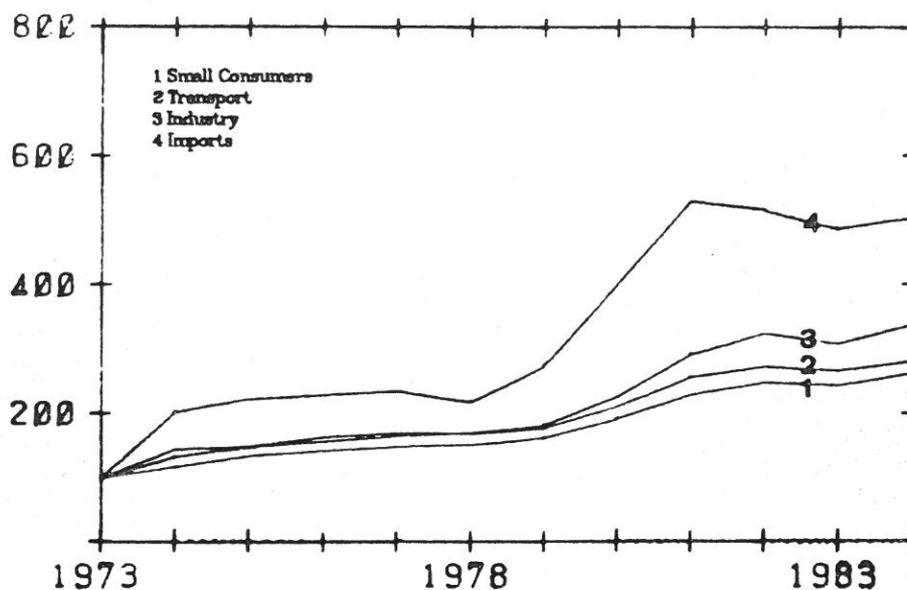


Bild 2: Energieimportpreise und Endverbraucherpreise, 1973-1984.

analyse (z.B.: Baumol, 1965). Dabei werden aufgrund einer Zielfunktion aus gegebenen Prozessen jene ausgewählt, deren Kombination, unter Einhaltung der jeweiligen Randbedingungen, den Wert der Zielfunktion optimiert. Bei den hier durchgeführten Berechnungen wurde jeweils die kostengünstigste Kombination von Energieträgern und Umwandlungssystemen gesucht, welche eine vom Wirtschaftsmodell errechnete Nachfrage deckt und Randbedingungen, etwa bezüglich maximal erlaubtem Schadstoffausstoß oder ausbauwürdigem Wasserkraftpotential, einhält. Prinzipiell kann das Modell auch dazu benutzt werden, mehrere Zielvorstellungen gleichzeitig zu berücksichtigen. Dabei wird mit der Referenzpunktoptimierung (Wierzbicki, 1981) eine pareto-optimale Lösung gesucht, welche allen vorgegebenen Zielvorstellungen am nächsten kommt.

Zur Lösung des Problems wird die lineare Optimierung (Danzig, 1963) verwendet, wobei zur Erstellung der Matrix und zur Aufbereitung der Lösung das Modellsystem MESSAGE II (Messner, 1984; Strubegger, 1984) eingesetzt wird. Das Energiemodell ist etwa mit BESOM (Cherniavsky, 1974) oder MARKAL (Fishbone, 1981) vergleichbar. Im Gegensatz zu diesen Modellen kann im vorliegenden Modell jedoch auf verschiedene globale Parameter leichter zugegriffen werden. So ist es etwa möglich, Kostenparameter, wie Lohn- oder Investitionskosten, mit vorgegebenen, unterschiedlichen Teuerungsraten zu verändern. Bei den Modellläufen wird diese Anpassung bei jeder Iteration aufgrund der vom Wirtschaftsmodell errechneten Preissteigerungen durchgeführt.

Das Wirtschaftsmodell ist ein *dynamisches Gleichgewichtsmodell*, (Ginsburgh, 1981; Fuss, 1978) mit endogener Bestimmung des Kapitalstocks. Im Modell wird ein Preisvektor berechnet, bei dem die Angebots- mit den Nachfragefunktionen und die sektoralen Profite mit den Investitionen im Gleichgewicht sind. Den produktionsseitigen Kern stellt eine Input-Output Tabelle dar, deren Struktur für

jede Periode neu berechnet wird. Das Modell ist daher mit dem Hudson-Jorgenson Modell (Jorgenson, 1979) vergleichbar. Im Gegensatz zu letzterem wird aber eine wesentlich weniger aufwendige Prozedur zur Neubestimmung der Inputkoeffizienten verwendet. Dies begründet sich hauptsächlich aus der Tatsache, dass für Österreich lediglich zwei (nicht vollkommen vergleichbare) Input-Output Tabellen vorliegen, wodurch eine sinnvolle ökonomische Schätzung von Produktionsfunktionen unmöglich ist. Derzeit wird eine Cobb-Douglas Funktion verwendet, welche sowohl die Primärinputs als auch die Vorleistungsgüter umfasst. Die Cobb-Douglas Koeffizienten wurden aus der Input-Output Tabelle für das Jahr 1976 berechnet. Im Gegensatz zum Hudson-Jorgenson Modell wird bei der Neuberechnung der Input-Output Koeffizienten jedoch nicht die gesamte Wirtschaftsstruktur erfasst, sondern es wird, ähnlich wie im wesentlich höher aggregierten ETA-MACRO (Manne, 1979), unterstellt, dass der technische Fortschritt kapitalgebunden ist (putty-clay Hypothese). Gleichzeitig wird bestimmt, welcher Anteil des Kapitalstocks unter den gegebenen Bedingungen nicht mehr profitabel, und daher stillzulegen ist. Die neue Inputstruktur ergibt sich somit aus der Summe der Inputstrukturen nicht stillgelegter, sowie innerhalb der Periode zugebauter Kapitalstockanteile (*vintages*). Zusätzlich können die Inputkoeffizienten durch exogene Vorgaben modifiziert, und so erwartete oder gewünschte Technologieänderungen simuliert werden.

Nachfrageseitig wird ein *lineares Ausgabenmodell* (Klein, Rubin, 1948) verwendet, um die private Nachfrage nach Gütern und Leistungen in Abhängigkeit von Preisen und Einkommen zu bestimmen. Die öffentliche Nachfrage wird, ebenso wie diejenige der Touristen, szenariomässig vorgegeben. Importe und Exporte werden ebenfalls aufgrund ökonomisch geschätzter Gleichungen berechnet und müssen in der endgültigen Lösung ein vorgegebenes Leistungsbilanzsaldo erfüllen.

Aufgrund der expliziten endogenen Berücksichtigung der monetären und materiellen Beziehungen zwischen dem Energiesektor und den anderen Wirtschaftssektoren unterscheidet sich der gewählte Ansatz wesentlich von demjenigen, der zur Erstellung des Energiekonzepts für Österreich (Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie, 1984) verwendet wurde. Dort wurde kein Wirtschaftsmodell, sondern nur ein Energiemodell (MARKAL) verwendet. Die Energienachfrage, sowie die Entwicklung der Preise für Investitionsgüter und der Lohnkosten in Relation zu Energiepreisänderungen wurden exogen vorgegeben. Diese Vorgehensweise ist zwar ein wesentlicher Schritt in Richtung Erstellung konsistenter Energieszenarien, aber noch nicht befriedigend, da die wichtigsten Partner des Energiesystems, nämlich die Verbraucher und ihre Reaktionen, nicht adäquat behandelt werden.

Im folgenden wird die mathematische Formulierung des entwickelten Modellsystems kurz umrissen*. Dabei wird das Energiemodell weniger genau beschrieben, da es eine einfachere Struktur hat und die verwendete Modellierungstechnik weite Verbreitung gefunden hat.

