

# Energieumwandlung in Österreich 1955 bis 1980

## Ein Input-Output-Modell des Umwandlungssektors der Energiewirtschaft

Der Gedanke, mit Hilfe eines Input-Output-Modells die Verflechtung der Energieströme in einer Volkswirtschaft zu untersuchen, ist nicht neu. Die Arbeiten zu diesem Thema können kaum vollständig aufgezählt werden. Besondere Erwähnung verdienen die Pionierarbeit von Stone — Wigley (1968), die komplizierten Modelle der Harvard-Universität (z. B. Barnanke — Jorgenson, 1975, Jorgenson — Hudson, 1974), ein Beispiel der globalen Untersuchung der Energieproblematik für die ganze Welt (Fritsch — Codoni — Saugy, 1980), ein eher exotischer Fall einer Input-Output-Analyse des Energieeinsatzes für China (Chen Xikang, 1981) und — auf jeden Fall — zwei österreichische Arbeiten (Oetzl — Teufelsbauer, 1979, Lager — Teufelsbauer, 1981).

Der vorliegende Aufsatz ist ein Teilbericht über das im Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung laufende Projekt, ein Energie-Input-Output-Modell für Österreich zu erstellen und für Analyse- und Prognosezwecke zu verwenden. Das Projekt ist in zwei zum Teil komplementäre Studien gegliedert. In der ersten sollen die seit 1955 verfügbaren Energiebilanzen für Österreich voll ausgenutzt werden. Das Konzept dieses Teilmodells stützt sich auf einen Entwurf von Lager (1982). Das Energieumwandlungsmodell soll an eine Matrix des spezifischen Energieeinsatzes einzelner Wirtschaftsbereiche gekoppelt und schließlich an ein dynamisches Input-Output-Modell (Mitter — Skolka, 1980, Skolka, 1981, Hahn — Schmoranz, 1983) angeschlossen werden. Die Modellkette des ersten Teilprojekts hat gewisse Vorteile. Fast alle für die Analyse notwendigen Daten sind vorhanden, der Zeitverlauf der mit dem Modell berechneten Koeffizienten zwischen 1955 und 1980 kann analysiert werden, und die Ergebnisse lassen sich für Prognosezwecke verwenden. Der Anschluß an das Input-Output-Modell ist technisch einfach. Weiters ist vorgesehen, die vorhandenen Nutzenergiebilanzen einzubauen. Die Prognosen von künftigen Änderungen der Koeffizienten müssen sich, soweit es möglich sein sollte, auf die Ergebnisse des ersten Teilprojekts stützen.

Für Kosten- und Preisanalysen ist jedoch dieses Verfahren nicht ausreichend. Daher soll im Rahmen eines zweiten Teilprojekts ein anderes Energie-Input-Output-Modell erstellt werden, in dem die verfügbare Input-Output-Tabelle entsprechend den Bedürfnissen der Analyse der Energieverflechtung weiter disaggregiert wird. Dabei soll ein vorwiegend im IFO-Institut in

München (Beutel — Mürdter, 1981) entwickeltes, vom Statistischen Amt der Europäischen Gemeinschaften für mehrere Länder vereinheitlicht eingesetztes Energiemodell (Chantraine — Pecci-Boriani — Persenaire, 1982) verwendet werden. Dieses Modell kann jedoch nur für das Jahr, für das eine Input-Output-Tabelle vorliegt (in Österreich derzeit für 1976) konstruiert werden, und es müssen zusätzliche Daten erhoben werden.

In diesem Aufsatz wird der erste Abschnitt des ersten Teilprojekts, d. h. die Untersuchung der Energieumwandlung in Österreich behandelt. Zuerst wird das Energieumwandlungsmodell am Beispiel der Daten für 1976 erläutert, und danach wird der Zeitverlauf wichtiger, aus diesem Modell berechneter Koeffizienten zwischen 1955 und 1980 untersucht.

## Daten und Klassifikationen

In Österreich werden jährliche Energiebilanzen vom Österreichischen Statistischen Zentralamt (ÖStZ) und vom Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO) veröffentlicht. In beiden Bilanzen wird für die einzelnen Energieträger das Aufkommen (Importe und heimische Produktion) der Verwendungsmengenmäßig gegenübergestellt. Beide Bilanzen gliedern die Verwendung von Energie im wesentlichen in: Transformationseinsatz im Umwandlungssektor, Endverbrauch von Energie, Lagerveränderungen, Leitungsverluste und Exporte. In der WIFO-Bilanz sind die Umwandlungsbereiche eher funktionell (d. h. es werden nicht erzeugende bzw. beziehende institutionelle Einheiten, sondern Produktionsprozesse unterschieden), in der ÖStZ-Bilanz eher institutionell abgegrenzt.

In diesem Aufsatz gilt als "Endverbrauch" die Summe aus energetischem Verbrauch (Heizen, Beleuchten, Betreiben von Maschinen und Fahrzeugen) und nicht-energetischem Verbrauch der Letztbezieher (Einsatz von Energieträgern als Rohstoff in der chemischen Industrie, als Baustoff im Straßenbau und als Schmiermittel für den Betrieb von Motoren), zuzüglich des Eigenverbrauchs der Energieversorgungsunternehmen (z. B. Stromverbrauch der Kraftwerke zum Betreiben der Speicherpumpen, Energieverbrauch für die Förderung von Erdöl).

Vom Endverbrauch ist der Transformationseinsatz von Energie in Umwandlungsprozessen (z. B. Raffinerien, Kraftwerke) zu unterscheiden, bei denen Energieträger in andere Energieträger umgewandelt wer-

den (z. B. Einsatz von Rohöl in der Raffinerie zur Produktion von Benzin und Dieselöl).

Dem Begriff "Endverbrauch" der Energiebilanz steht der volkswirtschaftliche Begriff "Endnachfrage" gegenüber. Unter Endnachfrage versteht man den Verbrauch an allen Gütern und Dienstleistungen (einschließlich Energieträger) der privaten Haushalte (privater Konsum) und der öffentlichen Rechtsträger (öffentlicher Verbrauch) sowie die Lagerveränderungen, Investitionen und Exporte

Es wird zwischen "Primär-" und "Sekundärenergieträgern" unterschieden. Die Primärenergieträger werden keiner Umwandlung (Transformation) unterzogen, die Sekundärenergieträger entstehen als Ergebnis eines Energieumwandlungsprozesses. (In den Wasserkraftwerken erzeugt Strom ist ein Sekundärenergieträger, der durch eine Umwandlung des Primärenergieträgers "Wasserkraft" entstanden ist.)

Die Daten der Energiebilanzen werden in einer Bilanztafel geordnet, deren Schema in Übersicht 1 dargestellt wird. Diese Tafel besteht, ähnlich wie die Input-Output-Tabellen des revidierten Systems der Volkseinkommensrechnung (*United Nations*, 1968), aus zwei Matrizen. Die Makematrix zeigt, welche Sekundärenergieträger in welchem Ausmaß in welchen Energieumwandlungsprozessen produziert werden, die Absorptionsmatrix zeigt, welche Primär- und Sekundärenergieträger in welchem Ausmaß in diese Prozesse für Umwandlungszwecke eingesetzt werden. An die Absorptionsmatrix ist eine Matrix des Endverbrauchs angeschlossen.

In der Ausgangstafel wurden die Primär- und Sekundärenergieträger und die Energieumwandlungsprozesse wie folgt aufgeteilt:

1. *Primärenergieträger*: Steinkohle, Braunkohle, Abfälle, Holz, Torf, Erdöl, Erdgas, Wasserkraft, Rückstände;
2. *Sekundärenergieträger*: Koks, Briketts, Trockenkohle, Benzin, Gasöl, Heizöl, Petroleum, Flüssiggas, Sonstige Mineralölprodukte, Raffineriestgas, Stadtgas, Gichtgas, Kokereigas, Generatorgas, Fernwärme, Strom;
3. *Umwandlungsprozesse*: Wasserkraftwerke, Kalorische Kraftwerke der EVU, Kalorische Kraftwerke der Industrie, Fernwärmewerke, Gasgeneratoren, Gaswerke, Hochofen, Kokereien, Brikettserzeugung, Trockenkohleerzeugung, Raffinerie.

Da Briketts und Trockenkohle im Jahre 1976 nicht erzeugt wurden, sind in den Übersichten die entsprechenden Spalten und Zeilen weggelassen. Die Ausgangstafel der Untersuchung wurde auf folgende Weise erstellt: Zuerst wurde eine Bilanz in physikalischen Einheiten (kWh, Tonne usw.) berechnet. Dann wurde diese Bilanz mit Umrechnungsfaktoren (die sich zwischen 1955 und 1980 teilweise änderten) auf einen gemeinsamen Wärmewert (Joule) umgerechnet. Die Bilanz auf der Basis gemeinsamer Wärme-

werte schuf die Voraussetzung für die Berechnung der bei der Energieumwandlung entstehenden Transformationsverluste, die schließlich in der Tafel gesondert ausgewiesen wurden. Die Details der Ausgangstafel werden aus Platzgründen nicht wiedergegeben, das Schema der Ausgangstafel ist aber aus Übersicht 1 ersichtlich. Die Ausgangstafel bildet die Grundlage für die folgenden Berechnungen, die im Anhang mathematisch definiert sind

### Koeffizienten der Energieumwandlung

In der Ausgangstafel werden Inputs und Outputs der Energieumwandlung gegenübergestellt. Die Relationen zwischen ihnen können mit drei Typen von Koeffizienten beschrieben werden. Es handelt sich um die technischen Koeffizienten der Energieumwandlung, um die Marktanteile der Umwandlungsprozesse und um die Wirkungsgrade.

Die technischen Koeffizienten der Energieumwandlung sind in der Übersicht 2 dargestellt, sie wurden aus der Absorptionsmatrix berechnet (Matrizen  $U_{pt}$  und  $U_{st}$  in der Übersicht 1, siehe Matrizen bzw. Gleichung (2) im Anhang). Die Spalten der Übersicht 2 entsprechen den Energieumwandlungsprozessen, die Zeilen den Primär- und Sekundärenergieträgern. Die technischen Koeffizienten in den Spalten ermitteln die Struktur des Einsatzes verschiedener Energieträger in den Energieumwandlungsprozessen. Deren Summe ist, definitionsgemäß, gleich Eins. Ihre Bedeutung wird in zwei Beispielen erläutert: Der Umwandlungsprozeß "Wasserkraftwerke" verwendet nur einen einzigen Primärenergieträger ("Wasserkraft"), der entsprechende Koeffizient ist 1. Im Umwandlungsprozeß "Kalorische Kraftwerke der Industrie" wird eine Mischung von Primär- und Sekundärenergieträgern verwendet. Die Struktur ihres Einsatzes verteilte sich 1976 wie folgt (in Prozent):

0,02	Steinkohle
1,78	Braunkohle
3,29	Holz
41,12	Erdgas
0,41	Gasöl
33,62	Heizöl
9,63	Raffineriestgas
8,95	Gichtgas
1,18	Kokereigas

Die Summe der Anteile ergibt 100%.

