

Der Energieverbrauch der österreichischen Industrie 1960 bis 1974

Seit der „Erdölkrise“ im Herbst 1973 haben Energiefragen besonderes Gewicht. Die vorliegende Studie befaßt sich mit einem Teilgebiet, das energiepolitisch aus verschiedenen Gründen interessant ist. Die Industrie ist nach wie vor einer der Hauptverbraucher von Energie; sie beansprucht zur Zeit in Österreich etwa ein Drittel des Netto-Inlandsverbrauches.

Obschon auf Energie nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der Produktionskosten entfällt (1972 betrug die Energiekosten laut Industriestatistik 6% der Vorleistungen und 3 1/2% des Brutto-Produktionswertes), ist sie als Produktionsmittel unentbehrlich. Vor allem kurzfristig ist Energie nicht ersetzbar; Lieferkürzungen führen daher zu fast proportionalen Produktionsausfällen.

Etwas anders liegen die Verhältnisse auf mittlere und längere Sicht. Die Industrie hat in den letzten Jahrzehnten demonstriert, daß der Energieeinsatz nicht proportional zur Produktion steigen muß. Selbst in einer Zeit, als Energie besonders billig war, und daher kein besonderer Anreiz bestand, Energie zu sparen, erlaubte es der technische Fortschritt, den Einsatz je Produktionseinheit merklich zu senken.

Um die einzelnen Energiearten (feste Brennstoffe, Heizöl, Strom und Gas) zusammenfassen und miteinander vergleichen zu können, wurden sie in Steinkohleneinheiten (SKE) umgerechnet. Sofern nicht anders erwähnt wird, beziehen sich die Mengenangaben im Text auf Steinkohlenäquivalente¹⁾.

Der effektive Energieverbrauch

Von 1960 bis 1974 stieg der *Energieverbrauch*²⁾ der österreichischen Industrie von 7,6 Mill. t (Steinkoh-

¹⁾ Der Umrechnungsschlüssel lautet:

1 t Steinkohleneinheit (SKE) =

1 t Steinkohle

1 t Koks

2 t Braunkohle

0 6667 t Heizöl

752 m³ Gas

0 6667 t Flüssiggas

8 696 m³ Gichtgas

8 139 5 kWh Strom

²⁾ Unter „effektiver“ Verbrauch wird der Verbrauch insgesamt verstanden (Gegensatz Verbrauch je Produktionseinheit).

Q: Österreichisches Montanhandbuch, Österreichische Energiebilanz und eigene Berechnungen

leneinheiten) auf 11,5 Mill. t oder um 50,5%. Die branchenweise Streuung der Veränderungsdaten war beträchtlich: In der Ledererzeugung ging der Energieverbrauch um 31% zurück, in der Holzverarbeitung stieg er um 255%. Die „Hauptverbraucher“, auf die 1974 ungefähr drei Viertel des Energieverbrauches der Industrie entfielen, erzielten folgende Zuwachsraten: Eisenhütten 20%, Steine und Keramik 59%, Chemie 75%, Papiererzeugung 79% und Erdölindustrie 240%. (Diese fünf Zweige werden im folgenden besonders hervorgehoben, weil sie Struktur und Entwicklung des Energieverbrauches der Gesamtindustrie maßgeblich bestimmen.)

Der Energieverbrauch der Industrie stieg *längerfristig* merklich langsamer als die Produktion. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Verbrauches betrug 3,0%, jene der Produktion 5,8%. Die Elastizität des Verbrauches in bezug auf die Produktion wurde für den gesamten Beobachtungszeitraum mit Hilfe einer doppelt-logarithmischen Funktion auf 0,54 geschätzt. Ähnlich wie die Produktion der Gesamtindustrie ist auch die der meisten Branchen energiesparender geworden. Von den Hauptverbrauchern hatte nur die Erdölindustrie einen überproportional steigenden Verbrauch (Elastizitätskoeffizient 1,6). Der Elastizitätskoeffizient der Eisenhütten (0,47) entsprach etwa dem der Industrie insgesamt; die Chemie (0,30) erzielte im Verhältnis zur Produktion besonders hohe Einsparungen; in Papiererzeugung (0,79) sowie in Steine und Keramik (0,60) blieben sie unter dem Durchschnitt. Die geschätzten Elastizitätskoeffizienten dürfen nicht notwendigerweise kausal interpretiert werden (etwa in dem Sinne, daß bei einem Sinken des Produktionswachstums auf die Hälfte das Wachstum des Energieverbrauches halbiert wird). Es scheint vielmehr zweckmäßiger, sie als Resultierende zweier entgegenwirkender Faktoren aufzufassen: der energiebrauchenden Produktion und dem energiesparenden technischen Fortschritt (siehe die Aufspaltung und Erklärung des spezifischen Energieverbrauches im folgenden Abschnitt).

Die längerfristige Entwicklung des Energieverbrauches wurde von *kurzfristigen* Schwankungen überlagert, die großteils konjunkturbedingt sind. Von 1960 bis 1963 stagnierte der Verbrauch, 1963/64 nahm er um 10% zu und verharrte dann auf diesem Niveau bis 1967. 1968 begann ein neuer Nachfrageschub, der bis 1974 anhielt.

Übersicht 1

Effektiver Energieverbrauch der Industrie 1960 bis 1974

	Industrie insgesamt	Erdöl	Eisenhütten	Steine, Keramik	Chemie	Papierherzeugung
	1 000 t SKE					
1960	7 652 6	296 0	3 143 1	869 8	779 1	666 7
1961	7 770 3	348 7	3 079 8	924 6	854 5	678 6
1962	7 712 9	364 5	2 918 8	917 3	859 5	668 2
1963	7 745 6	411 8	2 772 7	955 1	898 8	709 5
1964	8 538 8	446 0	3 148 1	1 074 0	925 2	766 4
1965	8 592 2	440 2	3 089 9	1 120 6	1 016 1	798 1
1966	8 587 9	456 7	2 975 9	1 218 7	998 7	794 1
1967	8 442 3	467 7	2 859 3	1 183 2	1 012 6	836 0
1968	8 803 1	516 3	3 010 8	1 154 5	1 033 2	900 3
1969	9 459 9	596 7	3 378 0	1 139 5	1 052 7	973 4
1970	9 915 4	774 0	3 463 0	1 113 4	1 095 6	1 032 0
1971	10 289 3	821 0	3 434 3	1 298 6	1 117 8	1 043 9
1972	10 799 0	984 3	3 502 2	1 371 5	1 150 5	1 080 4
1973	11 145 2	1 035 7	3 507 2	1 445 9	1 209 5	1 174 4
1974	11 519 7	1 014 9	3 795 2	1 380 2	1 360 0	1 193 6