5. Das Energiemodell

Das Energiemodell gibt eine detaillierte Beschreibung des Energiesektors und erlaubt die Analyse verschiedener Energieversorgungsstrategien unter Berücksichtigung der vom Wirtschaftsmodell generierten Nachfrageentwicklung. Dazu wird das österreichische Energiesystem in seinem Gesamtumfang, d.h. von Primärenergiegewinnung bzw. Energieimporten, über die verschiedenen

* Die in den folgenden Kapiteln dargestellten Gleichungen beschreiben nur die wichtigsten Modellbeziehungen. Genaue Darstellungen können im Endbericht des Projektes (Strubegger, Messner, Amann, Wirl 1986) nachgelesen werden.

Umwandlungsstufen (Raffinerie, Kraftwerke), Energie transport und -verteilung bis hin zu den Endverbrauchssystemen (Heizungen, Industrieöfen, Transportmittel etc.) abgebildet. Der Nachfragevektor enthält teilweise Nutzenergiekomponenten (für thermische Energienutzung) und Endenergiekomponenten (für spezifische Nachfrage). Dadurch wird es möglich, Substitutionsvorgänge auf allen Umwandlungsstufen zu simulieren.

Im Sinne des Modellsystems wird das Energiemodell primär dazu verwendet, die Preise für die vom Endverbraucher nachgefragten Energieträger zu berechnen. Diese ergeben sich aus den Kosten der verwendeten Energieträger und den annualisierten Kosten der Energieumwandlungs- und -transportsysteme. Bei Systemen, die mehrere Energieträger produzieren (z.B. Raffinerie, Heizkraftwerke) müssen Annahmen über die Kostenrelationen der erzeugten Energieträger gemacht werden. Im Falle der Raffinerie werden die vom Modell ermittelten Schattenpreise verwendet (marginale Preisbildung), bei der Koppelproduktion von Strom und Fernwärme wird der Durchschnittspreis für die Erzeugung beider Energieträger berechnet und die Elektrizität mit 2/3 dieses Wertes belastet.

Das Energiemodell besteht grundsätzlich aus vier Typen von Gleichungen:

- Flussgleichungen, welche die Energieflüsse im Gleichgewicht halten,
- Kapazitätsgleichungen, die den Neuzubau und die Auslastung bestimmen,
- dynamische Beschränkungen, die Verbindungen zwischen Perioden beschreiben und
- Zusatzbeschränkungen, z.B. auf Importmengen oder Emissionen.

5.1. Energieflüsse

Das Modell ist als lineares Programmierungsmodell formuliert und berechnet eine unter gegebenen Randbedingungen kostenoptimale Versorgungsstruktur. Dabei wird die im Wirtschaftsmodell ermittelte Entwicklung der Investitions- und Lohnkosten berücksichtigt. Jeder Energieträger, d.h. Primär-, Sekundär-, End- und Nutzenergie, ist als ein Knoten in einem Transportmodell abgebildet. Ressourcen-, Balance- und Nachfragebeschränkungen stellen sicher, dass der Verbrauch eines Energieträgers nie die verfügbare Menge überschreitet und die Nachfrage erfüllt wird.

$$\sum_k \eta_{j,t}^k x_{j,t}^k \geq \sum_k x_{i,t}^k$$

$x_{i,t}^k$ Verbrauch von Energieträger i des Systems k in Periode t

$\eta_{j,t}^k$ Wirkungsgrad des Systems k bei Produktion des Energieträgers i aus Energieträger j

5.2. Kapazitäten

Die Verbindungen zwischen den Knoten, d.h. die Energieumwandlungs- und -transportsysteme, sind als Kapazitäten dargestellt, welche einen maximalen Durchsatz mit einer gegebenen Effizienz erlauben. Der Kapitalstock dieser Systeme kann über die gesamte technische Lebensdauer benutzt und durch neue Investitionen erhöht werden. Der Zusammenhang zwischen Produktion und gesamter installierter Leistung berechnet sich aus

$$\eta_{j,t}^k x_{j,t}^k - \sum_{\tau=t-v^k}^t \pi^k y_{i,\tau}^k \leq hc_i^k \pi^k$$

- $y_{i,t}^k$ Kapazitätzubau des Systems k im Jahr t
- $v_{i,t}^k$ technische Lebensdauer
- π^k Verfügbarkeitsfaktor
- hc_i^k alte Kapazität, welche im Jahr t noch zur Verfügung steht.

Bei Systemen, welche Strom erzeugen oder weiterleiten, wird zusätzlich eine Unterscheidung zwischen Winter und Sommer getroffen, wobei die unterschiedliche Erzeugungskapazität von Wasserkraftwerken berücksichtigt wird. Die Abbildung der täglichen Lastspitze erfolgt mit Hilfe einer Zusatzgleichung, welche erzwingt, dass ein gewisser Stromanteil nur mit entsprechenden Systemen (Gasturbinen, Speicherkraftwerke) erzeugt wird.

5.3. Dynamische Beschränkungen

Verschiedene zusätzliche Beschränkungen werden benutzt, um ein realistisches Modellverhalten zu erreichen, z.B. um das für lineare Optimierungsmodelle typische 'Flip-Flop' Verhalten zu verhindern. Beschränkungen der Form

$$r_{i,t} \leq \delta_{i,t} (R_i - \sum_{\tau=1}^{t-1} r_{i,\tau})$$

- R_i gesamte zu Beginn des Zeitraumes verfügbare Menge an Ressource i
- $r_{i,t}$ Abbau dieser Ressource in Jahr t
- $\delta_{i,t}$ maximaler Anteil, der von der noch verfügbaren Menge in Periode t abgebaut werden kann

werden etwa dafür verwendet, um den Abbau von Ressourcen auf einen bestimmten Anteil der noch verfügbaren Menge zu beschränken. Dynamische Beschränkungen der Form

$$x_t \begin{Bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{Bmatrix} \gamma x_{t-1} \begin{Bmatrix} + \\ - \end{Bmatrix} g$$

- x_t Aktivität oder neu installierte Leistung im Jahr t
- γ Wachstums/Abbaufaktor
- g Start/Endwert

beschränken die jährliche Veränderung der Energieumwandlung in einem bestimmten System oder die jährlich neu installierte Leistung.

5.4. Absolute Beschränkungen

Zusätzlich zu den Energieflüssen werden auch die Emissionen verschiedener Schadstoffe mitgezählt und können auf jährliche Maximalmengen beschränkt werden.

$$\sum_{t=1}^n e_{ik} x_{i,t} \leq \bar{E}_{k,t}$$

- e_{ik} Emission des Schadstoffes k der pro produzierter Einheit vom System i ausgestossen wird
- $\bar{E}_{k,t}$ maximaler Ausstoss an Schadstoff k in Periode t.

Im Energiemodell werden die Emissionen von SO_2 , NO_x , CO , C_xH_y und Staub berücksichtigt. Ausserdem sind Entschwefelungsanlagen und Katalysatoren vorgesehen, welche eine Verminderung der Schadstoffemissionen erlauben. Zusätzlich wird Heizöl mit zwei verschiedenen Schwefelgehalten (2% und 0.5%) berücksichtigt. Diese genaue Abbildung der Emissionen und der Rückhaltmassnahmen erlaubte auch die Verwendung des Modelles zur Bestimmung der Kosten unterschiedlicher Emissionsminderungsstrategien (Grübler, Amann 1986).