Aus der Makematrix (siehe Übersicht 1, Matrix  $V_{is}$ ) wurden die "Marktanteile" der Umwandlungsprozesse am heimischen Aufkommen der Energieträger berechnet (Gleichung (3) im Anhang). Die Matrix der Marktanteile ist hier nicht wiedergegeben. Da die Energiebilanz so disaggregiert ist, daß fast alle Sekundärenergieträger in nur einem Umwandlungsprozeß entstehen, sind die meisten Anteile gleich 1. Die einzige Ausnahme ist Strom, der in drei Umwand-

Schema des Energieumwandlungsmodells

Übersicht 1

		Heimische Produktion		Transformations-einsatz in Umwandlungsprozessen	Verluste	Endverbrauch					Exporte minus Importe	Heimisches Aufkommen
		Primärenergie	Sekundärenergie			Industrie	Verkehr	Kleinabnehmer	Nichtenergetischer Verbrauch	Eigenverbrauch		
Verwendung von	Primärenergie			$U_{pi}$	$l_p$	$E_{pi}$	$k_p$	$c_p$	$d_p$	$v_p$	$-m_p$	$q_p$
	Sekundärenergie			$U_{st}$	$l_s$	$E_{sj}$	$k_s$	$c_s$	$d_s$	$v_s$	$-m_s$	$q_s$
	Output der Umwandlungsprozesse		$V_{is}$		$l_t$							$q_t$
	Primärenergie	$q_p$										
	Heimisches Aufkommen	$q_p$	$q_s$									$q_t$

lungsprozessen erzeugt wird. Diese Marktanteile betragen 1976 (in Prozent):

- 58,07 Wasserkraftwerke
- 32,50 Kalorische Kraftwerke der EVU
- 9,44 Kalorische Kraftwerke der Industrie

Durch Gegenüberstellung von Einsatz und Ausstoß der einzelnen Energieumwandlungsprozesse können Wirkungsgrade berechnet werden (Gleichungen (4) und (5) im Anhang) Die Wirkungsgrade der Energieumwandlungsprozesse betragen 1976 (in Prozent):

- 37,70 Kalorische Kraftwerke der EVU
- 35,40 Kalorische Kraftwerke der Industrie
- 73,10 Fernwärmewerke
- 85,20 Gasgeneratoren
- 98,10 Gaswerke
- 92,70 Kokereien
- 99,10 Raffinerien

Der Wirkungsgrad der Wasserkraftwerke beträgt ex definitione 80%. In den Hochöfen wurden statistisch keine Umwandlungsverluste erfaßt, Briketts und Trockenkohle wurden 1976 nicht erzeugt

**Verflechtung der Energieträger**

Die oben erläuterten Berechnungen der einfachen Koeffizienten konnten bereits bisher direkt mit den

Daten der Energiebilanzen durchgeführt werden Sie allein würden den Aufbau des Energieumwandlungs-Input-Output-Modells nicht rechtfertigen. Das Modell hat den Vorteil, mit mathematischen Operationen (unter gewissen Annahmen) die Umwandlungsprozesse ausschalten und Inputs und Outputs von Energieträgern direkt verflechten zu können. Diese Operationen sind im Anhang erläutert (Gleichungen (6) bis (9)). In dieser Erläuterung werden zunächst die kumulativen Inputkoeffizienten, die sogenannten Multiplikatoren, abgeleitet, und aus dieser Matrix konnten durch Re-Inversion die direkten Inputkoeffizienten, die die Verflechtungen der Energieträger darstellen, ermittelt werden. Bei der Darstellung wird hier jedoch mit den direkten Inputkoeffizienten begonnen, und erst danach werden die kumulativen Inputkoeffizienten, die Multiplikatoren, erläutert.

Die direkten Inputkoeffizienten zeigen, wieviele Wärmeinheiten eines Energieträgers direkt zur Erzeugung einer Wärmeinheit des gleichen oder eines anderen Energieträgers eingesetzt werden müssen. Der Energieverbrauch der Energieversorgungsunternehmen wird dabei nicht berücksichtigt, er gilt nicht als Endverbrauch. Die Umwandlungs- und Fortleitungsverluste wurden proportional zugerechnet. Die voll-

ständige Tabelle der direkten Inputkoeffizienten kann sowohl vertikal als auch horizontal in Primär- und Sekundärenergieträger gegliedert werden, wodurch vier Quadranten entstehen (siehe auch Gleichung (9) im Anhang). Der erste Quadrant zeigt die Zusammenhänge zwischen den Inputs und Outputs der Primärenergie (siehe Gleichung (9c) im Anhang), der zweite die Zusammenhänge zwischen den Inputs an Sekundärenergie und den Outputs an Primärenergie. Da der Energieverbrauch der Energieversorgungsunternehmen dem Endverbrauch zugerechnet wird, bleiben beide Quadranten leer, abgesehen von den im ersten Quadranten ausgewiesenen Leitungsverlusten an Erdgas (Einsatz von Erdgas in die Erzeugung von Erdgas). Der dritte und vierte Quadrant der Matrix, die direkten Inputkoeffizienten der Sekundärenergieträger für Österreich 1976, werden in Übersicht 3 dargestellt. Der dritte Quadrant zeigt die direkten Inputkoeffizienten des Einsatzes von Primärenergieträgern zur Erzeugung von Sekundärenergie (siehe auch Gleichung (9a) im Anhang). Es gibt Sekundärenergieträger, für deren Erzeugung im wesentlichen nur ein Primärenergieträger benötigt wird, und Sekundärenergieträger, für deren Erzeugung mehrere Primärenergieträger erforderlich sind. Zum Beispiel wurde 1976 für die Erzeugung von Generatorgas ausschließlich Braunkohle benötigt (1,17 Joule Braunkohleinput für 1 Joule Generatorgasoutput), dagegen müssen für die Erzeugung von Fernwärme und elektrischem Strom mehrere Primärenergieträger und außerdem einige Sekundärenergieträger eingesetzt werden. Um eine Einheit Fernwärme erzeugen zu können, brauchte man 1976 folgende Einheiten Primärenergie:

0,2776 Braunkohle  
 0,1960 Erdgas  
 0,1464 Abfälle  
 0,0275 Steinkohle

Für die Erzeugung von einer Einheit Strom war 1976 folgender Primärenergieeinsatz notwendig:

0 7294 Wasserkraft  
 0 4037 Erdgas  
 0,2831 Braunkohle  
 0,0088 Abfälle  
 0,0028 Steinkohle

Der vierte Quadrant der Matrix der direkten Inputkoeffizienten zeigt die Verflechtung der Sekundärenergieträger (Gleichung (9b) im Anhang) bzw. die Umwandlung eines bereits umgewandelten Energieträgers in einen anderen umgewandelten Energieträger. Einfach ist die Struktur des Einsatzes der Sekundärenergie in die Erzeugung von Kokereigas (0,0283 Gichtgas, 0,0045 Kokereigas), in die Erzeugung von Stadtgas (0,0195 Benzin, 0,1341 Flüssiggas und 0,0941 Stadtgas) und in die Fernwärmeerzeugung (0,0008 Flüssiggas und — der wichtigste direkte Input — 0,7201 Heizöl). Vielfältig ist die Struktur

der Inputs der Sekundärenergie in der Stromerzeugung:

0,3754 Heizöl  
 0 0614 Strom (Leitungsverluste)  
 0 0257 Raffineriestgas  
 0 0238 Gichtgas  
 0 0031 Kokereigas  
 0,0022 Gasöl

Bei allen diesen Werten handelt es sich um Inputs von sowohl heimisch erzeugter als auch importierter Energie. Die Bilanzen unterscheiden nicht zwischen dem Einsatz von heimisch erzeugter und importierter Energie. Auch in einer konventionellen Input-Output-Tabelle ist die Trennung der heimisch produzierten und importierten Warenströme schwierig, aber dank der Inhomogenität der Produktion der einzelnen Wirtschaftsbereiche meist möglich. Die Energieträger sind hingegen sehr homogen, und es ist oft ausgeschlossen, zwischen dem Einsatz der heimisch erzeugten und der importierten Energie zu unterscheiden (z. B. Heizöl, Strom).

Deswegen wird auch in den Koeffizienten der Übersichten 2 und 3 nicht zwischen heimischer und importierter Energie unterschieden. Werden aber aus der Matrix der direkten Inputkoeffizienten die kumulativen Inputkoeffizienten berechnet, wird aus dieser unausweichlichen Schwäche der Statistik ein konzeptuelles Problem. Die kumulativen Koeffizienten der Matrix-Inversen ermitteln die Verflechtung des Energieeinsatzes unter der Annahme, daß die importierte Energie im Ausland mit der inländischen Technologie erzeugt wird. Bei den Primärenergieträgern verursacht diese Annahme keine Probleme. Diese brauchen keine Energieinputs. Problematisch wird aber diese Annahme bei der Produktion von Sekundärenergie aus Sekundärenergie. Wird ein Teil der Sekundärenergieträger importiert, werden für diese Importe im Inland keine Energieinputs benötigt, sie werden durch die Importe der Sekundärenergie "erspart".

Welche Art von Koeffizienten (ob heimische oder kumulative) nun zu verwenden ist, hängt, abgesehen von ihrer Verfügbarkeit, von der jeweiligen Fragestellung ab. Will man mittel- oder langfristige Phänomene analysieren oder Prognosen erstellen, so ist die Stabilität der zugrunde gelegten Parameter Voraussetzung, und es sind daher die Inputkoeffizienten ohne Trennung nach der Herkunft zu verwenden. Will man kurzfristige Auswirkungen auf die heimische Produktion oder cost-push-bedingte Preiseffekte simulieren, so ist die zusätzliche Kenntnis der Importquoten notwendig. In dieser Arbeit wurde zunächst versucht, die technologischen Zusammenhänge im Umwandlungssektor der Energiewirtschaft zu beschreiben. Es wurden daher unbeschadet der Herkunft der Energieträger die kumulativen Inputkoeffizienten verwendet. Die kumulativen Inputkoeffizienten sind in der Übersicht 4 dargestellt. Die Übersicht enthält, um Doppel-

Übersicht 2

Technische Koeffizienten der Energieumwandlung in Österreich 1976

	Wasserkraft- werke	Wärme- kraftwerke EVU	Industrie	Fernwärme- werke	Gas- generatoren	Gaswerke	Hochofen	Kokerei	Raffinerie
<i>Primärenergieträger</i>									
Steinkohle		0 0032	0 0002	0 0201				0 9690	
Braunkohle		0,3229	0 0178	0 2029	1 0000				
Abfälle		0 0000	0 0329	0 1070					
Holz									
Torf									
Erdöl									0 9843
Erdgas		0,3412	0 4112	0 1432		0 8494		0 0047	
Wasserkraft	1 0000								
Rückstände									0 0157
<i>Sekundärenergieträger</i>									
Koks							1 0000		
Benzin						0 0191			
Gasöl		0,0013	0 0041						
Heizöl		0,3315	0,3362	0 5262					
Petroleum									
Flüssiggas				0 0006		0 1315			
Sonstige Mineralölprodukte									
Raffinerierestgas			0 0963						
Stadtgas									
Gichtgas			0 0895					0 0263	
Kokereigas			0 0118						
Generatorgas									
Fernwärme									
Strom									
Insgesamt	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000

zählungen zu vermeiden, nur Angaben über die kumulativen Inputs an Primärenergie. Der obere Teil der Übersicht enthält die kumulativen Inputkoeffizienten für die Primärenergie (sie wurden nach der Gleichung (8c) im Anhang berechnet), der untere Teil die kumulativen Inputkoeffizienten von Primärenergie für die Erzeugung von Sekundärenergie (diese Werte wur-

den entsprechend der Gleichung (8b) im Anhang berechnet).