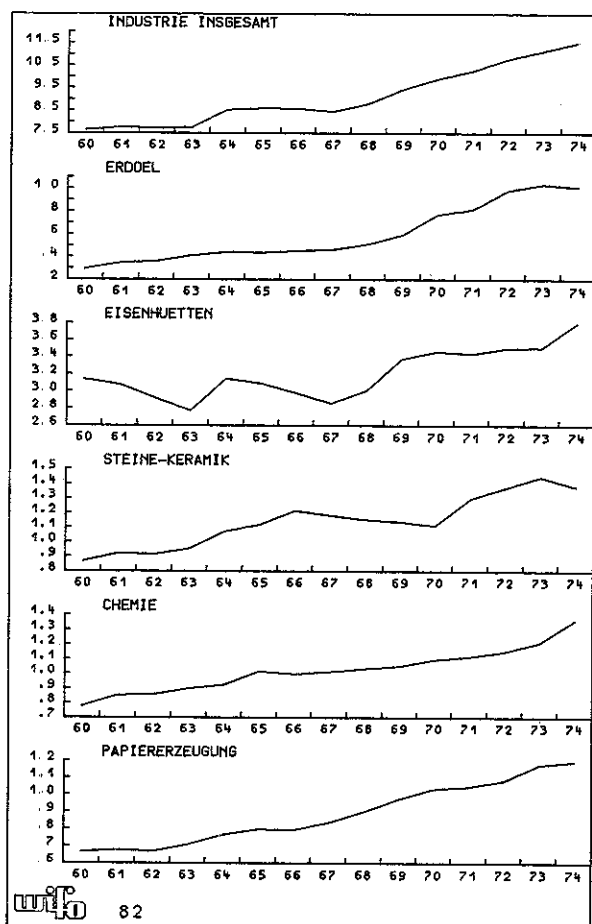
Der kurzfristige (konjunkturbedingte) Zusammenhang zwischen Produktion und Energieverbrauch läßt sich quantifizieren, indem man die relativen Abweichungen dieser Größen von ihrem exponentiellen Trend miteinander korreliert. Die Berechnungen er-

gaben, daß der Energieverbrauch der Industrie in den meisten Branchen mit der Produktion mit-schwingt, die Schwankungen des Energieverbrau-ches jedoch geringer sind als jene der Produktion. Für die Industrie insgesamt z. B. gilt: Wenn sich die Produktion um einen Prozentpunkt von der Trendlinie entfernte, die als Maß für die durchschnitt-liche Kapazitätsauslastung aufgefaßt werden kann, dann veränderte sich die Trendabweichung des Energieverbrauches um 3/4% (Regressionskoeffizient 0'76).

Dieses Ergebnis läßt sich wie folgt interpretieren: Da der Energieverbrauch nur teilweise produktions-abhängig ist, z. T. jedoch von der kurzfristig nicht anpassungsfähigen Kapazität bestimmt wird, sinkt bei konjunkturbedingter Unterauslastung der Kapa-zitäten der Energieverbrauch weniger als die Pro-duktion und steigt daher im folgenden Aufschwung auch weniger. Man muß jedoch hinzufügen, daß sich kein einfacher statistischer Zusammenhang zwischen der Höhe der hier ermittelten Regressionskoeffizien-ten und dem Anteil des produktionsabhängigen Energieverbrauches in den einzelnen Branchen fest-stellen läßt. Auch gibt es zwei Branchen, wo der Energieverbrauch kurzfristig stärker als die Pro-duktion schwankte (Papierverarbeitung 1'96, Nah-rungs- und Genußmittel 1'71).

Energie ist ein *Produktionsmittel*. Es läge daher nahe, ihren Einsatz mit dem anderer Produk-tionsmittel zu vergleichen, wie Material, Arbeit und Kapi-tal. Eine solche Analyse wirft jedoch statistische und theoretische Probleme auf und geht über diese Ar-beit hinaus. Im großen und ganzen gilt: Der Energie-

Abbildung 1
Gesamtenergieverbrauch 1960 bis 1974
(Mill t SKE)



Übersicht 2
Zuwachs, Produktionselastizitäten und Anteile des Energieverbrauches der Industriezweige

	Zuwachs 1960/74 in %	Anteile 1960 in %	Anteile 1974 in %	Produk-tionselasti-zität
Bergbau ¹⁾	+ 10 2	4 7	3 4	0 80
Erdöl	+242 9	3 9	8 8	1 60
Eisenhütten	+ 20 7	41 1	32 9	0 47
Metallhütten	+ 35 3	3 0	2 7	0 34
Steine Keramik	+ 58 7	11 4	12 0	0 61
Glas	+ 39 2	1 9	1 7	0 38
Chemie	+ 74 6	10 2	11 8	0 30
Papierherzeugung	+ 79 0	8 7	10 4	0 79
Papierverarbeitung	+183 6	0 1	0 3	0 92
Holzverarbeitung	+254 7	0 6	1 4	1 06
Nahrungs- und Genußmittel	+ 30 0	5 8	5 0	0 46
Lederherzeugung	- 31 2	0 3	0 1	-
Lederverarbeitung	+126 4	0 1	0 1	1 07
Textil	+ 72 0	2 6	3 0	0 91
Bekleidung	+198 5	0 2	0 4	1 78
Gießerei	+ 42 3	1 2	1 2	1 36
Maschinen	+ 90 3	0 9	1 1	0 72
Fahrzeuge	- 4 0	1 2	0 8	-
Eisen- und Metallwaren	+111 1	1 6	2 2	0 99
Elektro	+ 58 4	0 8	0 8	0 42
Industrie insgesamt	+ 50 5	100 0	100 0	0 54

¹⁾Einschließlich Magnesit

einsatz ist im Beobachtungszeitraum schwächer gestiegen als der Kapitaleinsatz (der sich etwa parallel zur Produktion entwickelt), aber merklich stärker als das Arbeitsvolumen. Der Energieeinsatz je Beschäftigten (die Energieintensität) stieg im Vergleichszeitraum in allen Industriebranchen, wobei in einzelnen Branchen (Erdölindustrie, Steine und Keramik, Papiererzeugung und Textilindustrie) einem steigenden Verbrauch ein absolut rückläufiger Arbeitskräfteeinsatz gegenüberstand.

Spezifischer Energieverbrauch

Wird der effektive Energieverbrauch indiziert (1971 = 100) und dann dieser Index durch den Produktionsindex mit der gleichen Basis dividiert, dann erhält man einen Index des Energieverbrauches je Produktionseinheit. Diese Größe wird auch *spezifischer Energieverbrauch* oder *Energiekoeffizient* genannt. Der auf diese Weise ermittelte Index für die Gesamtindustrie wird häufig mit dem Beiwort „global“ versehen, um ihn von „strukturbereinigten“ Indizes abzugrenzen (auf die Unterscheidung wird später eingegangen). Der spezifische Verbrauch eignet sich besser als Ausgangspunkt für analytische Untersuchungen als der effektive Verbrauch, weil eine wichtige Einflußgröße (die Produktion) konstant gehalten wird.

Übersicht 3

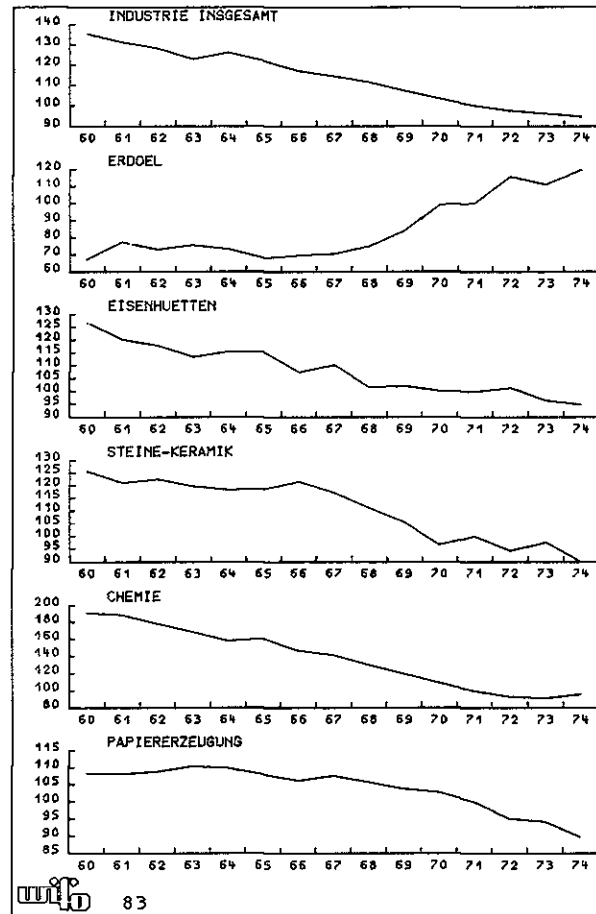
Spezifischer Energieverbrauch der Industrie 1960 bis 1974