6. Das Wirtschaftsmodell

Das Modell umfasst die gesamte wirtschaftliche Struktur des zu untersuchenden Landes. Die produzierenden Wirtschaftssektoren sind in Form einer Verflechtungsmatrix mit variablen Koeffizienten dargestellt. Die Nachfrage wird endogen berechnet, wobei exportseitig die Entwicklung des internationalen Handelsvolumens vorgegeben ist. Dazu werden modellintern Güterpreise, Löhne und Profite sowie das sektorale Investitions- und Importvolumen bestimmt. Die wichtigsten exogenen Vorgaben betreffen Handelsbilanz, Beschäftigtenzahl und Arbeitszeit, sowie die Weltmarktpreise für die einzelnen Gütergruppen. Somit kann mit diesem Modell zwar nicht direkt eine Arbeitslosenrate bestimmt werden, jedoch geben die Modellergebnisse einen Hinweis auf mögliche Probleme am Arbeitsmarkt. Es kann z.B. angenommen werden, dass ein starkes Absinken des Lohnniveaus in Realität durch eine Verminderung der Beschäftigtenzahl verhindert würde. Ähnliches gilt auch für die Handelsbilanz, wo aufgrund der berechneten Güterpreise Rückschlüsse auf eine Veränderung gezogen werden können.

Das Modell besteht aus fünf interdependenten Teilmodulen:

- einem Modul zur Berechnung der Inputkoeffizienten für Vorleistungen, Arbeitskräfte und Kapitalbedarf;
- einem Modul zur Berechnung der privaten Nachfrage;
- einem Verflechtungsmodul;
- einem Preismodul und
- einem Aussenhandelsmodul.

Diese Teilmodule werden iterativ gerechnet bis eine stabile Lösung gefunden wird.

Für die Verwendung des Wirtschaftsmodells als Teil des Modellsystems wurde der Energiesektor aus der internen Modellogik ausgegliedert. Die Preise für Endenergieträger werden in diesem Fall also nicht modellintern, sondern mit Hilfe des Energiemodells berechnet. Als weitere Ergebnisse des Energiemodells werden die Nachfrage nach Investitions- und Vorleistungsgütern sowie die Beschäftigtenzahl und das Aussenhandelsaldo des Energiesektors im Wirtschaftsmodell berücksichtigt.

6.1. Der Modul zur Berechnung der Inputkoeffizienten

Für jeden der dargestellten Wirtschaftszweige charakterisiert die zur Produktion einer Einheit benötigte Menge an Primär- und Intermediärinputs den Kapitalstock. Basierend auf der Vintage Produktionstheorie wird der Kapitalstock entsprechend dem Zeitpunkt der Errichtung disaggregiert. Unter Heranziehung der 'putty-clay' Hypothese, nach der bei Errichtung neuen Kapitalstocks eine 'optimale' Inputkonfiguration gewählt wird, welche jedoch zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr geändert werden kann, wird aus der zu einem Zeitpunkt existierenden Struktur von Vintages die intersektorale Verflechtungsmatrix, sowie Arbeits- und Kapitalbedarf ermittelt.

Dazu wird vorerst bestimmt, welcher Anteil des vorhandenen Kapitalstocks stillgelegt wird, wobei stillgelegte Anlagen in späteren Perioden nicht wieder aktiviert werden können. Zur Bestimmung der Abbruchrate wird für jeden existierenden Vintage das Verhältnis der Lohnausgaben zum produzierten Mehrwert herangezogen. Die dabei verwendete Beziehung (Persson, Johansson, 1982),

$$s_{j,t}^k = s_{j,t-1}^k (1 - (\lambda_j^0 + \lambda_j^1 e^{\delta_j \frac{\omega_{j,t} l_j^k}{F_{j,t}^k}})),$$

- $s_{j,t}^k$ Kapitalstock des Vintages k des Sektors j in Zeitperiode t
- $\omega_{j,t}$ Lohnniveau in Sektor j und Periode t
- l_j^k spezifischer Arbeitskräftebedarf
- $F_{j,t}^k$ spezifischer generierter Mehrwert
- λ_j^i, δ_j Parameter

setzt voraus, dass, unabhängig vom Verhältnis zwischen Löhnen und produziertem Mehrwert, immer ein gewisser Anteil des existierenden Kapitalstocks stillgelegt wird. Bei einer Verschlechterung dieses Verhältnisses steigt die Abbruchrate an und erlaubt so eine raschere Erneuerung des Kapitalstocks. Da das Modell jedoch keine Voraussicht auf die Entwicklung in späteren Perioden besitzt, seine Entscheidungen also aufgrund myopischer Preiserwartungen trifft, kann nicht verhindert werden, dass bei plötzlichen Änderungen der Kostenstruktur ein sehr ineffizienter Kapitalstock vorhanden ist.

Aufgrund des in der betreffenden Periode herrschenden Preis- und Lohnniveaus, d.h. unter der Annahme statischer Preise und Löhne*, wird die Struktur des neuen Kapitalstocks bestimmt. In der derzeitigen Modellversion sind zwei Auswahlmöglichkeiten vorgesehen,

(a) Berechnung der Struktur unter Zugrundelegung einer ex-ante Produktionsfunktion vom Typ Cobb-Douglas:

Aus der kostenoptimalen Lösung bei gegebenen Faktorkosten ergeben sich

Arbeitskräftebedarf, Kapitalbedarf und der Bedarf an Vorleistungsgütern aus:

$$l_j = \nu_j \frac{\eta_j^l}{\omega_{j,t}}, \quad \kappa_j = \nu_j \frac{\eta_j^c}{p_{j,t}^k}, \quad a_{ij} = \nu_j \frac{\eta_j^i}{p_{i,t}^c}$$

mit

$$\nu_j = \frac{1}{\gamma_j} \left(\frac{\eta_j^l}{\omega_{j,t}} \right)^{-\eta_j^l} \left(\frac{\eta_j^c}{p_{j,t}^k} \right)^{-\eta_j^c} \prod_i \left(\frac{\eta_j^i}{p_{i,t}^c} \right)^{-\eta_j^i}$$

- $\omega_{j,t}$ Lohnniveau im Sektor j in Periode t
- $p_{j,t}^k$ Preis für Kapitalgüter
- $p_{i,t}^c$ Preis für Vorleistungsgut i
- η_i, γ_i Cobb-Douglas Koeffizienten

* Da diese Annahme sehr restriktiv ist, soll in späteren Versionen eine andere Formulierung gewählt werden, welche Erwartungshaltungen berücksichtigen kann.

(b) Auswahl von vorgegebenen Vintages:

Wie im Falle der Cobb-Douglas Funktion werden die Löhne und Preise in den jeweiligen Sektoren dafür verwendet, aus vorgegebenen Vintages denjenigen mit der kostengünstigsten Struktur auszuwählen. Diese Möglichkeit erlaubt es, verschiedene Produktionsverfahren direkt miteinander zu vergleichen.

Die Darstellung der Produktionsfunktionen nach dem Cobb-Douglas Ansatz wurde gewählt, da für Österreich bisher lediglich zwei Input-Output Tabellen (für die Jahre 1964 und 1976) (OStZ, 1973 und 1985) erstellt wurden. Um durch die von diesen Funktionen nicht berücksichtigten Trends (wie etwa den Strukturwandel innerhalb eines Sektors sowie technischen Fortschritt) einbeziehen zu können, besteht die Möglichkeit, die Cobb-Douglas Koeffizienten über die Zeit zu verändern. Das vorliegende Computermodell kann leicht durch beliebige andere Produktionsfunktionen ergänzt werden.

6.2. Der Verflechtungsmodul und die Berechnung des privaten Konsums

Der Verflechtungsmodul ist ein Input-Output Modell mit endogener Bestimmung des Kapitalstocks. Wie oben beschrieben, wird jeder Sektor durch Vintages repräsentiert, welche dem in einer bestimmten Periode gebauten Kapitalstock entsprechen. Leider liess sich dieses Vorgehen aus Datenmangel nicht auf den existierenden Kapitalstock anwenden. Daher wird der 1976 existierende Kapitalstock als homogener historischer Kapitalstock behandelt. Die Inputstruktur dieses Kapitalstocks wird über die Zeit so verändert, dass sich die Qualität entsprechend historischen Trends in Bezug auf Arbeitsproduktivität und Kapitalintensität verbessert. Diese Prozedur wird verwendet, um die Nichthomogenität des historischen Kapitalstocks zu approximieren. Zur Berechnung der Produktionsstruktur in einer bestimmten Periode werden die Inputfaktoren aller vor dieser Periode gebauten Vintages entsprechend ihrer Produktion gemittelt und ein Kapitalstock in die Berechnung aufgenommen. Der neu zu installierende Kapitalstock wird separat behandelt.