So bedeuten die Zahlen in der Spalte "Fernwärme", daß für eine Lieferung von 1 Joule Fernwärme an den Energieendverbraucher oder an Außenhandel und Lager folgende Mengen an Primärenergie benötigt werden (in Joule):

Übersicht 3

Direkte Inputkoeffizienten der Sekundärenergieträger in Österreich 1976

	Koks	Mineralöl- produkte	Stadtgas	Sekundärenergieträger				Fernwärme	Strom
				Gichtgas	Kokereigas	Generatorgas			
<i>Primärenergieträger</i>									
Steinkohle	1 0450				1 0450		0 0275	0 0028	
Braunkohle						1 1734	0 2776	0 2831	
Abfälle							0 1464	0 0088	
Holz									
Torf									
Erdöl		0,9930							
Erdgas	0 0050		0 8659		0 0050		0 1960	0 4037	
Wasserkraft								0 7294	
Rückstände		0 0159							
<i>Sekundärenergieträger</i>									
Koks					1 0000				
Benzin			0 0195						
Gasöl								0 0022	
Heizöl							0 7201	0,3754	
Petroleum									
Flüssiggas			0 1341				0 0008		
Sonstige Mineralölprodukte									
Raffinerierestgas								0 0257	
Stadtgas			0 0941						
Gichtgas	0 0283			0 0962	0 0283			0 0238	
Kokereigas					0 0045			0 0031	
Generatorgas									
Fernwärme									
Strom								0,0614	
Insgesamt	1 0763	1 0089	1 1136	1 0962	1 0928	1 1734	1,3684	1 9194	

**Multiplikatoren der Energieumwandlung in Österreich 1976**

	Primärenergieträger								
	Steinkohle	Braunkohle	Abfälle	Holz	Torf	Erdöl	Erdgas	Wasserkraft	Rückstände
Steinkohle	1 0000								
Braunkohle		1 0000							
Abfälle			1 0000						
Holz				1 0000					
Torf					1 0000				
Erdöl						1 0000			
Erdgas							1 0163		
Wasserkraft								1 0000	
Rückstände									1 0000
Primärenergieträger insgesamt	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000

  

	Sekundärenergieträger								
	Koks	Mineralölprodukte	Stadtgas	Gichtgas	Kokereigas	Generatorgas	Fernwärme	Strom	
Steinkohle	1 0788			1 1935	1 0837		0 0275	0 0369	
Braunkohle						1 1734	0 2776	0 3016	
Abfälle							0 1464	0 0093	
Holz									
Torf									
Erdöl		0 9930	0 1683				0 7159	0 4266	
Erdgas	0 0053		0 9714	0 0058	0 0053		0 1992	0 4372	
Wasserkraft								0 7771	
Rückstände		0 0159	0 0027				0 0114	0 0088	
Primärenergieträger insgesamt	1 0841	1 0089	1 1424	1 1993	1 0890	1 1734	1 3780	1 9955	

- 0,7159 Erdöl
- 0,2776 Braunkohle
- 0 1992 Erdgas
- 0 1464 Abfälle
- 0 0275 Steinkohle
- 0 0114 Rückstände

0,0068 Rückstände  
 1 9955 Primärenergie insgesamt  
 Das bedeutet, daß zur Produktion von 1 Joule elektrischer Energie insgesamt 2 Joule Primärenergie aufgewendet werden mußten, das entspricht einem kumulativen Wirkungsgrad von 50%.

Diese Werte gelten unter der Annahme, daß die zur Erzeugung der Fernwärme benötigte importierte Sekundärenergie (aus der Übersicht 3 kann man ersehen, daß es sich praktisch nur um Heizöl handeln kann) mit der inländischen Technologie produziert wird. Es ist auch interessant, die Summe der direkten Inputkoeffizienten der Primärenergie (Übersicht 3) mit der der kumulativen Inputkoeffizienten (Übersicht 4) zu vergleichen. Die Unterschiede zeigen die Verluste, die in den eingesetzten Sekundärenergieträgern stecken. Die Summe der kumulativen Inputkoeffizienten für die Fernwärme ergibt 1,3780, d. h. für die Lieferung von 1 Joule Fernwärme an den Energieendverbrauch wird ein Einsatz von etwa 1,38 Joule an Primärenergie notwendig. Die Differenz des Wertes des Multiplikators zu Eins ermittelt dann das Ausmaß der kumulierten Umwandlungsverluste. In gleicher Weise können auch die Multiplikatoren für Koks, Stadtgas, Gichtgas, Kokereigas und Generatorgas interpretiert werden.

Die Summe dieser Werte darf auf diese Weise nur für ein gegebenes Jahr interpretiert werden, weil Strom in Österreich mit zwei sehr verschiedenen Technologien erzeugt wird. Bei dem in den Wasserkraftwerken erzeugten Strom (58,07% der Gesamtproduktion) wird angenommen, daß die Wasserkraft zu etwa 80% ausgenützt wird. Die Summe der Multiplikatoren für verschiedene Einsätze von Primärenergie in den kalorischen Kraftwerken ist gleich 1,2184. In kalorischen Kraftwerken wurden im Jahr 1976 41,93% des Stroms erzeugt. Aus den Angaben der Übersicht 4 ergibt sich ein Multiplikator für die Wasserkraft von 1,3382 und für die Wärmekraft von 2,9058.

Ein besonderer Fall sind die Umwandlungsmultiplikatoren der Stromerzeugung. Je Einheit (1 Joule) war 1976 folgender Primärenergieeinsatz notwendig:

Mit Hilfe dieser Multiplikatoren kann der Primärenergiegehalt des Endverbrauchs berechnet und ein Bild über den kumulativen Energiegehalt nach Endnachfragekomponenten ermittelt werden.

- 0 7771 Wasserkraft
- 0,4372 Erdgas
- 0,4266 Erdöl
- 0,3016 Braunkohle
- 0,0369 Steinkohle
- 0,0093 Abfälle

**Die Koeffizienten der Energieumwandlung im Zeitprofil**

Im ersten Teil der Untersuchung wurde gezeigt, wie man die Koeffizienten der Energieumwandlung (direkte Inputkoeffizienten, Marktanteile der Umwandlungsprozesse und Wirkungsgrade) sowie die Koeffizienten für die Verflechtung von Energieinputs und

-outputs (kumulative Inputkoeffizienten) ermittelt, wie groß diese Koeffizienten im Jahr 1976 waren, und wie die Ergebnisse zu interpretieren sind. Im folgenden Abschnitt werden für einige dieser Koeffizienten Zeitreihen berechnet und die Ergebnisse im Zeitprofil analysiert

Zwischen 1955 und 1973 waren das kräftige Wirtschaftswachstum und die starke Erhöhung der Realeinkommen mit einem steilen Anstieg des Energieverbrauchs verbunden (Gesamtenergieverbrauch 1955 414 PJ, 1973 915 PJ, Steigerung 121%). Die zunehmende Automatisierung und Technisierung der Produktion, die technologischen Änderungen im Schienenverkehr, die zunehmende Motorisierung und die infolge des steigenden Wohnkomforts vermehrten Installationen bequemerer Heizsysteme erforderten in steigendem Maße höherwertige, in der Regel umgewandelte Energieträger (auch abgeleitete Energieträger oder Sekundärenergieträger genannt). Der Energieendverbrauch (hier definiert als die Summe des energetischen und nichtenergetischen Verbrauchs der Industrie, des Verkehrs, der Kleinabnehmer und der Energieversorgungsunternehmen, vermehrt um die Leitungsverluste) von Primärenergieträgern ging zurück (1955 155 PJ, 1973 130 PJ, 1955/1973 —16%), der Verbrauch von abgeleiteten Energieträgern stieg auf das Dreifache (1955 217 PJ, 1973 680 PJ, 1955/1973 +213%). Der Anteil der Primärenergieträger am Endverbrauch sank von 42% (1955) auf 16% (1973). Die heimischen Energieversorgungsunternehmen paßten sich dieser Entwicklung an und errichteten die zur Deckung der stürmisch wachsenden Nachfrage nach abgeleiteten Energieträgern (Endverbrauch Mineralölprodukte 1955 68 PJ, 1973 447 PJ, 1955/1973 +557%; Endverbrauch elektrischer Strom 1955 35 PJ, 1973 107 PJ, 1955/1973 +206%) erforderlichen Umwandlungsanlagen. Dennoch konnte nicht verhindert werden, daß der Anteil der aus dem Ausland eingeführten abgeleiteten Energieträger zunahm. Die Erzeugung abgeleiteter Energieträger im Inland erhöhte die heimische Wertschöpfung fühlbar, brachte aber gleichzeitig in der Energiebilanz Umwandlungsverluste. Ein umgewandelter Energieträger ist in der Regel qualitativ wertvoller (für bestimmte Verwendungszwecke besser geeignet) als der zu seiner Erzeugung erforderliche Energieträger, hat aber, bloß an seinem physikalischen Wärmewert gemessen, einen geringeren Energiegehalt. Die Umwandlungsverluste (1955 41 PJ, 1973 104 PJ, 1955/1973 +154%) stiegen etwas rascher als der Endverbrauch (1955 372 PJ, 1973 811 PJ, 1955/1973 +118%), was auch den Gesamtenergieverbrauch erhöhte (1955 414 PJ, 1973 915 PJ, 1955/1973 +121%).

Nach 1973 änderte sich die Entwicklung schlagartig. Die zweimalige starke Erhöhung der Energiepreise in den siebziger Jahren führte zu einem deutlichen Knick im Wirtschaftswachstum, zu einer deutlichen

Verlagerung der Produktion von den energieintensiven Branchen zu den weniger intensiven, zu einer fühlbaren Rationalisierung des Energieeinsatzes, zur sparsameren Energieverwendung und zur vermehrten Nutzung unkonventioneller Energieträger (z. B. Abfälle). Obwohl das reale Brutto-Inlandsprodukt noch merklich stieg, war der Energieendverbrauch 1982 nur etwa gleich groß wie 1973 (1973 811 PJ, 1982 815 PJ, 1973/1982 +0%). Die Struktur des Energieendverbrauchs änderte sich stark: Die Nachfrage nach abgeleiteten Energieträgern ging zurück (1973 680 PJ, 1982 628 PJ, 1973/1982 —8%), die Nachfrage nach primären Energieträgern nahm kräftig zu (1973 130 PJ, 1982 187 PJ, 1973/1982 +44%). Die Strukturverschiebung war eine Folge der Substitutionsprozesse auf dem Wärmesektor und der unterschiedlichen Nachfrageentwicklung in den einzelnen Verwendungsbereichen. Es gibt Bereiche, wie den Wärmesektor, mit heftiger Substitutionskonkurrenz zwischen den einzelnen Energieträgern und nicht konkurrierende Bereiche praktisch ohne Verdrängungswettbewerb (z. B. Koks für die Eisenerzeugung, elektrischer Strom für die Aluminiumerzeugung, Treibstoffe, Schmiermittel). Die relativ geringen Mengen Primärenergie im Endverbrauch werden fast ausschließlich für Heiz- und Wärmezwecke benötigt, für die übrigen Verwendungszwecke (z. B. mechanische Arbeit, Beleuchtung, Elektrochemie) kommen fast ausschließlich abgeleitete Energieträger zum Einsatz. Für Wärmezwecke wurde 1982 weniger Energie benötigt als 1973, für sonstige Verwendungszwecke mehr. Dennoch verschob sich die Struktur des Energieendverbrauchs von den abgeleiteten zu den primären Energieträgern. Der Beitrag der primären Energieträger zur Deckung des Wärmebedarfs nahm zu und der Beitrag der abgeleiteten Energieträger ab. Der Rückgang der Nachfrage nach abgeleiteten Energieträgern für die Wärmeerzeugung konnte vom Anstieg der Nachfrage nach abgeleiteten Energieträgern in den übrigen Verwendungsbereichen nicht kompensiert werden.