	Industrie insgesamt	Erdöl	Eisenhütten	Steine, Keramik	Chemie	Papierherzeugung
1960	135,3	67,6	127,1	126,0	191,6	108,6
1961	131,2	77,5	120,2	121,3	189,3	108,4
1962	128,2	73,1	117,8	122,6	179,1	109,0
1963	123,0	75,7	113,6	119,8	169,1	110,6
1964	126,1	73,4	115,6	118,4	159,2	110,2
1965	122,1	68,0	115,4	118,7	161,6	108,2
1966	117,0	69,5	107,5	121,6	147,5	106,3
1967	114,4	70,4	110,3	117,2	142,3	107,7
1968	111,4	74,9	101,7	111,4	130,8	105,9
1969	107,4	84,1	102,2	105,5	119,8	103,9
1970	103,6	99,2	100,2	96,8	109,2	102,9
1971	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1972	97,5	115,7	101,4	94,5	93,4	95,1
1973	96,1	111,0	96,5	97,8	91,6	94,3
1974	94,6	120,0	94,9	90,1	95,8	89,8

Die Kurve des spezifischen Verbrauches hatte für die Gesamtindustrie einen deutlich fallenden Trend. Insgesamt sank der Index zwischen 1960 und 1974 von 135 auf 95 oder um 30%. Nur einmal, von 1963 auf 1964, stieg er geringfügig. Nicht so glatt verliefen die entsprechenden Kurven für die einzelnen Branchen, doch auch hier war der spezifische Energieverbrauch meist rückläufig. In den Eisenhütten fiel der spezifische Verbrauch zwischen 1960 und 1974

um 25%, in der Stein- und keramischen Industrie um 29%, in der chemischen Industrie um 48% und in der Papiererzeugung um 18%. Dagegen stieg er in der Erdölindustrie um 78% (hauptsächlich weil sich die Produktionsstruktur von der Förderung zur energieintensiveren Verarbeitung verschob)

Abbildung 2
Spezifischer Energieverbrauch 1960 bis 1974
(1971 = 100)



Der spezifische Verbrauch läßt sich dort leichter senken, wo große Mengen Energie zur Gewinnung technologischer Wärme eingesetzt werden (dazu zählen die meisten energieintensiven Basisindustrien). In Fertigwarenindustrien, die technische Güter erzeugen und die Energie hauptsächlich zum Antrieb von Arbeitsmaschinen verwenden, ist der spezifische Verbrauch meist nur wenig oder nicht gesunken. Bei rascher Mechanisierung ist sogar eine steigende Tendenz denkbar. (Kurzfristig nimmt der spezifische Energieverbrauch in vielen Branchen bei rückläufiger Konjunktur zu, weil sich der kapazitätsabhängige Energieverbrauch auf eine kleinere Produktionsmenge verteilt.)

Die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauches der Industrie und ihrer Branchen wird durch

Änderungen im Produktionsprogramm (in der Zusammensetzung der erzeugten Produkte) beeinflusst. Wenn z. B. Produkte überdurchschnittlich expandieren, deren Herstellung pro Stück viel Energie erfordert, dann steigt der (globale) spezifische Energieverbrauch auch dann, wenn die Energiekoeffizienten für jedes einzelne Produkt unverändert geblieben sind. Solche *Struktureffekte* können erheblich sein, da die produkt- und branchenweisen Unterschiede im spezifischen Energieverbrauch sehr groß sind. Die fünf Hauptverbraucher z. B. (Eisenhütten, Steine und Keramik, Chemie, Papiererzeugung, Erdölindustrie) verbrauchen drei Viertel der Energie, erzeugten aber (1973) nur 38% des realen Netto-Produktionswertes der Industrie.

Übersicht 4

Energiekoeffizient¹⁾ der Industrie

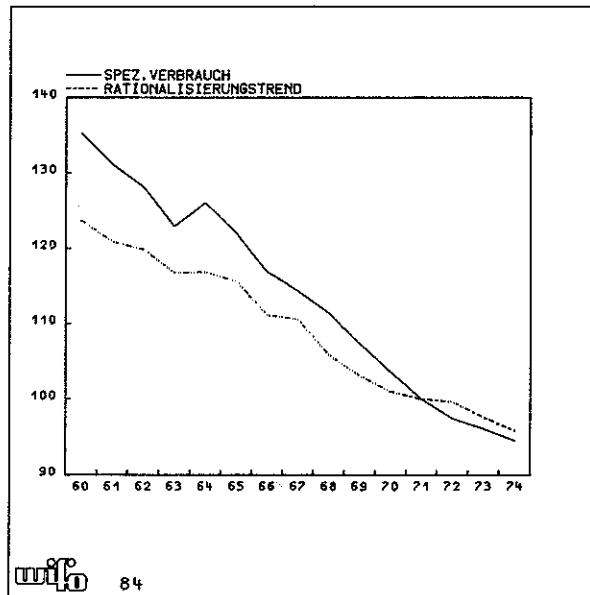
	1960	1964	1968	1972
Bergbau ²⁾	129,1	128,0	140,1	140,1
Erdöl	107,8	123,9	115,7	182,6
Eisenhütten	698,2	590,1	464,0	428,1
Metallhütten	270,2	268,3	260,0	213,7
Steine, Keramik	269,3	256,0	239,7	203,3
Chemie	153,7	127,6	105,4	74,8
Papiererzeugung	328,1	333,1	319,6	287,6
Nahrungs- und Genussmittelindustrie	62,7	62,5	48,5	47,9
Textil	42,4	48,3	44,8	42,2
Industrie insgesamt	151,2	138,9	121,6	107,0

¹⁾ 1 SKE im Verhältnis zu realer Wertschöpfung (Preise 1964 in Mill. S) —
²⁾ Einschließlich Magnesit

Der Einfluß von Verschiebungen in der Produktstruktur auf die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauches läßt sich statistisch nicht isolieren, da Energieverbrauchsdaten für einzelne Produkte nicht verfügbar sind. Wohl aber läßt sich der Einfluß der *Branchenstruktur* erfassen. Zu diesem Zweck wurde ein hypothetischer spezifischer Energieverbrauch für die Gesamtindustrie in Indexform unter der Annahme errechnet, daß alle Branchen gleich stark und so wie die Gesamtindustrie gewachsen wären und sich daher die Branchenstruktur nicht geändert hätte (Berechnung siehe Anhang). Dieser Index spiegelt die Entwicklung des von Branchenstruktureffekten bereinigten spezifischen Energieverbrauches wider; er wird häufig auch „*Rationalisierungstrend*“ genannt. Eine Gegenüberstellung der Indizes des bereinigten und des unbereinigten (globalen) spezifischen Verbrauches läßt den Einfluß von Änderungen in der Branchenstruktur erkennen.

Die Berechnungen ergaben, daß der bereinigte spezifische Energieverbrauch der Industrie im Beobachtungszeitraum fast kontinuierlich sank, aber merklich schwächer als der unbereinigte. Der Rückgang des bereinigten Index zwischen 1960 und 1974 betrug 22%, jener des unbereinigten 30%. Das bedeu-

Abbildung 3
 Spezifischer Verbrauch und Rationalisierungstrend
 1960 bis 1974
 (1971 = 100)



tet, daß sich die Branchenstruktur der Industrie in diesem Zeitraum zugunsten von Branchen verschoben hat, die auf Grund ihrer Produktionstechnik relativ wenig Energie benötigen bzw. zu solchen Branchen, die zwar viel Energie verbrauchen aber im Beobachtungszeitraum große Einsparungen erzielten (z. B. Chemie). Der energiesparende Struktureffekt wäre vermutlich noch größer, wenn man auch die Verschiebung in der Produktstruktur der Branchen berücksichtigen könnte

Der Struktureffekt wird maßgeblich durch das relative Wachstum der Branchen mit dem höchsten spezifischen Energieverbrauch bestimmt. Einen dominierenden Einfluß haben insbesondere die *Eisenhütten*, auf die fast ein Drittel des Energieverbrauches der Industrie entfallen, die aber nur 6,5% zur Industrieproduktion beisteuern und deren Produktion kurz- und längerfristig merklich von jener der Gesamtindustrie abweicht. Ähnliches wurde in der Bundesrepublik Deutschland beobachtet¹⁾.