Der Zusammenhang zwischen Aktivität eines Sektors und Produktion des für diesen Sektor typischen Gutes wird modellintern über die *Makematrix* (OStZ, 1985) hergestellt. Diese beschreibt, welche Güter von welchen Sektoren hergestellt werden. Diese Matrix wurde als über den gesamten betrachteten Zeithorizont als konstant angenommen, da keine Information über die Veränderung dieser Struktur vorhanden ist. Der dadurch entstehende Fehler kann jedoch als vernachlässigbar angesehen werden, da 92% der produzierten Güter sektorspezifisch hergestellt wurden.

$$z_j^s = \sum_i u_{ij} z_i^c$$

z_j^s	Aktivität des Sektors j
z_i^c	Produktion des Gutes i
u_{ij}	Element der Makematrix

Um die Darstellung der Gleichungen in diesem Artikel zu vereinfachen, wurde diese Transformation jedoch nicht in die folgenden Formeln aufgenommen. Die Darstellung erfolgt also so, als ob eine herkömmliche Input-Output Matrix verwendet worden wäre, wo Sektoren und Güter gleichgestellt werden. Damit hat die mathematische Formulierung des Verflechtungsmodells die folgende Form:

$$\sum_{j=1}^{n_s} (1-a_{ij}^0) z_j^0 + \sum_{j=1}^{n_s} (1-a_{ij}^n) z_j^n - \sum_{j=1}^{n_s} k_{ij} \bar{z}_j - c_i^p y = c_i^f + e_i + x_i - m_i \quad (i=1, n_c)$$

$$\chi_j^0 z_j^0 \leq s_j^0 \quad (j=1, n_s)$$

$$\chi_j^n z_j^n - \bar{z}_j \leq 0 \quad (j=1, n_s)$$

$$\sum_{j=1}^{n_s} (l_j^0 z_j^0 + l_j^n z_j^n) = \bar{L}$$

n_s, n_c	Anzahl der Sektoren und Gütergruppen
a_{ij}^0	Durchschnittliche Inputkoeffizienten für bestehende Vintages (Absorptionsmatrix)
a_{ij}^n	Inputkoeffizienten der neuen Vintages
z_j^0, z_j^n	Produktion des alten bzw. neuen Vintages
k_{ij}	Kapital Matrix, $\sum_i k_{ij} = 1$
\bar{z}_j	Investitionen des Sektors j
χ_j^0, χ_j^n	Kapitalbedarf pro Produktionseinheit des Sektors j
s_j^0	existierender Kapitalstock des Sektors j
y	verfügbares Einkommen
c_i^p	private Nachfrage nach Gut i (als Anteil von y)
c_i^g	öffentlicher Konsum von Gut i
e_i	Nachfrage des Energiesektors nach Gut i
m_i	Import des Gutes i
x_i	Export des Gutes i
l_j^0, l_j^n	spezifischer Arbeitskräftebedarf der alten bzw. neuen Vintages des Sektors j
\bar{L}	Arbeitskräftepotential

Dieses System von $2n_s + n_c + 1$ Gleichungen und Variablen wird als lineares Programm formuliert und gelöst. Dabei werden die Investitionen, das verfügbare Einkommen und die Aktivitäten der Wirtschaftssektoren bestimmt. Die Formulierung als lineares Programmierungsproblem erfordert, dass die verwendete Konsumfunktion linear vom verfügbaren Einkommen abhängt. Das hier verwendete Nachfragesystem benutzt ein LES (Linear Expenditure System), um die Nachfrage nach Konsumgütergruppen zu bestimmen.

$$c_i^d = \gamma_i + \frac{\beta_i}{p_i^d} \left[y - \sum_{l=1}^{n_d} \gamma_l p_l^d \right]$$

n_d	Anzahl der Nachfragekategorien
c_i^d	Nachfrage nach Konsumgut i
p_i^d	Preis des Konsumgutes i
y	verfügbares Einkommen
β_i, γ_i	geschätzte Parameter

Mit Hilfe einer Brückenmatrix werden, unter Berücksichtigung der Mehrwertsteuer, aus den sektoralen Güterpreisen die Konsumgüterpreise berechnet und die Nachfrage nach Konsumgütern in solche nach sektoralen Gütern transformiert.

$$p_l^d = \sum_i \left[p_i^p (1 + t_i) \right] c_{il}$$

$$c_i^p = \sum_l c_{il} c_l^d$$

- c_{ij} Element der Brückenmatrix
- t_i Mehrwertsteuer auf Gut i

Falls nichtlineare Nachfragesysteme verwendet werden sollen, muss, anstelle des hier verwendeten Lösungsalgorithmus, ein Verfahren zur Lösung nichtlinearer Gleichungssysteme verwendet werden.

6.3. Der Preismodul

Aus der Lösung des Verflechtungsmodells kann, nach Mittelung der alten und neuen Vintages, der sektorale Produktionspreis aus

$$p_j^s = \sum_{i=1}^{n_c} p_i^c a_{ij} + \omega_j \bar{l}_j + \Pi_j$$

mit

$$\Pi_j = \left(\frac{1}{\alpha_j} \right) \sum_{i=1}^{n_c} p_j^k k_{ij} \frac{\bar{z}_j}{z_j^s}$$

- p_j^s Sektorpreis des Sektors j
- p_i^c Preis des Gutes i = $\sum_j p_j^c u_{ji}$
- p_j^k Preis der Kapitalgüter für Sektor j
- a_{ij} durchschnittlicher Inputfaktor des Gutes i in Sektor j
- z_j^s gesamte Produktion des Sektors j
- k_{ij} Investitionsmatrix ($\sum_k k_{kj} = 1$).
- Π_j spezifische Profite des Sektors j
- ω_j Lohnniveau des Sektors j
- \bar{l}_j durchschnittlicher spezifischer Arbeitskräftebedarf des Sektors j
- α_j Investitionsquote

aus den kurzfristigen Grenzkosten und einem Aufschlag für Kapitalerträge und eventuelle Profite berechnet werden.

Die in die Preisrechnung eingehenden Profite (Π), welche über die einfache Investitionsfunktion, $I = \alpha \Pi$, bestimmt werden, können in der derzeitigen Modellversion auch in Abhängigkeit vom Kapitalstock berechnet werden. Es wäre jedoch auch ohne weiteres möglich, kompliziertere Zusammenhänge zwischen Investitionen und Profiten zu verwenden, um den entsprechenden Preisterm (mark-up Faktor) zu berechnen.

6.4. Der Aussenhandelsmodul

Ausgehend von der berechneten sektoralen Produktion und den Güterpreisen wird die Handelsbilanzgleichung ausgewertet und mit dem vorgegebenen Wert verglichen.

$$T = \sum_{i=1}^{n_c} \left[p_i^x x_i + p_i^c (1+z) f_i - p_i^m m_i \right]$$

Die Importe und Exporte werden aufgrund ökonometrisch geschätzter Funktionen berechnet

$$m_i = m_i^0 \left(\frac{p_i^c}{p_i^m} \right)^{\epsilon_i^m} z_i^{\epsilon_i^x} e^{\gamma_i^m t}$$

$$x_i = x_i^0 \left(\frac{p_i^c}{p_i^x} \right)^{\varepsilon_i^z} M_w \gamma_i^x \gamma_i^m$$

p_i^x	Exportpreis für Gut i
p_i^m	Importpreis für Gut i
p_i^c	heimischer Preis für Gut i
f_i	touristische Nachfrage nach Gut i
ε	Preiselastizität der touristischen Nachfrage
ε_i^m	Preiselastizität für Importe
ε_i^x	Preiselastizität für Exporte
ε_i^z	Einkommenselastizität für Importe
M_w	vorgegebenes Handelsvolumen der Partnerländer (OECD)
γ_i^x, γ_i^m	Zeittrends
m_i^0, x_i^0	Werte zur Anpassung an das Basisjahr

Ein wesentliches Problem bei der Beschreibung der Stellung Österreichs am Weltmarkt ist die Veränderung der Qualität der gehandelten Waren und die möglicherweise unterschiedliche Entwicklung der Qualität heimischer und importierter Waren. Eine solche Veränderung kann nur szenariomässig untersucht werden, wobei die Konkurrenzfähigkeit durch Zeittrendfaktoren beeinflusst werden kann. Zusätzlich kann auch die Preisentwicklung für Importe und Exporte als verschieden angenommen werden.