Die Entwicklung war aber nicht bei allen abgeleiteten Energieträgern gleich. Nach 1973 bemühten sich die Konsumenten, den Energieverbrauch insgesamt und besonders den Einsatz des teuren Heizöls einzuschränken. Der Heizölabsatz ging tatsächlich stark zurück (1973 330 PJ, 1982 259 PJ, 1973/1982 —22%) und wurde durch (vor allem importiertes) Erdgas substituiert (1973 75 PJ, 1982 118 PJ, 1973/1982 +57%). Das Erdgas hat für den Verbraucher günstige Eigenschaften (z. B. leichte Regulierbarkeit, guter Wirkungsgrad der Gasgeräte, geringe Schadstoffemissionen), und die Umstellung der Heizanlagen auf Erdgasfeuerung brachte in der Regel beachtliche Kostenvorteile. Außerdem wurde Heizöl durch die Primärenergieträger Brennholz (1973 26 PJ, 1982 34 PJ, 1973/1982 +31%) und brennbare Abfälle (1973 2 PJ,

Übersicht 5

Entwicklung der Energieumwandlung insgesamt

	Energieumwandlung		Wirkungsgrad in %
	Input in PJ	Output	
1955	296,5	241,0	81,3
1956	306,8	247,9	80,8
1957	319,2	263,8	82,7
1958	294,5	245,6	83,4
1959	302,3	246,5	81,6
1960	322,6	263,5	81,7
1961	338,4	270,9	80,0
1962	366,3	293,0	80,0
1963	393,2	311,5	79,2
1964	428,4	338,1	78,9
1965	438,2	359,4	82,0
1966	455,2	372,1	81,7
1967	464,6	382,3	82,3
1968	502,4	414,2	82,4
1969	537,8	434,5	80,8
1970	590,3	495,8	84,0
1971	655,3	547,3	83,5
1972	685,6	575,4	83,9
1973	741,0	620,8	83,8
1974	720,7	608,4	84,4
1975	692,5	582,8	84,2
1976	753,1	617,4	82,0
1977	716,5	595,8	83,1
1978	766,7	643,9	84,0
1979	819,5	690,6	84,3
1980	806,4	680,1	84,3
1981	742,8	621,5	83,7
1982	690,8	575,1	83,3

1982 11 PJ, +450%) verdrängt Heizöl, Trockenkohle (Einstellung der Produktion) und Stadtgas (Umstellung auf Erdgasversorgung) waren die abgeleiteten Energieträger, deren Absatz zwischen 1973 und 1982 schrumpfte, der Treibstoffabsatz und der Verbrauch von elektrischem Strom und Fernwärme nahmen zu (Mineralölprodukte insgesamt 1973 447 PJ, 1982 384 PJ, 1973/1982 -14%; elektrischer Strom 1973 107 PJ, 1982 139 PJ, 1973/1982 +30%; Fernwärme 1973 9 PJ, 1982 17 PJ, 1973/1982 +89%).

Die heimischen Energieversorgungsunternehmen paßten sich der geänderten Endnachfrage nach abgeleiteten Energieträgern rasch an. Sie standen zeitweise unter starkem Konkurrenzdruck aus dem Ausland und unter Kostendruck (Heizölpreis), konnten aber auf dem kleiner werdenden Markt Anteile gewinnen. Die Importe abgeleiteter Energieträger sanken deutlich stärker als die inländische Erzeugung. Die insgesamt rückläufige inländische Erzeugung entwickelte sich je nach abgeleitetem Energieträger unterschiedlich: Die Erdölverarbeitung ging zurück und verlagerte sich stark von den Heizölen zu den Treibstoffen, die Erzeugung von elektrischem Strom und Fernwärme nahm zu. Wiewohl die Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung viel größer sind als bei der Erzeugung von Mineralölprodukten, waren die Umwandlungsverluste insgesamt 1982 nur knapp so hoch wie 1973 (1973 104 PJ, 1982 103 PJ, 1973/1982 -0%). Das erklärt sich vor allem aus der starken Verschiebung der Produktionsstruktur in der Elektrizitätswirtschaft zugunsten der Wasserkraftwerke und zuungunsten der Wärmekraftwerke. (Die Kapazität der Wasserkraftwerke wurde seit 1973 stark erweitert, und Wasserkraftwerke erzeugen, wie oben gezeigt, elektrischen Strom mit viel geringeren Umwandlungsverlusten als Wärmekraftwerke.)

1982 ging etwa gleich viel Energie in den Endverbrauch wie 1973, und gleich viel Energie ging bei der Energieumwandlung verloren wie 1973. Trotz realen Wirtschaftswachstums nahm somit auch der Gesamtenergieverbrauch (Summe aus Endverbrauch und Umwandlungsverlusten) nicht zu (1973 915 PJ, 1982 918 PJ, 1973/1982 +0%).

Wirkungsgrad der Energieumwandlung insgesamt nur wenig verändert

Die Struktur der Energieumwandlung hat sich im Zeitablauf stark verschoben. Dank technischen Neuerungen konnte der Wirkungsgrad in den einzelnen Umwandlungsprozessen deutlich verbessert werden. Dennoch hat sich der durchschnittliche Wirkungsgrad der Energieumwandlung insgesamt nur sehr wenig verändert (siehe Übersicht 5). Im folgenden wird zwischen dem technischen Wirkungsgrad und dem adaptierten Wirkungsgrad unterschieden. Der technische Wirkungsgrad mißt das Verhältnis zwischen dem Energieausstoß und dem direkten Energieeinsatz in einem Umwandlungsprozeß, der adaptierte Wirkungsgrad das Verhältnis zwischen dem Energieausstoß und dem kumulativen (direkten und indirekten) Energieeinsatz in einem Umwandlungsprozeß einschließlich der Leitungsverluste. 1955 betrug der Wirkungsgrad<sup>1)</sup> der Energieumwandlung insgesamt 81%, 1973 84% und 1982 83% (d. h. je Einheit erzeugten abgeleiteten Energieträgers waren im Durchschnitt 1,20 Einheiten Energie als Einsatz erforderlich, im Durchschnitt gingen bei der Energieumwandlung 17% der eingesetzten Energie verloren, und der Wärmewert des neuen abgeleiteten Energieträgers betrug 83% des für seine Erzeugung erforderlichen Energieeinsatzes).

Der nur geringe Unterschied der Wirkungsgrade in den Jahren 1955 und 1973 erklärt sich im wesentlichen daraus, daß der Anteil der Stromerzeugung und der Anteil der Mineralölprodukterzeugung an der Energieumwandlung stark zugenommen hat. Die Stromerzeugung ist mit sehr hohen Umwandlungsverlusten verbunden, die Erdölverarbeitung mit sehr geringen. Der wachsende Stromanteil hätte per Saldo den durchschnittlichen technischen Wirkungsgrad der Energieumwandlung stärker gedrückt, wäre es

<sup>1)</sup> Im folgenden Text und in den Übersichten 5 und 6 wird die Spaltensumme der direkten Inputkoeffizienten als direkter Inputkoeffizient bezeichnet, dessen reziproker Wert als Wirkungsgrad

nicht gelungen, den Energieeinsatz für die Stromerzeugung deutlich zu verbessern. Es ist möglich, daß auch statistische Ungenauigkeiten eine deutlichere Besserung des durchschnittlichen Wirkungsgrades verdeckt haben. Die Verschlechterung des durchschnittlichen Wirkungsgrades zwischen 1955 und 1964 bzw. die Verbesserung zwischen 1964 und 1973 erklärt sich aus dem unterschiedlichen Wachstumstempo von Stromerzeugung und Erdölverarbeitung und aus der in beiden Perioden unterschiedlichen Verbesserung des Wirkungsgrades der Stromerzeugung.

Der Umstand, daß sich der direkte Inputkoeffizient zwischen 1973 und 1982 nicht geändert hat, war gleichfalls eine Folge der Entwicklung in der Elektrizitäts- und Mineralölwirtschaft. Die energiewirtschaftlich "günstigere" (weil mit geringeren Umwandlungsverlusten verbundene) Erdölverarbeitung ging zurück, die "ungünstigere" Stromerzeugung nahm zu. Das hätte den durchschnittlichen Wirkungsgrad fühlbar verschlechtern müssen. Gleichzeitig verbesserte sich aber der Wirkungsgrad der Stromerzeugung so stark, daß es zu keiner Änderung des direkten Inputkoeffizienten kam.

Von den bei der Energieumwandlung in den Umwandlungsbetrieben entstehenden Verlusten (z. B. Verluste bei der Stromerzeugung oder bei der Erdölverarbeitung) sind die bei der Nutzenanwendung der Energie auftretenden Verluste (z. B. Verluste bei der Erzeugung von Raumwärme oder beim Betrieb von Motoren) zu unterscheiden. Nach der Nutzenergiebilanz 1978 des österreichischen Statistischen Zentralamtes für 1978 und einer Untersuchung des Institutes über die Bewertung energiepolitischer Maßnahmen werden nur 50% der insgesamt eingesetzten Energie genutzt.

Fast zwei Drittel aller Verluste (64%) entstehen bei der Nutzung im Endverbrauch (technischer Wirkungsgrad 62%), ein Viertel (26%) bei der Energieumwandlung (technischer Wirkungsgrad 85%), und 10% werden von den Energieversorgungsunternehmen selbst benötigt oder gehen beim Transport der Energie verloren. Es besteht die Absicht, in das geplante Energie-Input-Output-Prognosemodell zusätzlich zu dem Modell für den Umwandlungssektor auch ein Modell der Energienutzung im Endverbrauch (basierend auf Nutzenergiebilanzen, die die Verluste beim Letztverbraucher berücksichtigen) einzubauen.