Der spezifische Energieverbrauch sinkt nicht nur in der Industrie, sondern auch im sogenannten Umwandlungssektor, wo Primärenergie (Kohle, Öl, Gas) in Sekundärenergie (Strom) transformiert wird. Es liegt nahe, die Rationalisierungseffekte in beiden Bereichen miteinander zu vergleichen. In den öffentlichen Wärmekraftwerken ging der spezifische Verbrauch an Kohle, Gas und Heizöl laut Brennstoffsta-

¹⁾ B. Schreiber: Der spezifische Energieverbrauch der Industrie, IFO-Institut, Schriftenreihe Nr. 57, München 1964

tistik zwischen 1960 und 1970 von 3.391 auf 2.605 kcal je kWh oder um 23,2% zurück. Die durchschnittliche jährliche Abnahmerate entsprach mit 2,6% etwa der des globalen spezifischen Energieverbrauches der Industrie, übertraf aber die des strukturbereinigten (1,8%).

Der „Rationalisierungstrend“ (die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauches nach Ausschaltung von Branchenstruktureffekten) wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Dazu zählen kurzfristige Sondereinflüsse (z. B. Temperaturschwankungen), das Einsatzverhältnis der primären Produktionsfaktoren (von Kapital und Arbeit) sowie der technische Fortschritt, die Entwicklung und Anwendung neuer Verfahren mit einem günstigeren Verhältnis zwischen Produktionsmitteleinsatz und Produktionsergebnis. Unter ihnen ist zumindest auf mittlere Sicht der *technische Fortschritt* am wichtigsten, obschon die sinkenden Realpreise für Energie in der Beobachtungsperiode keinen Anlaß boten, den technischen Fortschritt engeriesparend zu gestalten.

Der technische Fortschritt in der Industrie ist direkt nicht meßbar. Um seinen Einfluß auf den Rationalisierungstrend zu bestimmen, muß eine Hilfsvariable herangezogen werden, die mit dem technischen Fortschritt korreliert ist. Eine Möglichkeit bestünde darin, den technischen Fortschritt durch die Zeit zu repräsentieren, wobei unterstellt wird, daß er sich kontinuierlich entwickelt. Realistischer ist eine Approximierung durch die *Investitionen*, in denen technischer Fortschritt „gebunden“ ist, zumal laut Investitionstest des Österreichischen Institutes für Wirtschaftsforschung der überwiegende Teil der Investitionen (1973: 58%, 1966 sogar 74%) dem Ziel der Rationalisierung dient. Auf diese Weise können auch sprunghafte Entwicklungen berücksichtigt werden. Da technischer Fortschritt sowohl durch Neuals auch durch Ersatzinvestitionen eingeführt wird, eignen sich die Brutto-Investitionen am besten als erklärende Variable. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen: Der technische Fortschritt, der durch die Brutto-Investitionen repräsentiert wird, ist eine Differenzgröße (er entspricht der Veränderung des wirtschaftlich genutzten technischen Wissens). Man kann daher entweder die Veränderung des Rationalisierungstrends mit den Brutto-Investitionen oder (wie es hier geschieht) die Höhe des Rationalisierungstrends aus den über die Zeit summierten Brutto-Investitionen erklären. Um die Möglichkeit verschiedener Elastizitätsverläufe zu berücksichtigen, wurden verschiedene Funktionsformen (lineare, semilogarithmische, doppelt-logarithmische, inverse Funktionen) getestet. Ferner wurde geprüft, ob die Investitionen sofort oder erst nach einiger Zeit energiesparend wirken.

Für fast alle Branchen, darunter alle Hauptenergieverbraucher, konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Rationalisierungstrend und den kumulierten Brutto-Investitionen gefunden werden, wobei das (mit Ausnahme der Erdölindustrie) negative Vorzeichen den Erwartungen entspricht. (Höhere Investitionen führen unter sonst gleichbleibenden Umständen zu einem stärkeren Rückgang des spezifischen Verbrauches.) Die Funktionsform mit der besten statistischen Anpassung ist von Branche zu Branche verschieden. Es ist daher keine allgemeine Aussage möglich, ob im Laufe der Untersuchungsperiode eine bestimmte Senkung des spezifischen Energieverbrauches zunehmende oder abnehmende Investitionen erforderte¹⁾. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist zu vermuten, daß Investitionen nicht im gleichen Jahr, sondern erst später Rationalisierungserfolge im Energieeinsatz zeitigen. Die Verzögerungen hängen mit der Projektdauer der Investitionen zusammen.

Übersicht 5
Rationalisierungstrend und technischer Fortschritt¹⁾

Branche	Konstante	Form der Erklärenden Variablen	R ²	Vorzeichen richtig (ja-nein)
		x ln x 1/x		
IND	216 67	25 1070 5	0 97	ja
IND	215 42	25 27 ₋₁	0 96	ja
EIH	74 96		2 561 30 17	ja
EOL	-234 88	74 45 ₋₁ 13	0 88	nein
STK	138 46	0 40 ₋₁ 14	0 85	ja
CHE	487 04	82 564 5	0 97	ja
PAE	124 47	0 28 ₋₁ 6	0 97	ja

IND: Industrie insgesamt STK: Steine Keramik
EOL: Erdöl CHE: Chemie
EH: Eisenhütten PAE: Papiererzeugung

¹⁾ Technischer Fortschritt approximiert durch kumulierte Investitionen; alle Daten sind indiziert (1971=100). Die Zahl (Kursiv) unter dem Regressionskoeffizienten ist der Standardfehler in Prozent des Koeffizienten. Subskripte geben den lag an

¹⁾ Nur bei der doppelt-logarithmischen Funktion ist die Elastizität zwischen den beiden Variablen der Regression konstant über die Beobachtungsperiode und gleich dem Regressionskoeffizienten *b*. In allen anderen Fällen ist die Elastizität entlang der Regressionsgeraden variabel, und zwar hat sie folgende Werte:

$$\begin{aligned}
 a) Y &= a + b X & \eta &= b \frac{X}{Y} \\
 b) Y &= a + b \ln X & \eta &= \frac{b}{Y} \\
 c) \ln Y &= a + b \ln X & \eta &= b \\
 d) Y &= a + b \frac{1}{X} & \eta &= \frac{b}{X \cdot Y}
 \end{aligned}$$

Verbrauch einzelner Energiearten

In den sechziger Jahren und Anfang der siebziger Jahre (bis zur „Erdölkrise“ im Herbst 1973) wurde nicht nur der spezifische Energieverbrauch der Industrie gesenkt, sondern gleichzeitig in großem Umfang die relativ teure und unhandliche Kohle durch andere Energieträger ersetzt. Ein grober Überblick über diese Substitutionsvorgänge läßt sich gewinnen, indem man die von der Industriestatistik ausgewiesenen Energiearten zu vier Gruppen zusammenfaßt: Feste Brennstoffe (Braunkohle, Steinkohle, Koks), Heizöl, Strom und Gas.