7. Die Verbindung von Energiemodell und Wirtschaftsmodell

Das Hauptproblem bei der Verbindung verschiedener Modelle liegt in der Definition der Schnittstelle. Im vorliegenden Fall ist die einzige saubere Schnittstelle das Endenergieniveau, da jede Produktions- und Konsumfunktionfunktion, als statistisch erfassbare Grösse, den Endenergieverbrauch beinhaltet. Das Energiemodell müsste dann die Kosten zur Bereitstellung der Endenergie berechnen. Die Schwierigkeit dabei ist, dass die Energienachfrage des Wirtschaftsmodells nicht auf die nachgefragten Endenergeträger disaggregiert ist, d.h. es unterscheidet nicht zwischen Kohle, Gas, Strom, etc. Dieses Problem könnte mittels eines ökonometrischen Modells, welches aufgrund von Preisen die Endenergiestruktur berechnet, gelöst werden. Da in der vorliegenden Studie der Energiesektor genauer behandelt werden soll, wurde ein anderer Ansatz gewählt.

Wie schon früher beschrieben, wird im Energiemodell die gesamte Energieumwandlung bis Nutzenergie dargestellt, wodurch eine Überlagerung mit dem Wirtschaftsmodell entsteht. Die vom Wirtschaftsmodell gelieferte sektorale Endenergienachfrage wird, unter Berücksichtigung der jeweils spezifischen Nachfrage und der Entwicklung der Wirkungsgrade, in Nachfrage nach Nutzenergie für Hochtemperaturprozesse und Prozesswärme, Raumwärme und Transport übersetzt. Zusätzlich wird die spezifische Nachfrage nach elektrischer Energie (z.B. für Beleuchtungszwecke oder Elektrochemie) berechnet. Das Energiemodell nimmt dann, entsprechend dieser Nutzungsarten, die Aufteilung auf verschiedene Endenergeträger vor. Die an das Wirtschaftsmodell rückgelieferten Preise stellen aber trotzdem Endenergiepreise dar.

Abgesehen von den nachgefragten Energiemengen werden auch noch die Preise für Kapitalgüter, Intermediärgüter sowie die Lohnkosten vom Wirtschaftsmodell an das Energiemodell übergeben. Dieses berechnet dann ausser den Energiepreisen auch noch die Nachfrage nach Gütern und Leistungen der übrigen Wirtschaftssektoren, die Beschäftigtenzahl sowie die sich aus Energieimporten

und -exporten ergebende Handelsbilanz.

Die beiden Modelle werden solange iteriert bis keiner der übergebenen Werte um mehr als einen vorgegebenen Wert, derzeit ein halbes Prozent vom Wert der vorigen Iteration, abweicht.

8. Datenerfordernisse

Die für das Energiemodell benötigten Daten umfassen

- *technische Daten* bezüglich der repräsentierten Umwandlungs- und Transportsysteme, wie Wirkungsgrade, maximale Verfügbarkeit, Flexibilität der Input- bzw. Outputstruktur, Emissionsfaktoren, maximale Zubauraten oder die technische Lebensdauer;
- *ökonomische Daten* bezüglich Investitions- und fixer und variabler Betriebskosten;
- *Strukturdaten*, welche den im Basisjahr existierenden Kapitalstock der verschiedenen Systeme sowie die Altersstruktur beschreiben, weiters Potentiale für leitungsgebundene Energieträger etc.;
- *Szenariovariable* für Entwicklungstendenzen, wie z.B. maximale Emissionen, Importabhängigkeit, Ausbau der Wasserkraft oder Kernkraft.

Die für das Wirtschaftsmodell benötigten Daten sind qualitativ verschieden. Einerseits müssen diese Daten wesentlich höher aggregiert sein, andererseits beinhalten sie auch viele Beziehungen, die das Verhalten von Entscheidungsträgern reflektieren. Solche Daten können natürlich nur aus der Vergangenheit ökonomisch geschätzt und zukünftigen Erwartungswerten angepasst werden.

Die wichtigsten Daten, welche als Zeitreihen für jeden betrachteten Wirtschaftssektor vorliegen müssen, umfassen:

- Kapitalstock;
- Investitionen;
- Bruttoproduktion;
- Beschäftigtenzahl;
- Löhne;
- Nachfrage an und Preise von Konsumgütern und
- Import- und Exportmengen und -preise.

9. Einsatzmöglichkeiten des Modellsystems

Das Modellsystem wurde zu dem Zweck entwickelt, Reaktionen der Wirtschaft im allgemeinen und der Energiewirtschaft im besonderen auf Veränderungen exogen vorzugebender Szenarioannahmen aufzuzeigen. Solche exogene Vorgaben können die Importpreise betreffen, die z.B. in den analysierten Szenarien unterschiedlich angenommen wurden.

Die beiden Hauptkomponenten des Modellsystems - Energiemodell und Wirtschaftsmodell - können, wie schon erwähnt, auch unabhängig voneinander zu Analysen herangezogen werden. Jedes der Modelle kann alleine schon zur Bearbeitung eines weiten Spektrums von Problemen dienen. Bei Kopplung der beiden Modelle wird zusätzlich eine bessere Konsistenzprüfung der Analysen, aber auch die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den modellierten Systemen gewährleistet.

Das Energiemodell enthält eine Reihe von wichtigen Entscheidungsvariablen. Es kann zur Bestimmung der kostenoptimalen Struktur des Energiesystems bei

vorgegebener Nachfrage herangezogen werden. Neue Umwandlungstechnologien, wie etwa Kohleveredelungstechnologien, verstärkter Einsatz von erneuerbaren Energieträgern (Ausbau der Wasserkraft, Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung oder Raumheizung) oder Einsparmassnahmen (Wärmedämmung, Änderung industrieller Prozesse) können auf ihre energiewirtschaftlichen Implikationen untersucht werden. Ebenso können etwa die durch Beschränkungen auf Energieimporte, einer Diversifikation der Energieimporte oder einer Reduktion der erlaubten Schadstoffemissionen implizierten Auswirkungen auf das Energiesystem abgeschätzt werden.

Die Kopplung des Energiemodelles mit dem Wirtschaftsmodell macht auch die Einflüsse auf die Gesamtwirtschaft durch die vom Energiemodell berechneten Energiepreise, die Investitionsnachfrage oder das Aussenhandelssaldo des Energiesektors, und Rückwirkungen auf das Energiesystem durch eine Änderung der Energienachfrage oder der Preise und Löhne einer Analyse zugänglich.

Das zur Formalisierung des Energiemodelles verwendete Computerprogramm, MESSAGE II, unterstützt die mehrkriterielle Optimierung (Grauer, 1985). Als Konzept zur Lösungsfindung wird die Optimierung von Referenztrajektorien (Wierzbicki, 1985) verwendet. Dabei wird eine pareto-optimale Lösung gesucht, welche den vom Benutzer für jedes Ziel vorgegebenen Referenztrajektorien am nächsten kommt. Ein wichtiges Anwendungsgebiet dieser mehrkriteriellen Optimierung wäre das Abwägen von umweltbezogenen und ökonomischen Zielvorstellungen. Auch in diesem Zusammenhang kann das Modellsystem als Ganzes weitere Konsistenzaussagen liefern.