#### Deutlicher Fortschritt in der Energienutzung in den einzelnen Umwandlungsprozessen

In fast allen Umwandlungsprozessen ist der direkte Inputkoeffizient gesunken. In der Regel konnte das Verhältnis zwischen dem Energieeinsatz und dem Energieausstoß deutlich verbessert werden. In Über-

#### Übersicht 6

#### Entwicklung der direkten Inputkoeffizienten der Sekundärenergieträger

	Koks	Mineralölprodukte	Stadtgas	Gichtgas	Kokereigas	Generatortgas	Fernwärme	Strom
Summe der direkten Inputkoeffizienten je Sekundärenergieträger								
1955	0,8230	1,0078	2,4088	1,1032	0,8353	1,1004		2,0948
1956	0,8353	1,0659	2,3213	1,0982	0,8477	1,0993		2,0934
1957	0,8581	1,0132	2,2079	1,1177	0,8897	1,1141		2,0483
1958	0,8684	1,0177	1,9557	1,1206	0,8807	1,1312		1,8867
1959	0,8854	1,0067	1,7569	1,1064	0,8938	1,1080		1,9840
1960	0,9126	1,0007	1,7002	1,1169	0,9176	1,1665		1,9451
1961	0,9267	0,9903	1,6572	1,1228	0,9302	1,2137		2,0454
1962	0,9026	1,0045	1,7090	1,0968	0,9066	1,2333		2,0523
1963	0,8980	1,0044	1,7298	1,0922	0,9016	1,2589		2,1249
1964	0,9134	1,0141	1,6693	1,0876	0,9197	1,2784		2,0943
1965	0,9331	0,9954	1,5805	1,0854	0,9331	1,2326		1,8956
1966	0,9409	0,9957	1,5656	1,0822	0,9447	1,2778		1,8835
1967	0,9442	0,9937	1,4859	1,0841	0,9481	1,3029		1,8684
1968	0,9686	0,9941	1,4243	1,0745	0,9725	1,2042		1,8882
1969	1,0206	0,9928	1,2608	1,0537	1,0246	1,1468		2,0151
1970	1,0595	0,9785	1,1368	1,0526	1,0673	1,1075	0,8091	1,8484
1971	1,0487	0,9807	1,1202	1,0945	1,0567	1,1354	0,6807	2,0379
1972	1,0688	0,9806	1,1060	1,0763	1,0761	1,0741	0,7567	2,0269
1973	1,0678	0,9853	1,0973	1,0768	1,1067	1,0737	1,4147	1,9752
1974	1,0737	0,9825	1,0965	1,0871	1,0779	1,0740	1,5376	1,8375
1975	1,0874	0,9824	1,1063	1,0773	1,0923	1,1682	1,4215	1,7958
1976	1,0783	1,0089	1,1135	1,0962	1,0828	1,1734	1,3684	1,9193
1977	1,0893	1,0073	1,1186	1,0715	1,0945	1,1641	1,2541	1,7684
1978	1,0853	1,0067	1,0749	1,0315	1,0903	1,1741	1,2977	1,7745
1979	1,0928	1,0076	1,0894	1,0207	1,0982	1,3300	1,2652	1,7576
1980	1,0878	1,0054	1,0866	1,0208	1,0930		1,2858	1,7164

sicht 6 werden die direkten Inputkoeffizienten für die wichtigsten im Inland erzeugten Sekundärenergieträger im Zeitablauf gezeigt. Nicht ausgewiesen sind die Koeffizienten für Briketts und Trockenkohle, deren Erzeugung schon vor längerer Zeit eingestellt wurde (Brikettserzeugung 1958, Trockenkohlerzeugung 1975). Zum Teil kann man aus Übersicht 6 auch statistische Schwachstellen der österreichischen Energiebilanz erkennen (Inputkoeffizient < 1). Im Jahr 1955 war für die Erzeugung von einer Wärmeinheit Mineralölprodukte ein Energieeinsatz von 1,008 Einheiten erforderlich, im Jahr 1980 betrug der direkte Inputkoeffizient 1,005. Der Wirkungsgrad der heimischen Raffinerien verbesserte sich von 99,2% auf 99,5%. (Gemessen an den physikalischen Werten der einzelnen Energieträger betragen die Verluste in der Erdölverarbeitung 0,9%, und der Wirkungsgrad der Raffinerie lag 1980 bei 99,1%.) Im Jahr 1961 und von 1965 bis 1975 weist die Statistik allerdings einen technisch nicht möglichen Wirkungsgrad von über 100% aus (siehe Übersicht 7). Das erklärt sich aus Schwierigkeiten bei der Ermittlung der tatsächlichen Heizwerte für Erdöl und Mineralölprodukte. Ähnliches gilt auch für den Wirkungsgrad der Kokserzeugung, wo der Heizwert des in der Kokerei erzeugten Koks und Kokereigases lange Zeit überbewertet wurde bzw. statistisch nicht genau erfaßt werden konnte. Mit der Verbesserung der Statistik werden nun auch realistische Umwandlungsverluste ausgewiesen. Stark verbessert hat sich der Wirkungsgrad der Stadtgaserzeugungs-

Übersicht 7

Wirkungsgrade der Umwandlungsprozesse

	Wasserkraftwerke	Wärme- kraftwerke		Fern- wärme- werke	Gas- genera- toren	Gas- werke	Kokerei	Raffi- nerie
		EVU	Industrie					
					in %			
1955	79,6	24,3	24,2		90,9	42,7	121,5	99,2
1956	79,6	25,0	22,6		91,0	44,5	119,7	93,8
1957	79,6	24,2	25,5		89,8	46,8	116,5	98,7
1958	79,6	23,8	31,6		88,4	53,6	115,2	98,3
1959	79,6	25,3	29,5		90,3	59,2	112,9	99,3
1960	79,6	25,3	32,6		85,7	61,3	109,6	99,9
1961	79,6	26,2	31,0		82,4	63,0	107,9	101,0
1962	79,6	28,0	29,7		81,1	60,7	110,8	99,5
1963	79,6	28,6	28,1		79,4	60,3	111,4	99,6
1964	79,6	29,4	28,3		78,2	62,7	109,5	98,6
1965	79,6	29,6	31,5		81,1	66,9	107,2	100,5
1966	79,6	47,1	18,1		78,3	68,0	106,3	100,4
1967	79,6	31,0	30,6		76,8	71,4	105,9	100,6
1968	79,6	31,6	30,9		83,0	75,0	103,2	100,6
1969	79,6	32,3	30,4		87,2	87,4	98,0	100,7
1970	79,6	33,9	30,2	123,6	90,3	95,9	94,4	102,2
1971	79,6	34,6	30,8	146,9	88,1	99,8	95,4	102,0
1972	79,6	35,0	30,7	132,2	93,1	99,8	93,6	102,0
1973	79,6	36,0	29,5	70,7	93,1	99,7	93,7	101,5
1974	79,6	36,3	33,2	85,0	93,1	99,8	93,1	101,8
1975	79,6	37,1	35,8	70,4	85,6	100,0	92,0	101,8
1976	79,6	37,7	35,4	73,1	85,2	98,1	92,7	99,1
1977	79,6	39,1	37,6	82,0	85,9	98,1	91,8	99,3
1978	79,6	38,7	39,2	79,2	85,2	100,0	92,1	99,3
1979	80,0	39,2	32,4	81,6	75,2	96,6	91,5	99,2
1980	80,0	39,1	37,8	80,3		96,4	91,9	99,5

anlagen. Die Generatorgaserzeugung aus Kohle war dagegen mit hohen energetischen Verlusten verbunden, sie wurde 1979 eingestellt. (Die Gaserzeugung aus Kohle in der eisenerzeugenden Industrie und in der Glasindustrie endete 1975 bzw. 1979.) Die Wirkungsgrade sind seither auch in der Stadtgaserzeugung sehr gut. Derzeit wird Stadtgas praktisch ohne größeren Umwandlungsprozeß nur noch aus Flüssiggas hergestellt.

Sehr stark verbessert haben sich die Wirkungsgrade der Strom- und Fernwärmeerzeugung. Die Messung der direkten Inputkoeffizienten für die Fernwärmeerzeugung ist statistisch nicht unproblematisch. Der direkte Inputkoeffizient kann in diesem Bereich aus folgenden Gründen auch unter Eins sinken: Fernheiz- und Blockheizwerke erzeugen ausschließlich Fernwärme, ihr Energieeinsatz ist daher ausschließlich einem Produkt zuzurechnen. Fernheizwerke erzeugen Fernwärme und elektrischen Strom. In der Regel können auch diese Unternehmen genau feststellen, wieviel von ihrem gesamten Energieeinsatz auf die Erzeugung von Fernwärme und wieviel auf den elektrischen Strom entfällt. Schwierig wird es, wenn Fernwärme aus einem Wärmekraftwerk ausgekoppelt wird. Hier wird im allgemeinen gemessen, wie hoch der Energieeinsatz tatsächlich war, und berechnet, wie hoch er gewesen wäre, wenn es keine Wärmeabgabe gegeben hätte und nur elektrischer Strom erzeugt worden wäre. Diese Differenz wird der Fernwärmeerzeugung zugerechnet. Weil in diesem Fall große Mengen der sonst verlorenen Abwärme genutzt wer-

den, ist es möglich, mit einer Einheit zusätzlicher Energie ein Vielfaches an Fernwärme zu erzeugen (der direkte Inputkoeffizient liegt weit unter Eins, der Wirkungsgrad der Anlage weit über 100%).

Technischer Fortschritt und Kraft-Wärme-Kupplung senken Verluste der kalorischen Stromerzeugung

Der direkte Inputkoeffizient zur Stromerzeugung ist, wie Übersicht 9 zeigt, seit 1955 stark zurückgegangen. Zur Erzeugung einer Wärmeinheit elektrischen Stroms war damals ein Einsatz von 2,09 Einheiten erforderlich, 1980 nur noch von 1,72 Einheiten. Diese Entwicklung wird noch deutlicher, wenn man berücksichtigt, daß gleichzeitig der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung zurückgegangen ist (siehe Übersicht 8). Für die Wasserkraftwerke wird ein konstanter technischer Wirkungsgrad von 80% angenommen, was bei einem sinkenden Produktionsanteil zu einer Verschlechterung des gesamten Wirkungsgrades der Stromerzeugung führen hätte müssen. Gleichzeitig verbesserte sich aber der Wirkungsgrad der kalorischen Anlagen so stark, daß dieser Effekt überkompensiert wurde. Der technische Wirkungsgrad der kalorischen Kraftwerke stieg von 24% auf 39%. Ein großer Teil der Verbesserung erklärt sich aus dem wachsenden Anteil der Fernheizkraftwerke. Diese haben wegen der gemeinsamen Erzeugung von elektrischem Strom und Fernwärme einen viel besseren Wirkungsgrad. Der technische Wirkungs-