Auf *feste Brennstoffe* entfiel 1960 noch fast die Hälfte (48%) des gesamten Energieverbrauches der Industrie, 1974 jedoch nur ein gutes Fünftel (22%), obschon in diesem Jahr die Verteuerungen von Erdöl bereits wieder eine Verlagerung zugunsten der Kohle eingeleitet hatten. Der Rückgang konzentrierte sich auf Stein- und Braunkohle, wogegen der Koksverbrauch nur wenig zurückging und 1974 wieder den Stand der frühen sechziger Jahre erreichte. Kohle wurde in den sechziger Jahren hauptsächlich durch Heizöl und in den siebziger Jahren hauptsächlich durch Erdgas ersetzt. Der Anteil des *Heizöles* stieg von 22% auf 30%, jener von Gas von 19% auf 34%. *Elektrische Energie* erreichte einen An-

teilsgewinn von 3 Prozentpunkten (von 11% auf 14%), hauptsächlich infolge der zunehmenden Mechanisierung der Arbeitsvorgänge (eine unmittelbare Substitution zwischen elektrischer Energie und anderen Energieträgern ist nur beschränkt möglich).

Der „Rückzug“ von der Kohle vollzog sich nicht in allen Branchen in gleicher Weise und gleich stark. In den *Eisenhütten* läßt die Hochofentechnologie nur eine beschränkte Substitution zu. Der Anteil der festen Brennstoffe sank dort im Vergleichszeitraum nur von 67 4% auf 52 7%. (Gleichzeitig stieg der Anteil von Heizöl von 13 1% auf 24 5% und der Gasanteil von 14 5% auf 20 1%.) Koks wird in den Eisenhütten nicht nur zur Gewinnung von Wärme, sondern auch als Rohstoff eingesetzt. Die Funktion des Wärmelieferanten kann vom Heizöl übernommen werden (es wird nach neueren Verfahren in den Hochofen eingespritzt), nicht jedoch die Rohstofffunktion. Immerhin gelang es, durch Einspritzen von Heizöl und technologischen Verbesserungen die Koksrate (den Koksverbrauch je Tonne Roheisen) im Vergleichszeitraum von 876 kg (1960) auf 610 kg (1974) zu senken¹⁾.

In den anderen Industriezweigen wurde der Verbrauch fester Brennstoffe weit drastischer eingeschränkt (vom gesamten Industrieverbrauch entfielen daher 1974 bereits 83% auf die Eisenhütten, gegen nur 58% im Jahr 1960). In der *chemischen Industrie* z. B. sank der Anteil der festen Brennstoffe am Energieverbrauch von 29% auf 3%, in der *Stein- und keramischen Industrie* von 55% auf 5% und in der *Papierherzeugung* von 46% auf 7%. In der chemischen Industrie wurden feste Brennstoffe fast ausschließlich durch Gas (Anteilssteigerung von 35% auf 60%) ersetzt, in den beiden anderen Zweigen wurde sowohl auf Gas (Anteilssteigerung: Stein- und keramische Industrie von 19% auf 28%, Papierherzeugung von 12% auf 37%) als auch auf Heizöl (von 19% auf 28% und von 26% auf 41%) ausgewichen. In der *Erdölindustrie*, die keine festen Brennstoffe verwendet, wurde der Heizölanteil zu Lasten des Gasanteiles reduziert.

Die Möglichkeit der Industrie, zwischen verschiedenen Energiearten zu wählen, wird nicht nur durch die Produktionstechnik (z. B. in den Eisenhütten), sondern auch durch wirtschaftspolitische Überlegungen und die Verfügbarkeit bestimmter Energiearten begrenzt. *Wirtschaftspolitische Überlegungen*

¹⁾ Ähnliche Rückgänge lassen sich in anderen Industrieländern beobachten. Die OECD nahm 1972 in einer Studie an, daß die Koksrate zwischen 1960 und 1975 in der EWG (alt) von 883 kg auf 500 kg, in den USA von 766 kg auf 550 kg und in Japan von 677 kg auf 430 kg sinken werde (Problems and Prospects in the Coking Industry in the OECD Countries, S 22, OECD 1972)

Übersicht 6

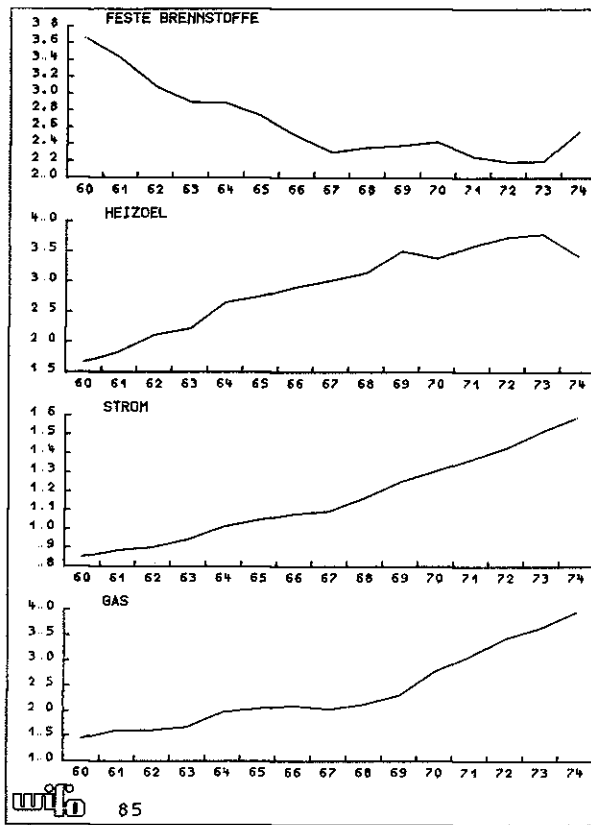
Verbrauch der Industrie an einzelnen Energiearten 1960, 1973 und 1974

	1960	1973	1974
	1 000 t SKE		
	a) Feste Brennstoffe		
INO	3 672 6	2 199 0	2 549 1
EIH	2 117 8	1 849 3	2 127 5
STK	473 8	67 9	61 7
CHE	227 3	32 0	36 2
PAE	306 4	86 0	146 3
	b) Heizöl		
INO	1 669 5	3 789 7	3 433 9
EIH	412 4	755 6	696 1
STK	176 2	843 9	753 9
CHE	140 0	290 8	223 9
PAE	172 5	416 2	385 6
NUG	249 1	383 5	382 7
	c) Strom		
INO	851 8	1 515 0	1 590 5
EIH	157 2	197 3	222 4
MEH	184 7	234 6	244 6
STK	51 9	123 2	126 0
CHE	133 7	256 8	276 3
PAE	108 5	214 8	221 5
	d) Gas		
INO	1 458 7	3 641 5	3 946 1
EOL	203 6	867 6	881 8
EIH	455 8	705 0	749 2
STK	167 9	410 8	436 6
CHE	278 1	629 9	823 6
PAE	79 3	457 4	440 2

NUG: Nahrungsmittel MEH: Metallhütten

Abbildung 4

Einzelenergieverbrauch der Industrie
(Mill. t SKE)



trugen offenbar dazu bei, daß der Bergbau seinen Anteil am Verbrauch heimischer Braunkohle verdoppelte und in der Industrie zum zweitgrößten Abnehmer nach der Stein- und keramischen Industrie wurde (der weitaus größte Abnehmer war die Elektrizitätswirtschaft, die jedoch hier nicht zur Industrie gezählt wird).

Die *Verfügbarkeit* (das mengenmäßige Angebot) bestimmt insbesondere den Einsatz von Erdgas. Industriebetriebe können sich nur dann auf Erdgas umstellen, wenn sie an das Leitungsnetz angeschlossen sind, und der *Leitungsausbau* orientiert sich am Gasangebot, das im Laufe der sechziger Jahre zunehmend von den Einfuhrmöglichkeiten abhing. Erst die seit 1968 mit der Sowjetunion abgeschlossenen Lieferverträge schufen die Voraussetzungen für die Substitution von Kohle durch Erdgas zu Beginn der siebziger Jahre.