Im Wirtschaftsmodell können, ähnlich wie im Energiemodell, verschiedene Produktionsmöglichkeiten innerhalb eines Sektors verglichen werden. Dazu können entweder Techniken aus ingenieurmässig erhobenen Daten oder verschiedene Produktionsfunktionen vorgegeben werden. Das Modell bestimmt dann die - im Zusammenhang mit der übrigen Wirtschaft - optimale Konfiguration. Im besonderen ist das Wirtschaftsmodell dazu geeignet, beliebige Wirtschaftssektoren aus der Modellstruktur auszugliedern und in einem gesonderten Modell zu untersuchen. Dies geschieht im vorliegenden Fall mit dem Energiesystem, doch ist ohne weiteres denkbar, dass eine solche Untersuchung mittels eines geeigneten Sektormodells auch für andere Wirtschaftsbereiche durchgeführt wird.

Bezüglich der Beschäftigungssituation kann das Modellsystem direkt keine Aussagen treffen. Indirekt sind entsprechende Probleme jedoch aus der Lösung, etwa durch die Entwicklung des Lohnniveaus, ablesbar. Durch eine szenariomässig vorgenommene Änderung der Handelsbeziehungen, durch Auf- oder Abwertung des Schillings oder durch die Vorgabe neuer Beschäftigtenzahlen kann das Lohnniveau beeinflusst werden. Die Entwicklung des Lohnniveaus kann aber auch explizit vorgegeben werden. In diesem Fall würde der Aussenhandel im Modell nicht ausgeglichen, wodurch die Beeinflussung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Wirtschaft durch antizipierte Lohnentwicklungen ausgelotet werden kann.

Eine andere Option betrifft die Untersuchung verschiedener Strategien der öffentlichen Hand, da sowohl die gesamten Staatsausgaben als auch deren Verteilung auf direkte Ausgaben, Investitionen oder Subventionen variiert werden können. In gleicher Weise kann auch der Einfluss geänderter Abgabenbestimmungen (z.B.: Energiesteuer) untersucht werden.

Ein Problem, welches in späteren Modellversionen noch zu berücksichtigen sein wird, ist die Annahme, dass Arbeitskräfte prinzipiell zwischen Sektoren austauschbar sind und auch der nötige Ausbildungsgrad innerhalb eines Wirtschaftssektors nicht berücksichtigt wird. Eine Behandlung dieses Problems könnte einen ersten Ansatz zur Abschätzung der Beschäftigungssituation darstellen.

Die Liste nicht berücksichtigter Phänomene liesse sich leicht verlängern. Es muss in diesem Zusammenhang jedoch auf die grundlegende Anforderung der Aufgabenstellung hingewiesen werden. Es sollte ein Modellsystem entwickelt werden, welches sicherstellt, dass die bei der Erstellung von Energieszenarien getroffenen Annahmen auf ihre gesamtwirtschaftliche Konsistenz überprüft werden. Durch eine vorsichtige Analyse und Interpretation der Modellresultate kann eine solche Konsistenzprüfung nun erfolgen.

10. Ergebnisse der Modellrechnungen

Der Schwerpunkt der dem beschriebenen Modellsystem zugrundeliegenden Aufgabenstellung war die Erstellung eines Werkzeuges zur Objektivierung und Rationalisierung von Entscheidungen bezüglich der zukünftigen Energieversorgung Österreichs. In diesem Kapitel sollen die Möglichkeiten und Beschränkungen des dafür erstellten Modellsystems aufgezeigt und an einigen Beispielen erläutert werden. Dabei muss auf den vorläufigen Charakter der dargestellten Ergebnisse hingewiesen werden, da diese noch nicht mit den jeweiligen Interessensgruppen iteriert wurden. Das ist jedoch eine notwendige Voraussetzung zur Auffindung einer für alle Beteiligten akzeptablen Lösung. Der wesentliche Beitrag, den das Modellsystem dabei leisten kann, besteht in der integralen Betrachtung des Energiesystems und der gesamtwirtschaftlichen Zusammenhänge. Damit kann vermieden werden, dass energiepolitische Forderungen als von der Gesamtwirtschaft losgelöste Problemstellungen gesehen werden. Diese Vorgehensweise erhöht natürlich - verglichen mit der Verwendung reiner Energiemodelle - die Komplexität des zur Entscheidungshilfe verwendeten Instrumentariums. Sie hilft jedoch, Inkonsistenzen in den Zielsetzungen zu erkennen.

In seinen ersten Anwendungen wurde das Modellsystem ausgehend von den im Energiekonzept 1984 der Österreichischen Bundesregierung (Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie, 1984) definierten Szenarien getestet. Als Bezugsgrößen wurden der Energieimportpreis und Kostenannahmen für Energiesysteme aus diesen Szenarien übernommen. Ebenso wurde ein ähnlicher Zeithorizont, 1984 bis 2004, gewählt, welcher in fünf Zeitperioden unterteilt wurde. Trotz teilweise gleicher Annahmen war es nicht Absicht, die im Energiekonzept vorgestellten Szenarien *nachzurechnen*. Es sollte vielmehr untersucht werden, welche Resultate das hier dargestellte Modellsystem unter ähnlichen Randbedingungen liefert. Im folgenden werden diese Ergebnisse vorgestellt und die Unterschiede zu den im Energiebericht vorgelegten umrissen. Dazu muss festgestellt werden, dass es nicht Aufgabe war, ein neues Energiekonzept zu erstellen, sondern ein neues, die Realitäten besser widerspiegelndes Modellsystem zu erarbeiten. Die Ergebnisse können aber eine erste Stufe in einem Iterationsprozess darstellen, in dem die an der Erstellung eines Energiekonzepts interessierten Beteiligten mitwirken. In einem derartigen Iterationsprozess müssten alle Annahmen abgestimmt werden, um einen Konsens hinsichtlich der Möglichkeiten und Restriktionen der österreichischen Energiepolitik zu erzielen.

10.1. Hohe und niedrige Energiepreise - Ein Szenariovergleich

Der Unterschied zwischen den beiden beschriebenen Modellläufen besteht lediglich in verschiedenen Annahmen bezüglich der aussenwirtschaftlichen Verflechtung und der Aussenhandelspreise. Bei hohen Energiepreisen - der Unterschied im Weltmarktpreis für Rohöl beträgt im Jahr 2004 rund 75% - steigen auch die anderen Weltmarktpreise. Ausserdem wurde unterstellt, dass höhere Energiepreise ein geringeres wirtschaftliches Wachstum der Handelspartner Österreichs nach sich ziehen. Damit nehmen die Exporte i.w.S. sowohl durch eine Verringerung der Importnachfrage nach österreichischen Waren, als auch durch eine Reduktion des Ausländerfremdenverkehrs ab. Die angenommenen Wachstumsraten der Handels-

partner Österreichs (im wesentlichen der OECD) betragen 3% pro Jahr im Niedrigpreisszenario (NPS), und 1.5% im Hochpreisszenario (HPS). Da alle übrigen Modellparameter unverändert blieben, sind die beiden Modellläufe gut vergleichbar.

Wie zu erwarten war, unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Szenarien hauptsächlich in Bezug auf die nachgefragte Endenergiemenge. Diese beträgt am Ende des Planungshorizontes 1.38 TJ im Niedrig- bzw. 1.15 TJ im Hochpreisszenario. Die entsprechende Primärenergienachfrage beträgt 1.72 bzw. 1.38 TJ. Die im Hochpreisszenario etwas höheren Umwandlungsverluste erklären sich aus dem relativ höheren Anteil heimischer Energieträger, also Braunkohle, Holz und Abfälle. Die erhöhte Nutzung dieser Energiequellen ermöglicht es, die Auslandsabhängigkeit mit 70% nahezu auf dem Niveau von 1984 (66%) zu halten. Im Niedrigpreisszenario, wo die Nutzung dieser Energiequellen unwirtschaftlich wäre, steigt die Abhängigkeit von importierter Energie auf etwa 85% des gesamten Primärenergieeinsatzes.