Übersicht 8

Struktur der Stromerzeugung

	EVU	Wärmekraftwerke		Wasserkraftwerke	Insgesamt	
		Industrie	Insgesamt			
					Anteile in %	
1955	17,2	9,3	26,5	73,5	100,0	
1956	16,8	9,2	26,1	73,9	100,0	
1957	16,2	9,0	25,2	74,8	100,0	
1958	13,2	8,5	21,7	78,3	100,0	
1959	17,4	8,4	25,8	74,2	100,0	
1960	16,9	8,7	25,6	74,4	100,0	
1961	20,8	9,1	29,9	70,1	100,0	
1962	23,3	8,6	31,9	68,1	100,0	
1963	26,2	9,0	35,2	64,8	100,0	
1964	26,4	8,9	35,3	64,7	100,0	
1965	19,7	8,0	27,7	72,3	100,0	
1966	20,1	7,1	27,2	72,8	100,0	
1967	20,2	7,4	27,6	72,4	100,0	
1968	21,9	7,4	29,3	70,7	100,0	
1969	27,7	8,8	36,5	63,5	100,0	
1970	21,1	8,2	29,3	70,7	100,0	
1971	32,0	9,7	41,7	58,3	100,0	
1972	31,0	10,3	41,3	58,7	100,0	
1973	28,6	10,2	38,8	61,2	100,0	
1974	23,6	9,5	33,1	66,9	100,0	
1975	24,0	8,5	32,6	67,4	100,0	
1976	32,5	9,4	41,9	58,1	100,0	
1977	25,2	8,8	34,0	66,0	100,0	
1978	25,8	8,8	34,6	65,4	100,0	
1979	22,2	8,8	31,0	69,0	100,0	
1980	22,5	8,2	30,7	69,3	100,0	

Übersicht 9

Direkte Inputkoeffizienten der Stromerzeugung

	Insgesamt	Kohle	Mineralöl- produkte	Gas	Strom	Wasser- kraft	Sonstige Energie- träger
1955	2 0948	0 6266	0 1680	0 2966	0 0800	0 9235	0 0000
1956	2 0934	0 5710	0 1445	0 3652	0 0841	0 9285	0 0000
1957	2 0483	0 5695	0 0938	0 3612	0 0846	0 9393	0 0000
1958	1 8887	0 4037	0 1134	0 3079	0 0801	0 8836	0 0000
1959	1 9840	0 4909	0 1684	0 3123	0 0803	0 9321	0 0000
1960	1 9451	0 3999	0 1536	0 3800	0 0767	0 9349	0 0000
1961	2 0454	0 5439	0 1830	0 3600	0 0774	0 8811	0 0000
1962	2 0523	0 5351	0 2653	0 3208	0 0756	0 8554	0 0000
1963	2 1249	0 5750	0 3354	0 3160	0 0772	0 8143	0 0071
1964	2 0943	0 5360	0 3811	0 2883	0 0698	0 8130	0 0062
1965	1 8956	0 3759	0 3088	0 2279	0 0683	0 9083	0 0064
1966	1 8835	0 3982	0 2481	0 2497	0 0674	0 9140	0 0061
1967	1 8684	0 3792	0 2752	0 2316	0 0661	0 9096	0 0066
1968	1 8882	0 3759	0 3143	0 2348	0 0679	0 8883	0 0071
1969	2 0151	0 4415	0 3613	0 3396	0 0680	0 7971	0 0077
1970	1 8484	0 2653	0 2117	0 4101	0 0662	0 8882	0 0068
1971	2 0379	0 3697	0 3634	0 4999	0 0664	0 7326	0 0069
1972	2 0269	0 3126	0 4241	0 4776	0 0675	0 7368	0 0083
1973	1 9752	0 2621	0 4090	0 4590	0 0668	0 7683	0 0089
1974	1 8375	0 2639	0 2319	0 4309	0 0615	0 8402	0 0090
1975	1 7958	0 2171	0 2726	0 3884	0 0627	0 8472	0 0078
1976	1 9193	0 2859	0 3775	0 4563	0 0614	0 7294	0 0088
1977	1 7684	0 1658	0 2765	0 4264	0 0605	0 8290	0 0102
1978	1 7745	0 1643	0 3078	0 4057	0 0615	0 8213	0 0139
1979	1 7576	0 1382	0 2815	0 4009	0 0580	0 8626	0 0165
1980	1 7164	0 1811	0 3226	0 2663	0 0582	0 8665	0 0216

grad der alten Kohlenkraftwerke liegt bei etwa 23%, der der neuen Wärmekraftwerke mit Kraft-Wärme-Kupplung bei 40% (im neuen Kraftwerk Korneuburg 44%). Seit 1976 ist die Verbesserung des Wirkungsgrades der kalorischen Kraftwerke zum Stillstand gekommen, zeitweilig verschlechterte die schwache Kapazitätsauslastung der Kraftwerke sogar den spezifischen Verbrauch. Die Kapazität der Wärmekraftwerke ist in den letzten Jahren nur wenig gewachsen. 1978 wurden in Wien und Niederösterreich größere Wärmekraftwerke in Betrieb genommen, 1980 folgte ein kleineres Kraftwerk in Niederösterreich, und für 1983 ist die Fertigstellung eines modernen Braunkohlenkraftwerks in Voitsberg geplant. Eine entscheidende Verbesserung des Wirkungsgrades der Wärmekraftwerke ist in den kommenden Jahren vor allem von der zunehmenden Nutzung der Abwärme zu erwarten. Der technische Wirkungsgrad der österreichischen Wärmekraftwerke ist im internationalen Vergleich günstig. Der technische Wirkungsgrad der konventionellen Wärmekraftwerke liegt in der Europäischen Gemeinschaft im Durchschnitt bei knapp 36%. In der Bundesrepublik Deutschland wurde 1980 ein Wirkungsgrad von 36% gemessen, in Frankreich, Italien und Dänemark betrug er 37%. Den günstigsten Wirkungsgrad hatten die (überwiegend mit Heizöl und Erdgas gefeuerten) Anlagen in den Niederlanden (39%), den ungünstigsten die (überwiegend mit Kohle gefeuerten) Anlagen in Großbritannien (33%) und die Anlagen in Luxemburg (26%).

Zunehmender Einsatz von Primärenergie für Umwandlungsprozesse senkt kumulative Inputkoeffizienten

Die kumulativen Inputkoeffizienten zeigen, wieviele Wärmeinheiten Primärenergie insgesamt eingesetzt werden müssen, um eine Wärmeinheit eines Sekundärenergieträgers an den Energieendverbrauch (oder an den Außenhandel und die Lager) abgeben zu können. Dabei wird an Stelle des eingesetzten Sekundärenergieträgers der zu seiner Erzeugung erforderliche Primärenergieaufwand eingesetzt. Die Differenz zwischen der Summe der kumulativen Inputkoeffizienten und der Summe der direkten Inputkoeffizienten zeigt die Summe der Umwandlungsverluste, die in den eingesetzten Sekundärenergieträgern steckt. Die Differenz der Summe der kumulativen Inputkoeffizienten zu Eins zeigt die Höhe der kumulativen Umwandlungsverluste, um einen bestimmten Sekundärenergieträger dem Energieendverbrauch (oder dem Außenhandel oder den Lagern) zur Verfügung stellen zu können. Die kumulativen Inputkoeffizienten können gleich den direkten Inputkoeffizienten sein (wenn keine Sekundärenergieträger in einem Umwandlungsbetrieb eingesetzt werden), sie sollen aber nicht kleiner sein. Wo dies der Fall ist (Kokserzeugung, zeitweilig in der Erzeugung von Fernwärme und Stadtgas), zeigen sich statistische Ungenauigkeiten (siehe Übersicht 10). Wichtigster Sekundärenergieträger mit deutlichen Veränderungen der Inputkoeffizienten ist der elektri-

Übersicht 10

Entwicklung der kumulativen Inputkoeffizienten der Sekundärenergieträger

	Koks	Mineral- ölpro- dukte	Stadtgas	Gichtgas	Kokereis- gas	Genera- torgas	Fern- wärme	Strom
1955	0 8189	1 0078	2 7539	0 9132	0 8291	1 0982		2 2908
1956	0 8320	1 0659	2 5394	0 9226	0 8424	1 0972		2 2519
1957	0 8566	1 0132	2 4164	0 9709	0 8667	1 1099		2 1860
1958	0 8677	1 0177	2 0746	0 9867	0 8784	1 1293		1 9750
1959	0 8849	1 0067	1 8165	0 9902	0 8923	1 1060		2 0725
1960	0 9144	1 0007	1 7608	1 0355	0 9190	1 1633		2 0281
1961	0 9299	0 9903	1 7161	1 0601	0 9332	1 2103		2 1360
1962	0 9026	1 0045	1 7618	0 9994	0 9062	1 2283		2 1404
1963	0 8974	1 0044	1 7964	0 9885	0 9006	1 2521		2 2232
1964	0 9134	1 0141	1 7476	1 0011	0 9193	1 2731		2 1900
1965	0 9342	0 9954	1 6569	1 0214	0 9342	1 2273		1 9644
1966	0 9422	0 9957	1 6470	1 0265	0 9458	1 2717		1 9521
1967	0 9455	0 9937	1 5497	1 0323	0 9492	1 2952		1 9331
1968	0 9701	0 9941	1 4802	1 0482	0 9740	1 2022		1 9553
1969	1 0231	0 9928	1 3151	1 0812	1 0272	1 1468		2 0656
1970	1 0653	0 9785	1 1693	1 1245	1 0737	1 1075	0 7999	1 9170
1971	1 0563	0 9807	1 1477	1 1665	1 0649	1 1354	0 6743	2 1163
1972	1 0740	0 9806	1 1344	1 1627	1 0819	1 0741	0 7551	2 1074
1973	1 0721	0 9853	1 1368	1 1612	1 1155	1 0737	1 4081	2 0585
1974	1 0789	0 9825	1 1312	1 1818	1 0835	1 0740	1 5277	1 9035
1975	1 0928	0 9824	1 1365	1 1843	1 0982	1 1682	1 4111	1 8547
1976	1 0841	1 0083	1 1424	1 1994	1 0890	1 1734	1 3780	1 9956
1977	1 0948	1 0073	1 1498	1 1792	1 1005	1 1641	1 2719	1 8320
1978	1 0883	1 0067	1 0967	1 1238	1 0938	1 1741	1 3169	1 8370
1979	1 0952	1 0076	1 1028	1 0958	1 1022	1 3300	1 2860	1 8184
1980	1 0901	1 0054	1 0970	1 0907	1 0958		1 3078	1 7722