Komponenten der Energieeinsparungen

Das Sinken des spezifischen Energieverbrauches und die Substitution zwischen verschiedenen Energiearten läßt sich auch unter einem etwas anderen

Gesichtspunkt behandeln. Man kann fragen, welche Mengen an Energie insgesamt dadurch erspart wurden, daß der Energieverbrauch schwächer stieg als die Produktion, und wie die Verbrauchsmargen der einzelnen Energieträger durch die Substitutionsprozesse beeinflußt wurden.

Um die Gesamteinsparungen an Energie zu ermitteln, wurde für jedes Jahr die Differenz zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und einer hypothetischen Größe gebildet, die erreicht worden wäre, wenn sich der spezifische Verbrauch seit dem Vorjahr nicht geändert hätte. Die Summierung der jährlichen Werte über die Zeit ergibt den Minderverbrauch für den gesamten Beobachtungszeitraum 1960 bis 1974¹⁾.

Nach diesen Berechnungen wurden zwischen 1960 und 1974 Einsparungen von insgesamt 33 Mill. t erzielt; das sind etwas weniger als die Hälfte des gesamten Energieverbrauches 1960. Die stärksten Einsparungen gab es 1966 und 1970 (je 370.000 t), wogegen sich 1964 ein Mehrverbrauch von fast 210.000 t ergab. Zu den Gesamteinsparungen von 33 Mill. t trugen erwartungsgemäß am meisten die energieintensiven Branchen bei, allen voran die Eisenhütten mit 19 Mill. t. Dann folgten Stein- und keramische Industrie (390.000 t), Nahrungsmittelindustrie (250.000 t), Bergbau (einschließlich Magnesit 240.000 t), Chemie (225.000 t) und Papiererzeugung (180.000 t). Einen starken Mehrverbrauch an Energie gab es nur in der Erdölindustrie (250.000 t).

Ebenso wie der Index des spezifischen Energieverbrauches lassen sich auch die Einsparungen an Energie in einen Struktureffekt und in einen Rationalisierungseffekt aufteilen. Zu diesem Zweck wurde für jedes Jahr der hypothetische Energieverbrauch berechnet, der zu erwarten gewesen wäre, wenn alle Branchen gleich schnell, nämlich wie im Industriedurchschnitt, gewachsen wären. Die Differenz zum tatsächlichen spezifischen Verbrauch ergibt den Mehr- oder Minderverbrauch, der dem Struktureffekt der Industrieproduktion zugeschrieben werden kann (siehe Anhang).

Die Aufspaltung ergab folgendes: Von den 33 Mill. t Gesamteinsparungen im Zeitraum 1960 bis 1974 waren über 23 Mill. t *Rationalisierungen* zu danken, d. h. dem Umstand, daß der spezifische Energieverbrauch in den einzelnen Branchen gesunken ist. Die auf diese Weise erzielten Einsparungen waren

¹⁾ Die Summe der auf diese Weise ermittelten jährlichen Einsparungen über den Zeitraum 1960 bis 1974 ist kleiner als die Differenz zwischen dem effektiven Verbrauch 1974 und einem hypothetischen Verbrauch, der als Produkt von Produktion 1974 und spezifischem Verbrauch 1960 gebildet wird (siehe Anhang).

Übersicht 7
Mehr- (+) und Minderverbrauch (—) der Industrie durch
Strukturänderungen und Rationalisierung 1960 bis 1974

	Struktureffekt	Rationalisierungseffekt
	1.000 t SKE	
Industrie	-960 1	-2.363 4
Bergbau	-264 7	+ 25 3
Erdöl	-170 8	+ 421 3
Eisenhütten	-914 5	- 974 6
Metallhütten	- 32 6	- 99 7
Steine, Keramik	+ 30 2	- 420 2
Chemie	+440 4	- 665 4
Papierherzeugung	+ 27 2	- 208 3
Nahrungs- und Genußmittel	-107 7	- 143 5

1966 (360.000 t), 1968 (390.000 t) und 1969 (250.000 t) besonders groß, in den Jahren 1962, 1964, 1967 und 1972 dagegen relativ gering. Die Höhe der jährlichen Einsparungen wurde maßgeblich von den Investitionszyklen und ihren (meist zeitlich verzögerten) Effekt auf den spezifischen Verbrauch bestimmt.

Von den einzelnen Branchen trugen die Eisenhütten (950.000 t) am meisten zu den Rationalisierungseinsparungen der Gesamtindustrie im Vergleichszeitraum bei. Der Minderverbrauch der Eisenhütten fiel besonders 1966 und 1968 ins Gewicht; 1966 wurde besonders viel investiert (um 40% mehr als im Vorjahr), 1968 wuchs die Produktion besonders kräftig und die steigende Kapazitätsauslastung drückte den spezifischen Energieverbrauch. Außer von den Eisenhütten ging auch von der chemischen Industrie (665.000 t), der Stein- und keramischen Industrie (420.000 t) und der Papierherzeugung (208.000 t) namhafte Rationalisierungseffekte aus.

Änderungen in der *Produktionsstruktur* (Verschiebungen zugunsten von Branchen mit relativ niedrigen Energiekoeffizienten) brachten im Vergleichszeitraum Einsparungen von 960.000 t (fast 30% der Gesamteinsparungen). Auch hier standen die Eisenhütten (914.000 t) an erster Stelle, da sie nicht nur einen besonders hohen Energiekoeffizienten haben, sondern außerdem weit unterdurchschnittlich wuchsen (die Produktion sank 1971 und 1972 relativ und 1967 sogar absolut). Strukturbedingte Einsparungen gab es ferner in den Bergwerken (264.000 t) und in der Erdölindustrie (170.000 t), wogegen die chemische Industrie, die einen relativ hohen Energiekoeffizienten hat und überdies mit Ausnahme von 1969 schneller wuchs als die Industrie insgesamt, einen bedeutenden strukturbedingten Mehrverbrauch (440.000 t) verursachte

Energie insgesamt kann in der Industrie nur durch Senkung des branchenspezifischen Energieverbrauches oder durch Verschiebungen in der Produktionsstruktur zugunsten von Branchen mit relativ niedrigen oder stark fallenden Energiekoeffizienten eingespart werden. Geht man auf die einzelnen Ener-

gieträger, dann kommt zu diesen Komponenten noch eine dritte hinzu: Der Mehr- oder Minderverbrauch einer Energieart infolge von Substitution. Wird z. B. Kohle durch andere Energieträger ersetzt, dann sinkt ihr spezifischer Verbrauch auch dann, wenn keine Einsparungen durch Rationalisierung oder Struktureffekte möglich sind. Daraus ergibt sich folgendes Berechnungsschema: Für jeden einzelnen Energieträger lassen sich ebenso wie für die Summe aller Energieträger Gesamteinsparungen als Differenz zwischen tatsächlichem Verbrauch und dem hypothetischen Verbrauch bei konstanten globalen Energiekoeffizienten berechnen. Ein Teil dieser Gesamteinsparungen geht auf Substitution zurück. Diese *Substitutionseinsparungen* werden ermittelt als Differenz zwischen dem tatsächlichen Verbrauch und einer hypothetischen Größe, die sich ergeben hätte, wenn alle Energiearten gleich schnell gewachsen wären (wenn keine Substitutionen stattgefunden hätten).