Durch die Variation der Energiepreise wird im Modellsystem auch die Entwicklung der wirtschaftlichen Zusammenhänge beeinflusst. So sind zum Beispiel unter der Annahme hoher Preise am Ende des Zeithorizonts das reale Bruttoinlandsprodukt um 3% und der private Konsum um 7% geringer als im Falle niedriger Preise. Die Wachstumsraten des BIP bzw. des privaten Konsums betragen im Hochpreisszenario 2.7% bzw. 2.9% pro Jahr.

Ein Vergleich mit den im Energiekonzept 1984 beschriebenen Ergebnissen zeigt, dass die dort angenommenen Wachstumsraten der Endenergienachfrage, welche im Jahr 2005 zu einer Nachfrage von 0.77 bzw. 0.9 TJ führen, wesentlich unter den hier errechneten Werten liegen. Dies könnte einerseits durch die Annahme einer geringeren Wachstumsrate des BIP, andererseits durch die Zugrundelegung einer wesentlich stärkeren Reduktion der spezifischen Nutzenergienachfrage begründet sein.

Beide Hypothesen konnten jedoch nicht direkt überprüft werden, da die entsprechenden Daten im Energiebericht 1984 nicht ausgewiesen werden. Es zeigt sich ein bedeutender Vorteil des hier verwendeten Systems: Daten bezüglich Entwicklung der Volkswirtschaft und technischem Fortschritt sind integrale Bestandteile des Systems und können somit nicht externalisiert werden.

Das in den beiden Modellläufen errechnete Wachstum der Endenergienachfrage dürfte bei Steigerungsraten von 2.8%, bzw. 1.9% pro Jahr am oberen Ende der vorstellbaren Entwicklung liegen und ist im wesentlichen ein Effekt des ebenfalls recht kräftigen Wirtschaftswachstums von etwa 2.7% pro Jahr im Zeitraum 1984 bis 2004. An dieser Stelle müsste nun der Iterationsprozess beginnen, um zu klären, ob ein solches Wachstum, bzw. die Relationen zwischen den Wachstumsraten für BIP und Energie tatsächlich vorstellbar sind. Dabei muss entschieden werden, welche Annahmen geändert werden müssen, um zu einem realistischeren Ergebnis zu kommen.

Da dieser Prozess hier nicht stattfinden konnte, sollen vorerst die Szenarioergebnisse mit historischen Entwicklungstendenzen verglichen werden, um so die Resultate grob auf ihre Konsistenz überprüfen zu können (siehe Tabelle 3).

Dieser Vergleich zeigt, dass die Ergebnisse bezüglich der Entwicklung wichtiger volkswirtschaftlicher Kenngrößen akzeptabel sind. Lediglich das starke Wachstum des Energieeinsatzes kann nicht aus historischen Daten bestätigt werden. Auch andere Untersuchungen (z.B. Häfele, 1981) deuten darauf hin, dass der hier berechnete Energieverbrauch zu hoch ist - in den meisten industrialisierten Ländern sinkt der spezifische Energiekonsum langfristig um etwa 0.5% p.a. Der Grund für dieses Ergebnis liegt vorrangig in der Verwendung der Input-Output

Tabelle 3: Vergleich der Szenarioergebnisse mit langfristigen Trends in Österreich
(durchschnittliche jährliche Veränderungen, reale Werte).

	Historische Entwicklung			NPS ¹⁾	HPS ²⁾
	1913-1984	1963-1973	1973-1983	1984-2004	1984-2004
BIP	2.2	5.2	2.4	2.9	2.7
Priv. Konsum	2.0	4.5	2.8	3.3	2.9
Investitionen	2.7	6.7	0.1	2.9	2.6
Exporte	3.2	8.9	5.5	3.9	3.3
Importe	3.5	9.5	4.3	4.3	3.3
BIP/Besch.	1.8	3.8	1.9	3.0	2.9
Prim. Energie	-	4.7	-2	2.9	1.7
Ol Preis	-	-4.4	5.9	0.0	3.0

1) NPS: Niedrigpreisszenario

2) HPS: Hochpreisszenario

Tabelle von 1976. Die Ausgaben für Energie waren in diesem Jahr sicher nicht betriebswirtschaftlich optimal, das wird jedoch durch die auf dieses Jahr kalibrierten Cobb-Douglas Funktionen implizit angenommen. An dieser Stelle könnte das Wirtschaftsmodell wesentlich verbessert werden, wenn bessere Produktionsfunktionen zur Berechnung der Verflechtungsmatrix gefunden werden.

10.2. Weitere Szenariorechnungen

Um zu untersuchen, wie sich das Modellsystem bei Änderung anderer Eingabedaten verhält, wurden weitere Modellläufe durchgeführt. Dabei wurden etwa fixe Produktionsfunktionen vom Leontief Typ verwendet, andere Preisrelationen angenommen, die wöchentliche Arbeitszeit oder die den Aussenhandel beeinflussenden Variablen geändert (Die Ergebnisse dieser Modellläufe sind in Strubegger et al. (1986) beschrieben). In den meisten Fällen errechnet das Modellsystem eine aufgrund der geänderten Eingabedaten plausible Lösung. In einigen Fällen, z.B. bei starken Veränderungen der Import/Export Funktionen, findet das Modellsystem keine Lösung. Dies ist ein Problem des verwendeten Rechenverfahrens, iteratives Einsetzen, dass in späteren Modellversionen durch andere Verfahren zur Nullstellensuche ersetzt werden sollte.

Abschliessend soll noch ein Szenario beschrieben werden, welches aufgrund verbesserter Eingabedaten ein den Autoren dieses Berichtes realistischer erscheinendes Ergebnis liefert als die oben beschriebenen. Bezüglich der Entwicklung des Rohölpreises wurde angenommen, dass dieser bis 1988 auf einem niedrigen, etwa den heutigen Preisen entsprechenden Niveau bleiben wird. Danach wird ein relativ rascher Preisanstieg angenommen, wodurch der Ölpreis bis zum Ende des Berechnungshorizonts wieder die niedrigen Preise des Energieberichts 1984 erreicht. Weiters wurde, da die Benutzung der ökonometrisch geschätzten Exportfunktionen zu einer starken Ausweitung der Exporte von Textilien und Grundmetallen führte, was aber in der Realität sicher nicht zu erwarten ist, ein für diese Bereiche stagnierender Exportmarkt simuliert.

Weitere Szenarioannahmen betreffen das Wachstum des öffentlichen Konsums und die wöchentliche Arbeitszeit. Das jährliche Wachstum des öffentlichen Konsums wurde, dem langjährigen Durchschnitt entsprechend, auf 3% pro Jahr gesetzt. Damit wächst dieser Sektor leicht überproportional. Für die wöchentliche Arbeitszeit wurde angenommen, dass sie bis zum Jahre 1988 auf 35 Stunden und bis

Tabelle 4: Die wichtigsten Ergebnisse des Basisszenarios, 1984 bis 2004 (in realen Preisen).

	Einheiten	1984	1988	1992	1996	2000	2004
BIP	Mia.S	779.2	872.9	1063.5	1197.9	1293.0	1353.3
Priv.Konsum	Mia.S	411.3	444.9	554.0	639.5	688.3	737.0
Investitionen	Mia.S	199.8	210.9	239.4	265.7	286.6	287.4
Endenergie	PJ	731.1	788.5	876.2	1012.8	1083.4	1134.2
Primärenergie	PJ	970.8	1034.2	1129.5	1257.8	1333.5	1376.2

zum Jahre 2004 auf 30 Stunden sinken wird. Damit sollte ein realistisches Wirtschaftswachstum bei annähernder Vollbeschäftigung (3% Arbeitslose) erreicht werden können.