**Kumulativer Primärenergiegehalt**

	Industrie	Verkehr	Kleinabnehmer	Nichtenergetischer Verbrauch	Eigenverbrauch	Verbrauch insgesamt	Lager	Exporte	Importe	Heimische Produktion
	in PJ									
1955	163,8	59,9	152,9	7,6	27,2	411,3	- 23,6	83,4	166,4	351,9
1956	175,6	66,6	153,0	8,3	27,5	430,9	8,0	93,4	172,3	344,0
1957	177,5	64,9	160,5	10,4	28,1	441,4	- 7,4	76,5	188,4	336,8
1958	172,3	67,6	152,4	10,4	28,4	431,1	- 5,9	67,5	180,6	323,9
1959	180,2	70,5	144,6	14,1	27,4	436,8	4,5	70,7	187,6	315,4
1960	200,2	77,2	152,5	15,6	27,9	473,4	- 8,1	68,0	221,9	327,6
1961	203,9	80,8	154,5	18,1	28,2	485,6	3,5	57,2	219,3	320,0
1962	201,8	88,3	177,0	21,6	30,4	519,1	- 0,2	52,4	245,5	326,1
1963	204,9	95,7	204,8	23,1	32,8	561,3	- 6,6	54,3	280,5	341,7
1964	220,8	101,2	196,3	25,7	33,7	577,6	- 9,2	38,7	279,8	345,8
1965	216,2	105,0	196,9	29,5	30,8	578,4	- 17,3	42,8	279,3	359,2
1966	217,9	112,5	194,0	33,3	30,1	587,8	- 25,0	44,1	294,9	362,0
1967	212,7	115,0	210,1	34,7	29,5	602,0	- 6,1	44,4	305,4	347,1
1968	223,7	122,2	227,8	37,3	31,4	642,4	- 11,1	47,0	363,2	337,3
1969	249,1	127,9	249,4	43,9	35,4	705,8	13,0	48,6	419,2	322,2
1970	255,5	138,5	280,3	51,2	38,1	763,6	- 18,9	55,0	479,7	357,8
1971	270,3	145,0	285,1	52,9	43,4	796,8	1,8	46,0	513,9	327,1
1972	279,7	158,8	300,4	55,1	46,5	840,6	- 4,5	46,7	563,0	328,9
1973	292,2	172,4	336,4	59,4	46,9	907,4	- 17,3	47,8	617,9	354,5
1974	304,4	161,4	307,5	61,5	44,2	879,0	- 24,9	53,6	603,3	354,2
1975	276,1	164,5	309,5	59,6	42,1	851,9	- 0,1	56,2	554,3	353,9
1976	298,6	169,5	336,8	67,0	49,4	921,2	- 12,8	53,0	661,4	325,6
1977	282,5	174,5	331,2	69,2	45,9	903,2	- 2,1	54,0	612,0	347,3
1978	289,5	184,0	355,1	68,0	50,1	946,6	- 34,1	50,1	677,7	353,1
1979	306,6	191,8	374,7	73,1	48,7	995,0	- 40,3	54,0	725,7	363,5
1980	297,5	193,1	371,1	73,2	56,2	991,1	- 29,9	56,1	729,0	348,0

sche Strom. Der direkte Inputkoeffizient ist von 2,095 (1955) auf 1,716 (1980) zurückgegangen, der kumulative von 2,291 auf 1,772. Beide Koeffizienten zeigen, daß die Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung

je Produktionseinheit deutlich gesunken sind. Die Differenz der beiden Koeffizienten läßt erkennen, daß die in den zur Stromerzeugung eingesetzten Sekundärenergieträgern steckenden Verluste von 0,196

**Energiebilanz**

	Industrie	Verkehr	Kleinabnehmer	Nichtenergetischer Verbrauch	Eigenverbrauch	Verbrauch insgesamt	Umwandlungs- und Leitungsverluste	Lager	Exporte	Importe	Heimische Produktion
	in PJ										
1955	143,8	56,4	129,5	8,3	20,1	358,1	55,5	- 23,1	76,4	161,1	351,9
1956	155,1	61,2	130,7	8,7	20,5	376,2	58,9	7,8	84,6	167,9	344,0
1957	158,0	61,1	138,2	11,0	21,8	390,1	55,4	- 7,4	68,2	184,3	336,8
1958	155,6	64,2	131,3	10,9	22,3	384,3	48,9	- 5,5	60,1	174,9	323,9
1959	160,7	66,9	128,5	14,6	21,5	392,2	55,7	5,0	61,1	188,6	315,4
1960	178,0	73,7	134,9	16,0	21,7	424,4	59,2	- 7,9	58,6	222,4	327,6
1961	177,2	77,5	133,6	18,7	21,6	428,5	67,6	3,6	46,5	219,0	320,0
1962	175,0	83,8	153,3	22,1	22,7	457,0	73,3	0,1	40,8	244,8	326,1
1963	174,6	90,6	177,7	23,7	23,8	490,3	81,7	- 6,5	42,5	279,3	341,7
1964	187,8	95,4	166,7	25,8	25,2	500,9	90,3	- 9,0	22,8	277,2	345,8
1965	189,1	101,4	170,8	29,9	24,5	515,7	78,9	- 17,2	26,3	278,8	359,2
1966	189,9	108,8	166,9	33,7	24,2	523,4	83,1	- 25,1	25,0	294,6	362,0
1967	185,0	111,4	182,7	35,0	23,7	537,9	82,3	- 6,1	25,9	305,0	347,1
1968	192,5	118,2	198,1	37,5	25,2	571,5	88,2	- 11,3	28,2	361,8	337,3
1969	208,1	123,2	214,2	44,0	27,6	617,2	103,3	12,9	26,6	414,0	322,2
1970	218,2	136,1	251,0	51,8	31,1	688,2	94,5	- 19,0	32,8	476,8	357,8
1971	224,3	141,0	248,1	53,5	33,8	700,8	108,0	1,6	27,0	507,1	327,1
1972	231,3	154,9	259,2	55,7	37,3	738,4	110,2	- 4,3	28,7	552,8	328,9
1973	241,3	167,9	287,7	59,6	37,7	794,3	120,2	- 17,4	29,4	606,8	354,5
1974	257,0	158,0	263,4	61,8	36,3	776,5	112,3	- 24,9	33,8	593,3	354,2
1975	233,9	161,6	265,8	59,8	35,3	756,5	109,7	0,2	34,9	546,9	353,9
1976	245,5	161,1	279,5	66,0	39,7	791,7	135,6	- 12,6	33,6	647,9	325,6
1977	236,5	167,5	281,1	68,2	38,8	792,1	120,8	- 2,1	34,7	602,3	347,3
1978	243,2	176,6	301,4	67,2	42,4	830,8	122,8	- 33,7	32,7	666,8	353,1
1979	257,9	183,8	320,1	72,1	41,0	874,9	128,9	- 39,9	34,2	714,3	363,5
1980	251,0	185,6	316,7	72,2	48,9	874,3	126,3	- 29,5	36,2	718,2	348,0
1981	238,0	182,1	289,4	68,2	48,8	826,4	121,3	- 41,0	38,2	691,6	335,3
1982	223,3	182,6	288,6	63,5	44,6	802,5	115,7	10,9	36,9	610,1	334,1

(2,291 minus 2,095) auf 0,056 abgenommen haben. Die Verschiebung der Produktionsstruktur in der Elektrizitätswirtschaft und die Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Erzeugung von Sekundärenergieträgern haben diese Verbesserung ermöglicht. Diese Entwicklung hat sich besonders nach 1973 beschleunigt, als der Beitrag der Wasserkraft zur Stromerzeugung stark zunahm.

Nach der Energiebilanz beträgt der Energieeinsatz (1980) zur Erzeugung von 1 GWh elektrischem Strom in einem Wasserkraftwerk definitionsgemäß 4,5 TJ (technischer Wirkungsgrad der Anlage 80%), in einem Wärmekraftwerk 9,3 TJ (durchschnittlicher technischer Wirkungsgrad 38,8%), im Durchschnitt somit 6,0 TJ (durchschnittlicher technischer Wirkungsgrad 60,3%). Die aus den kumulativen Inputkoeffizienten berechneten entsprechenden Werte (sie enthalten außerdem die in den eingesetzten Sekundärenergieträgern enthaltenen Umwandlungsverluste) betragen 4,8 TJ (adaptierter Wirkungsgrad 75%), 10,0 TJ (adaptierter Wirkungsgrad 36%) und 6,4 TJ (adaptierter Wirkungsgrad 56,3%).

Mit Hilfe der kumulativen Inputkoeffizienten kann der Primärenergiegehalt der einzelnen Verbrauchsbereiche berechnet werden. Der Primärenergiegehalt zeigt im Gegensatz zur herkömmlichen Energiebilanz unmittelbar, wieviel Energie ein Wirtschaftsbereich benötigt, wenn man auch die in den einzelnen eingesetzten Sekundärenergieträgern steckenden Umwandlungsverluste berücksichtigt. Übersicht 11 enthält den Primärenergiegehalt nach Abnehmern, Übersicht 12 die entsprechenden Werte der herkömmlichen Bilanzierung. Die Differenz zwischen den Verbrauchswerten in den beiden Übersichten sind die in den Sekundärenergieträgern steckenden Umwandlungsverluste.

Christian Lager\*)  
Karl Musil  
Jiří Skolka

\*) Österreichisches Statistisches Zentralamt

### Anhang: Umriss des Mengenmodells des Energieumwandlungssektors

Für das Energieumwandlungsmodell wird die Energiebilanz innerhalb eines Make- und Absorptionsrahmens arrangiert (Übersicht 1). Der erste Quadrant eines Make- und Absorptionssystems zerfällt in zwei Matrizen: Die Makematrix zeigt, welche Sekundärenergieträger in welchem Ausmaß in den einzelnen Energieumwandlungsprozessen produziert werden. Die Absorptionsmatrix gibt an, welche Primär- oder Sekundärenergieträger in welchem Ausmaß in diesen Prozessen für Umwandlungszwecke eingesetzt werden. Dieses System hat folgende Vorteile:

- Die statistische Datenbasis kann direkt in das Modell eingebracht werden
- Die Verflechtung von institutionellen bzw. funktionalen Aktivitäten und Güterströmen (wer verbraucht wieviel Energieträger) wird transparent gemacht und läßt sich mit Technologieannahmen modellieren

Es werden folgende Symbole verwendet:

$V_{is}$  = (Make)matrix der heimischen Sekundärenergieproduktion,

$m_p$  = Vektor der Primärenergieimporte,

$m_s$  = Vektor der Sekundärenergieimporte,

$U_{pt}$  = (Absorptions)matrix des Primärenergieeinsatzes in den Umwandlungsprozessen,

$U_{st}$  = (Absorptions)matrix des Sekundärenergieeinsatzes in den Umwandlungsprozessen,

$l_s$  = güterbezogene Verluste von Sekundärenergie,

$l_t$  = prozeßbedingte Umwandlungsverluste<sup>2)</sup>,

$E_{pj}$  = Primärenergie: Eigenverbrauch und energetischer und nichtenergetischer Endverbrauch nach beziehenden Wirtschaftsbereichen,

$E_{sj}$  = Sekundärenergie: Eigenverbrauch und energetischer und nichtenergetischer Endverbrauch nach beziehenden Wirtschaftsbereichen,

$d_p$  = Lagerveränderung von Primärenergie,

$d_s$  = Lagerveränderung von Sekundärenergie,

$c_p$  = privater Verbrauch von Primärenergie,

$c_s$  = privater Verbrauch von Sekundärenergie,

$k_p$  = öffentlicher Verbrauch von Primärenergie,

$k_s$  = öffentlicher Verbrauch von Sekundärenergie,

$x_p$  = Exporte von Primärenergie,

$x_s$  = Exporte von Sekundärenergie,

$q_p$  = Aufkommen bzw. Verwendung von heimischer Primärenergie,

$q_s$  = Aufkommen bzw. Verwendung von heimischer Sekundärenergie,

$g_t$  = Summe der Inputs (bzw. Outputs einschließlich Umwandlungsverluste) der Umwandlungsprozesse<sup>3)</sup>,