Übersicht 8
Gesamteinsparungen nach Energiearten 1960 bis 1974

	Feste Brennstoffe	Heizöl	Strom	Gas	Gesamt
	1.000 t SKE				
IND	-3.163 8	-616 2	-182 2	+638 7	-3.323 5
BGB	- 160 3	- 78 1	- 23 9	+ 23 0	- 239 4
EOL	- 0 0	- 67 6	+ 41 8	+276 3	+ 250 5
EIH	-1.366 0	-234 1	- 73 3	-189 7	-1.862 1
STK	- 577 4	+ 87 4	+ 5 1	+ 94 9	- 390 0
CHE	- 281 8	-144 1	- 14 3	+215 1	- 225 1
PAE	- 341 2	- 37 0	- 12 4	+209 6	- 181 1
NUG	- 112 1	-127 8	- 2 6	- 8 7	- 251 2

BGB: Bergbau und Magnesit.

Die Berechnungen wurden für vier Energiearten und alle Branchen durchgeführt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Im Zeitraum 1960 bis 1974 wurden insgesamt 3 16 Mill. t feste Brennstoffe, 0 62 Mill. t Heizöl und 0 18 Mill. t Strom eingespart; nur bei Gas ergab sich ein Mehrverbrauch von 0 64 Mill. t. Von den mehr als 3 Mill. t Gesamteinsparungen an Kohle lassen sich jedoch nur ein Drittel auf Rationalisierungen im Energieverbrauch und Strukturänderungen zurückführen; zwei Drittel des Minderverbrauches sind die Folge von Substitutionsvorgängen. 1960 bis 1974 wurden 2 18 Mill. t feste Brennstoffe (Braunkohle, Steinkohle, Koks) durch andere Energieträger ersetzt, davon 1 47 Mill. t durch Gas und 0 46 Mill. t durch Heizöl.

Ausmaß und Art der Substitutionsvorgänge waren je nach den technologischen Möglichkeiten von Branche zu Branche verschieden. Feste Brennstoffe wurden in besonders hohem Maße in der Stein- und keramischen Industrie ersetzt, und zwar vorwiegend durch Heizöl. In der Papierherzeugung (Gegendruckanlagen) und in der chemischen Industrie verdrängte

hauptsächlich das Gas die festen Brennstoffe. In den Eisenhütten stand einem substitutionsbedingten Minderverbrauch an festen Brennstoffen etwa zu gleichen Teilen ein substitutionsbedingter Mehrverbrauch an Heizöl und Gas gegenüber.

Substitutionseinsparungen nach Energiearten 1960 bis 1974

Übersicht 9

	Feste Brennstoffe	Heizöl	Strom	Gas
	1 000 t SKE			
IND	-2 175 6	+464 6	+236 9	+1 474 1
BGB	- 91 6	+ 25 1	+ 4 7	+ 62 0
EOL	- 0 0	- 91 7	+ 30 4	+ 61 3
EIH	- 311 3	+124 5	+ 25 8	+ 161 1
STK	- 537 9	+340 3	+ 36 1	+ 161 5
CHE	- 261 5	- 65 3	+ 29 0	+ 297 7
PAE	- 295 4	+ 28 7	+ 19 2	+ 247 5

Der Verbrauch im Jahr 1974

Der lange Zeit sinkende Trend der Realpreise für Energie wurde mit der „Erdölkrise“ im Herbst 1973 unterbrochen. Das legt nahe, die Entwicklung im Jahr 1974 besonders hervorzuheben und zu prüfen, wie sich die Verteuerungen von Energie und die Veränderungen der relativen Preise der einzelnen Energieträger auf Höhe und Struktur des Verbrauches ausgewirkt haben.

Der gesamte Energieverbrauch der Industrie stieg zwischen 1973 und 1974 von 11,1 Mrd. t auf 11,5 Mrd. t oder um 3,3%. Die relativ hohe Zuwachsrates (sie war höher als im Durchschnitt der letzten ein- einhalb Jahrzehnte) läßt darauf schließen, daß der Gesamtverbrauch vorerst kaum auf die sprunghafte Verteuerung von Energie reagiert hat. Dieser erste Eindruck wird bestätigt, wenn man mit Hilfe einer statistischen Schätzfunktion zu ermitteln versucht, welcher spezifische Verbrauch 1974 auf Grund der Erfahrungen in der Vergangenheit zu erwarten gewesen wäre.

Wie in den vorigen Abschnitten ausgeführt wurde, hängt der spezifische Energieverbrauch von der Branchenstruktur der Industrie und dem Rationalisierungstrend (der Effizienz des Energieeinsatzes) ab, der seinerseits von den kumulierten Investitionen bestimmt wird.

$$(1) SP = f (Struk, T)$$

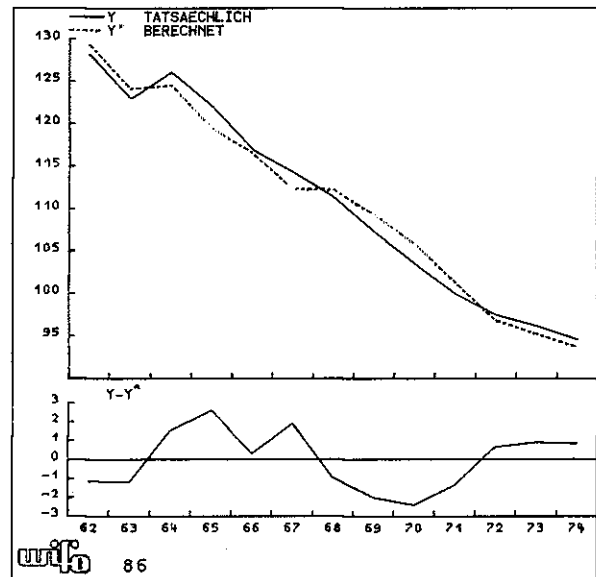
Die Schätzung dieser Gleichung brachte in verschiedenen Varianten statistisch befriedigende Ergebnisse:

$$(1a) SP = 136 \frac{23}{60} + 0 \frac{85}{23} Struk - 0 \frac{35}{23} T \quad R^2 = 0 \frac{97}{23}$$

$$(1b) SP = 216 \frac{23}{35} + 0 \frac{99}{16} Struk - 25 \frac{47}{16} \ln T_{-1} \quad R^2 = 0 \frac{98}{16}$$

$$(1c) \ln SP = 5 \frac{60}{30} + 0 \frac{01}{16} Struk - 0 \frac{2190}{16} \ln T_{-1} \quad R^2 = 0 \frac{98}{16}$$

Abbildung 5
Schätzung des spezifischen Energieverbrauches
(1971 = 100)



Wenn man die Parameter der Funktion auf Grund der Stützperiode 1960 bis 1973 ermittelt und mit ihnen den spezifischen Verbrauch für 1974 prognostiziert, so erhält man einen Schätzwert von 93,36, der nur wenig vom tatsächlich erzielten Wert von 94,78 abweicht. Der geschätzte effektive Verbrauch beträgt 11,4 Mrd. t und ist fast identisch mit dem tatsächlichen Verbrauch (11,5 Mrd. t). Der Energieverbrauch der Industrie hat sich daher im Jahre 1974 trotz den starken Energieverteuerungen ähnlich entwickelt, wie auf Grund der Erfahrungen zu erwarten war. Das schließt nicht aus, daß künftig (wenn größere energiesparende Investitionen wirksam werden) der spezifische Verbrauch stärker sinken wird.

Stärkere Umschichtungen fanden jedoch zwischen den einzelnen Energieträgern statt. Der Verbrauch an Heizöl sank um 9,4%, wogegen jener an festen Brennstoffen, der seit 1960 ständig zurückgegangen war, um 16% stieg. Strom wurde um 5% und Gas um 8% mehr verbraucht als 1973. Insgesamt wurden 483.000 t Heizöl (Substitutionseinsparungen) hauptsächlich in den Eisenhütten und in der chemischen Industrie durch 276.000 t feste Brennstoffe (hauptsächlich in den Eisenhütten) und 182.000 t Gas (hauptsächlich in der chemischen Industrie) ersetzt.