Tabelle 5: Die Entwicklung des Primärenergieverbrauches im Basisszenario, 1984 bis 2004, in PJ.

	1984	1988	1992	1996	2000	2004
Kohle	186.40	240.33	253.58	273.45	274.40	270.61
Erdöl	400.24	402.13	408.44	448.18	478.78	503.69
Erdgas	192.08	199.65	279.44	353.56	406.24	437.46
Wasserkraf	132.15	133.10	134.36	135.62	136.57	137.83
Sonstige	62.76	58.98	53.62	46.99	37.22	26.81
Summe	973.64	1034.20	1129.45	1257.82	1333.20	1376.41

Tabelle 4 fasst einige wichtige Ergebnisse dieses Szenarios zusammen. Man ersieht daraus deutlich den kräftigen Anstieg des Energieverbrauches im Zeitraum mit sehr niedrigen Energiepreisen und die Reduktion der Wachstumsraten bei steigenden Energiepreisen. Doch nicht nur die Preise sind ausschlaggebend für diese Entwicklung, sondern auch das Wirtschaftswachstum, welches eine ähnliche Entwicklung zeigt. Die Reduktion des Wirtschaftswachstums ist im wesentlichen auf die Verringerung des Arbeitskräftepotentials bei gleichzeitiger Reduktion der Arbeitszeit in den beiden letzten Perioden zurückzuführen.

Abschliessend gibt Tabelle 5 einen Überblick über die Primärenergiestruktur. Die Primärenergienachfrage ist auch bei diesem, schon im Wachstum reduzierten Szenario, höher als im Energiebericht 1984. Der höhere Energiebedarf wird im wesentlichen durch zusätzliche Mengen an Erdgas gedeckt. Dieses wird sowohl in der Industrie als auch zur Strom- und Fernwärmeproduktion eingesetzt, um trotz steigendem Energieverbrauches die Emissionsbeschränkung einhalten zu können.

11. Zusammenfassung

Das Hauptziel des hier vorliegenden Artikels war es, eine Methode vorzustellen, mithilfe derer man die komplexen Zusammenhänge zwischen dem Wirtschaftssystem, den Endkonsumenten und dem Energieversorgungssystem untersuchen kann. Dadurch soll vermieden werden, dass bei Analysen der zukünftigen Entwicklung des Energiesystems auf Energienachfragedaten zurückgegriffen werden muss, welche unter Umständen mit den Annahmen des Energieszenarios nicht konsistent sind. Gleichermassen wird so ermöglicht, die Rückwirkungen verschiedener Annahmen bezüglich der Entwicklungen im Energiesystem auf das Wirtschaftssystem zumindest grob zu untersuchen.

Das dafür entwickelte Modellsystem erlaubt es, solche Untersuchungen durchzuführen und liefert, wie an den oben beschriebenen Beispielen gezeigt wurde, plausible Ergebnisse. Sicher wird dieses System aufgrund weiterer Erfahrungen bei der Anwendung in einigen Bereichen verbessert oder erweitert werden müssen. Zusätzlich bedarf es auch noch weiterer Arbeit am Datenmaterial, welches die Grundlage zur Bestimmung der im Modell enthaltenen Verhaltensgleichungen darstellt.

Wie bei allen Modellen dieser Art kann jedoch nicht angenommen werden, dass mit ihrer Hilfe die Zukunft verlässlich prognostiziert werden kann. Ihr Haupteinsatzgebiet sollte die vergleichende Analyse sein, um dadurch die Zukunftsvorstellungen verschiedener Denkschulen auf ihre grundlegende Konsistenz zu prüfen. Damit wird zumindest erreicht, dass die jeweiligen Vorstellungen genau präzisiert werden müssen, um mit Hilfe des gleichen Instrumentariums beurteilt werden zu können. Diese Vorgehensweise erlaubt es, den Rahmen, in dem dann die endgültigen Entscheidungen getroffen werden müssen, so weit einzugrenzen, dass alle angestrebten Zukünfte zumindest diskutierbar werden. Was weder dieses, noch andere Modelle können, ist, die Entscheidungen zu treffen, die zu einer 'optimalen' Zukunft führen. Maximal können sie unterstützende Hilfestellung leisten.

Literatur

- Baumol, W.J., *Economic Theory and Operations Analysis*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1965.
- BP *Statistical Review of World Energy*. The British Petroleum Company p.l.c., London, 1985.
- Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie, 1984, *Energiebericht und Energiekonzept der österreichischen Bundesregierung 1984*. Wien, 1984.
- Cherniavsky, E.A., *Brookhaven Energy System Optimization Model*. Brookhaven National Laboratory, 1974.
- Codoni, R. und Fritsch, B., *Capital Requirements of Alternative Energy Strategies: A Techno-Economic Assessment*. Institut für Wirtschaftsforschung, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1980.
- Danzig, G.B., *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press, Princeton, N.Y., 1965.
- Fishbone, L.G., Giessen, G., Vos, H., *MARKAL, A Linear-Programming Model for Energy Systems Analysis*. Brookhaven National Laboratory, Kernforschungsanlage Jülich, 1981.
- Fuss, M., McFadden, D. (Eds.), *A Dual Approach to Theory and Applications*. North-Holland Pub. Comp., 1978.
- Ginsburgh, V.A., Waelbroeck, J.L., *Activity Analysis and General Equilibrium Modelling*. North-Holland Pub. Comp., 1981.
- Grauer, M., Messner, S., Strubegger, M., *An Integrated Programming Package for Multiple-Criteria Decision Analysis*. In *Plural Rationality and Interactive Decision Processes*. Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- Grübler, A., Amann, M., *Grenzkosten der Reduktion von SO₂-Emissionen in Österreich*. Wirtschaftspolitische Blätter 4, 1986, pp 467-484, Bundeswirtschaftskammer, Wien.
- Häfele, W., *Energy in a Finite World*. Ballinger Pub. Co., Cambridge, Mass., 1981.

- Johansen, L., *Production Functions. An Integration of Micro and Macro, Short-Run and Long-Run Aspects*. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1972.
- Jorgenson, D.W., *The nine Sektor Dynamic General Equilibrium Model*. Final Report to the U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, Macroeconomic Division, 1979.
- Klein, L.R., Rubin, H., *A Constant-Utility Index of the Cost of Living*. Review of Economic Studies, 15, 1948.
- Manne, A.S., *ETA-MACRO: A Model of Energy-Economy Interactions*, in: Advances in the Economics of Energy and Resources, Vol. 2, edited by R.S. Pindyck. JAI Press Inc., Greenwich, Connecticut, 1979.
- Messner, S., *User's Guide for the Matrix Generator of MESSAGE II*. IIASA, WP-84-71, Laxenburg, 1984.
- Messner, S., Golovine, A., Strubegger, M., *Natural Gas in Europe*. IIASA, WP-86-39, Laxenburg, 1986.
- ÖStZ, *Input-Output-Tabelle 1964*. Wien, 1973.
- ÖStZ, *Statistische Nachrichten*, 40. Jahrgang, Heft 5, 1985.
- Persson, H., Johansson, B., *A Dynamic Multisector Model with Endogenous Formation of Capacities and Equilibrium Prices: An Application to the Swedish Economy*. IIASA, PP-82-9, Laxenburg, 1982.
- Petroleum Economist*. Juni, 1985.
- Strubegger, M., *User's Guide for the Post Processor of MESSAGE II*. IIASA, WP-84-72, Laxenburg, 1984.
- Strubegger, M., Messner, S., Amann, M., Wirl, F., *Scenario Model Energy and Economy*. Technische Universität Wien, 1986.
- Wierzbicki, A., *A Mathematical Basis for Satisficing Decision Making*. in J.V. Morse (Ed.), *Organizations: Multiple Agents with Multiple Criteria*. Springer-Verlag, Berlin, 1981.