$I$  = Einheitsmatrix,

$i$  = Summierungsvektor

Aus Übersicht 1 erhält man die Bilanzgleichung

$$(1) \begin{pmatrix} 0 & 0 & U_{pt} \\ 0 & 0 & U_{st} \\ 0 & V_{is} & 0 \end{pmatrix} \cdot i + \begin{pmatrix} I_p \\ I_s \\ I_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_p \\ y_s \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} m_p \\ m_s \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \\ g_t \end{pmatrix}$$

mit

$$\begin{pmatrix} y_p \\ y_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{pj} \\ E_{sj} \end{pmatrix} \cdot i + \begin{pmatrix} k_p \\ k_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_p \\ c_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d_p \\ d_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_p \\ x_s \end{pmatrix}$$

Gleichung (1) definiert die Energieproduktion

— über das Güterkonto, d. h. das heimische Energieaufkommen ( $q_p$  bzw.  $q_s$ ) ist gleich dem Energieein-

<sup>2)</sup>  $l_t = g_t - V_{is} \cdot i$

<sup>3)</sup>  $g_t = U_{pt} \cdot i + U_{st} \cdot i$

satz in den Umwandlungsprozessen ( $U_{pt} \cdot i$  bzw.  $U_{st} \cdot i$ ) plus den güterbezogenen Verlusten ( $l_p$  bzw.  $l_s$ ) plus dem Endverbrauch von Energie ( $y_p, y_s$ ) abzüglich der Energieimporte ( $m_p$  bzw.  $m_s$ ),

– über das Produktionskonto, d. h. der Output der heimischen Energieumwandlungsindustrie ( $V_{is} \cdot i$ ) plus den Umwandlungsverlusten ( $l_i$ ) ist gleich dem (direkten) Energiegehalt der energetischen Ein-sätze in die Umwandlungsprozesse ( $g_i$ )

Unter der Annahme linearer limitationaler Produktionsverhältnisse ergibt sich als Matrix der technischen Koeffizienten für den Umwandlungsbereich

$$(2) \begin{pmatrix} B_{pt} \\ B_{st} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{pt} \\ U_{st} \end{pmatrix} \hat{g}_i^{-1}$$

Die Matrizen  $B_{pt}$  und  $B_{st}$  zeigen den Anteil der Energieträger an den gesamten Inputs des Prozesses  $t$  an.

Mit Hilfe von Technologieannahmen (*United Nations*, 1968, S. 48ff) ist eine Matrix  $D_{is}$  abzuleiten, die die Outputs der Transformationsprozesse in heimisches Sekundärenergieaufkommen transformiert. Diese Matrix  $D_{is}$  wird hier als Matrix der Marktanteile definiert:

$$(3) (g_i - l_i) = D_{is} q_s$$

Nimmt man an, daß zwischen den güterbezogenen Verlusten und dem Aufkommen einerseits und den Umwandlungsverlusten und den Inputs der Umwandlungsprozesse andererseits ein konstantes (technologisches) Verhältnis besteht, so lassen sich die Verluste mit Hilfe von Verlustkoeffizienten  $L_{pp}, L_{ss}, L_{ii}$  endogenisieren.

$$(4) \begin{pmatrix} L_{pp} & 0 & 0 \\ 0 & L_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & L_{ii} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{l}_p \\ \hat{l}_s \\ \hat{l}_i \end{pmatrix} \cdot \left[ \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \\ g_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_p \\ m_s \\ 0 \end{pmatrix} \right]^{-1}$$

Unter Verwendung von (2), (3) und (4) läßt sich die Bilanzgleichung (1) umformen:

$$(5) \begin{pmatrix} 0 & 0 & B_{pt} \\ 0 & 0 & B_{st} \\ 0 & D_{is} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \\ g_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_{pp} & 0 & 0 \\ 0 & L_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & L_{ii} \end{pmatrix} \cdot \left[ \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \\ g_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_p \\ m_s \\ 0 \end{pmatrix} \right] + \begin{pmatrix} y_p \\ y_s \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} m_p \\ m_s \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \\ g_i \end{pmatrix}$$

Die Diagonalmatrix der Wirkungsgrade ergibt sich durch

$$\begin{pmatrix} W_{pp} & 0 & 0 \\ 0 & W_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & W_{ii} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - L_{pp} & 0 & 0 \\ q & I - L_{ss} & 0 \\ q & 0 & I - L_{ii} \end{pmatrix}$$

Durch Verwendung der Wirkungsgrade ergibt sich aus (5)

$$(6) \begin{pmatrix} W_{pp} & 0 & -B_{pt} \\ 0 & W_{ss} & -B_{st} \\ 0 & -D_{is} & W_{ii} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \left[ \begin{pmatrix} y_p \\ y_s \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} W_{pp} \cdot m_p \\ W_{ss} \cdot m_s \\ 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \\ g_i \end{pmatrix}$$

Invertiert man partitioniert, so erhält man als Nachfrageform des Leontief-Modells:

$$(7) \begin{pmatrix} M_{pp} & M_{ps} & M_{pt} \\ M_{sp} & M_{ss} & M_{st} \\ M_{ip} & M_{is} & M_{it} \end{pmatrix} \cdot \left[ \begin{pmatrix} y_p \\ y_s \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} W_{pp} \cdot m_p \\ W_{ss} \cdot m_s \\ 0 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \\ g_i \end{pmatrix}$$

Die Matrizen  $M$  enthalten die kumulativen Inputkoeffizienten bzw. Multiplikatoren, die aussagen, in welchem Ausmaß ein Energieträger (bzw. bestimmte Prozeß-Outputs) eingesetzt werden muß, damit eine Einheit eines Energieträgers (bzw. Prozeß-Outputs) an den Endverbrauch abgegeben werden kann. Da im Rahmen dieses Projekts nur ein Güter- $\times$ -Güter-Modell erstellt wird, wird an Stelle von (7) folgendes Gleichungssystem verwendet:

$$(8) M \cdot [y - W \cdot m] = q$$

bzw. in partitionierter Schreibweise

$$\begin{pmatrix} M_{pp} & M_{ps} \\ M_{sp} & M_{ss} \end{pmatrix} \cdot \left[ \begin{pmatrix} y_p \\ y_s \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} W_{pp} \cdot m_p \\ W_{ss} \cdot m_s \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \end{pmatrix},$$

wobei:

$$(8a) M_{ss} = (W_{ss} - B_{st} W_{it}^{-1} D_{is})^{-1},$$

$$(8b) M_{ps} = W_{pp}^{-1} B_{pt} W_{it}^{-1} D_{is} M_{ss},$$

$$(8c) M_{pp} = W_{pp}^{-1} = (I - L_{pp})^{-1},$$

$$(8d) M_{sp} = 0.$$

Die Angebotsform des Güter-Modells erhält man durch Re-Inversion der Matrix  $M$  und Herausheben der Einheitsmatrix:

$$(9) (I - A^T) q = y - W \cdot m$$

bzw. in partitionierter Schreibweise

$$\left[ \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} A_{pp}^T & A_{ps}^T \\ A_{sp}^T & A_{ss}^T \end{pmatrix} \right] \cdot \begin{pmatrix} q_p \\ q_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_p \\ y_s \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} W_p \cdot m_p \\ W_s \cdot m_s \end{pmatrix}$$

Die Matrizen  $A^T$  entsprechen der Matrix der Inputkoeffizienten des herkömmlichen Input-Output-Modells:

- (9a)  $A_{ps}^T = B_{pt} W_{tt}^{-1} D_{ts}$ ,  
 (9b)  $A_{ss}^T = L_{ss} + B_{st} W_{tt}^{-1} D_{ts}$ ,  
 (9c)  $A_{pp}^T = L_{pp}$ ,  
 (9d)  $A_{sp}^T = 0$ .

Eine herkömmliche Input-Output-Tabelle des Güter- $\times$ -Güter-Typs für den Umwandlungsbereich der Energiewirtschaft ergibt sich durch Multiplikation der technischen Koeffizienten mit dem diagonalisierten Aufkommensvektor.

## Literaturhinweise

*B. Barnanke — D. W. Jorgenson*: The Integration of Energy Policy Models, Computers and Operations Research, 3/1975.

*J. Beutel — H. Mürdter*: Input-Output-Analysis of Energy Flows — An Interpretation of the Energy Balances and Input-Output-Tables for the Federal Republic of Germany, IARIW 17th General Conference, Gouvieux 1981

*J. Beutel — C. Stahmer*: Input-Output Analyse der Energieströme, Allgemeines Statistisches Archiv Heft 3, 1982

*G. Bruckmann (Hrsg.)*: Input-Output Approaches in Global Modelling, Pergamon Press Oxford 1980.

*A. Chantraine — M. Pecci-Boriani — A. Persenaire*: The Application of Input-Output Analysis for Structural Comparison in the E. C. Countries, in *Stäglin* (1982), S. 27-58

*Chen Xikang*: Total Synthetic Analysis of Energy Input, Journal of Systems Science and Mathematical Sciences 1/1981 S. 69-76.

*B. Fritsch — R. Codoni — B. Saugy*: The Use of Input-Output Techniques in an Energy-Oriented Model, in *Bruckmann* (1980), S. 421-447.

*F. Hahn — I. Schmoranz*: Schätzung des österreichischen Kapitalstocks nach Wirtschaftsbereichen Monatsberichte 1/1983

*D. W. Jorgenson — E. A. Hudson*: U S Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000, The Bell Journal of Economics and Management Science, 2/1974, S. 461-514.

*K. Koch*: Energie als Kostenfaktor der westdeutschen Wirtschaft, DIW, Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung, 3/1972, S. 203-213

*C. Lager*: Ein Input-Output-Modell der Energiewirtschaft, Mitteilungsblatt der Österreichischen Gesellschaft für Statistik und Informatik, Nr 45 März 1982, S. 13-25

*C. Lager — W. Teufelsbauer*: Wofür wird wieviel Energie importiert?, Wirtschaftspolitische Blätter, 2/1981, S. 5

*B. Leibert*: Vorschlag für ein Prognose- und Simulationsmodell des Umwandlungsbereiches der Energiewirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland, Weltwirtschaftliches Archiv 1/1980, S. 131

*P. Mitter — J. Skolka*: Entwicklung der Arbeitsproduktivität in Österreich 1964 bis 1977, Monatsberichte 1/1981

*M. Oettl — W. Teufelsbauer*: An Integrated Quantity Value Energy Input-Output-Model, 7th International Conference on Input-Output Techniques, Innsbruck 1979

*Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung*: Bewertung energiepolitischer Maßnahmen zur rationellen Energieverwertung, Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Handel, Gewerbe und Industrie, Wien 1979

*Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung*: Energiebilanz des WIFO: Revision 1979 Ergänzung 1980.

*Österreichisches Statistisches Zentralamt*: Energieausstoß und -einsatz der österreichischen Volkswirtschaft im Jahre 1979, Statistische Nachrichten 7/1981.

*Österreichisches Statistisches Zentralamt*: Nutzenergieanalyse 1978 Beiträge zur Österreichischen Statistik, Heft 663, Wien 1982.

*J. Skolka*: Außenhandelsverflechtung der österreichischen Wirtschaft: Ein Input-Output-Vergleich zwischen 1964 und 1976, Monatsberichte 10/1981

*R. Stäglin (Hrsg.)*: International Use of Input-Output Analysis, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1982.

*R. Stone — K. Wigley*: The Demand for Fuel, 1948-1975 A Submodel for the British Fuel Economy, Chapman & Hall, Cambridge 1968

*United Nations*: A System of National Accounts, New York 1968