Die Umschichtungen im Verbrauch zwischen den einzelnen Energiearten wurden zumindest teilweise durch die Änderungen in den Preisrelationen ausgelöst. Die Preise für Heizöl schwer stiegen 1973/74

um 78% (1972/74 um 90%), von Steinkohle um 42% (21%), von Erdgas um 53% (20%) und von Strom um 20% (26%). Je t SKE gemessen, haben sich die Preise der einzelnen Energiearten in den letzten drei Jahren einander genähert.

Übersicht 10

Preise der Energiearten je kg SKE

	1972	1973	1974
	S je kg SKE		
Steinkohle	0 61	0 52	0 74
Koks	0 73	0 64	0 77
Braunkohle	1 46	1 28	1 54
Heizöl schwer	0 49	0 52	0 93
Erdgas	0 38	0 30	0 45
Fremdstrom	1 00	1 05	1 20

Q: Industriestatistik 1973 1974; Montanhandbuch 1974 S. 145

Anhang: Mathematische Ableitungen

1. Rationalisierungstrend

Der spezifische Energieverbrauch der Industriebranchen (SP_{it}) wird errechnet als der Quotient aus dem indizierten Effektivverbrauch ($Y_{it} = \frac{M_{it}}{M_{io}}$; M_{it} = effektiver Verbrauch) und dem Produktionsindex (PI_{it}) der jeweiligen Branche.

$$(1) SP_{it} = \frac{Y_{it}}{PI_{it}}$$

$i = 1, \dots, 20$ Branchen

$t = 1, \dots, 15$ Jahre

o = Basisjahr

T = Industrie insgesamt

Der spezifische Verbrauch der Gesamtindustrie (SP_{Tt}) wird aus den gewichteten Branchenindizes errechnet. Die Branchenindizes des Energieverbrauchs (Y_{it}) werden mit dem jeweiligen Anteil der Branche am Gesamtverbrauch der Industrie des betreffenden Jahres gewichtet (g_{it}), die Produktionsindizes mit dem Anteil der Branche am Nettoproduktionswert des Basisjahres (w_{io}); die Energiegewichte (s_{it}) ergeben sich als Quotient daraus.

$$(2) Y_{Tt} = \frac{\sum_i Y_{it} \cdot M_{it}}{\sum_i M_{it}} = \sum_i Y_{it} \cdot g_{it}$$

$$PI_{Tt} = \frac{\sum_i PI_{it} \cdot w_{io}}{\sum_i w_{io}}$$

$$(3) SP_{Tt} = \frac{Y_{Tt}}{PI_{Tt}} = \frac{\sum_i Y_{it} \cdot g_{it}}{\sum_i PI_{it} \cdot w_{io}} = \sum_i SP_{it} \cdot \frac{g_{it}}{w_{io}} = \sum_i SP_{it} \cdot s_{it}$$

Zur Berechnung des Rationalisierungstrends werden hypothetische Energiegewichte benötigt, die aus jenem Branchenverbrauch M_{it}^+ berechnet werden,

der sich ergeben hätte, wenn alle Branchen gleich schnell, nämlich wie der Industriedurchschnitt, gewachsen wären

$$(4) M_{it}^+ = SP_{it-1} \cdot PI_{it-1} \cdot M_{io} \cdot \frac{PI_{Tt}}{PI_{Tt-1}}$$

Die hypothetischen Energiegewichte lauten also:

$$(5) g_{it}^+ = \frac{M_{it}^+}{\sum_i M_{it}^+}$$

Der Rationalisierungstrend (RT_t) wird errechnet als:

$$(6) RT_t = \frac{\sum_i SP_{it} \cdot g_{it}^+}{\sum_i SP_{it} \cdot s_{it}}$$

2. Berechnung der Einsparungen für die Industrie

Die Gesamteinsparungen (E_t) werden ermittelt aus dem effektiven Verbrauch im Zeitpunkt t (M_t) und jenem Verbrauch, der sich ergeben hätte, wenn der spezifische Verbrauch zwischen $t-1$ und t unverändert geblieben wäre (\bar{M}_t).

$$(7) \bar{M}_t = SP_t \cdot PI_t \cdot M_o$$

$$M_t = SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot M_o$$

$$(8) E_t = M_t - \bar{M}_t = SP_t \cdot PI_t \cdot M_o - SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot M_o = SP_t \cdot PI_t \cdot M_o - SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}} \cdot M_o = M_t - (M_{t-1} \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}})$$

Die Gesamteinsparung kann aufgeteilt werden in eine produktionsstrukturbedingte Einsparung (ES_t) und eine Rationalisierungseinsparung (ER_t).

$$(9) E_t = ES_t + ER_t$$

Die Struktureinsparung (ES_t) ergibt sich aus der Differenz zwischen effektivem Verbrauch in t (M_t) und jenem hypothetischen Verbrauch, der bei gleichförmigem Produktionswachstum entstanden wäre (MR_t).

$$(10) MR_t = \sum_i M_{it}^+ = SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot M_o \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}}$$

$$(11) ES_t = M_t - MR_t = SP_t \cdot PI_t \cdot M_o - SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot M_o \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}} = SP_t \cdot PI_t \cdot M_o - SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot M_o \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}} \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}} = M_t - (M_{t-1} \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}} \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}})$$

Laut Gleichung (9) ist die Rationalisierungseinsparung gleich der Differenz zwischen Gesamteinsparung und Struktureinsparung.

$$\begin{aligned}
 (12) \quad ER_t &= E_t - ES_t = M_t - \bar{M}_t - M_t + MR_t = MR_t - \bar{M}_t = \\
 &= SP_{t-1} \cdot PI_t \cdot M_0 \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}} - SP_{t-1} \cdot PI_t \cdot M_0 = \\
 &SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot M_0 \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}} \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}} - SP_{t-1} \cdot PI_{t-1} \cdot M_0 \cdot \\
 &\frac{PI_t}{PI_{t-1}} = M_{t-1} \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}} \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}} - M_{t-1} \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}} = \\
 &= M_{t-1} \left(\frac{PI_t}{PI_{t-1}} \cdot \frac{RT_t}{RT_{t-1}} - \frac{PI_t}{PI_{t-1}} \right)
 \end{aligned}$$

Bei den einzelnen Energiearten ergeben sich zusätzlich zu den oben genannten Einsparungen auch Substitutionseinsparungen (ESU_t). Um diese für die Gesamtindustrie zu berechnen, muß für jede Energieart ein hypothetischer Verbrauch (msu_t) kalkuliert werden, der erreicht worden wäre, wenn keine Substitution stattgefunden hätte, und somit der Verbrauch aller Energiearten gleich schnell gewachsen wäre. Die Einsparung ergibt sich dann aus dem tatsächlichen Einzelenergieverbrauch (m_t) abzüglich dem hypothetischen Verbrauch (msu_t).

$$(13) \quad msu_t = sp_{t-1} \cdot \frac{SP_t}{SP_{t-1}} \cdot PI_t \cdot m_0$$

$$\begin{aligned}
 (14) \quad ESU_t &= m_t - msu_t = sp_t \cdot PI_t \cdot m_0 - sp_{t-1} \cdot \frac{SP_t}{SP_{t-1}} \cdot \\
 &PI_t \cdot m_0 = m_t - \left(m_{t-1} \cdot \frac{SP_t}{SP_{t-1}} \cdot \frac{PI_t}{PI_{t-1}} \right)
 \end{aligned}$$

Erklärung der Symbole:

- M = Effektiver Energieverbrauch
- Y = Index des effektiven Energieverbrauches
- PI = Produktionsindex
- SP = Index des spezifischen Energieverbrauches
- RT = Rationalisierungstrend
- E = Gesamteinsparung
- ER = Rationalisierungseinsparung
- ES = Struktureinsparung
- ESU = Substitutionseinsparung

Kurt Bayer