

Der Einfluß des technologischen Fortschritts und der Produktstrukturentwicklung auf den Energieverbrauch der Verarbeitenden Industrie

Ursula Hauser, Eberhard Jochem, Willi Mannsbart

- [17] *Klauder, W.*: Zu den Arbeitsmarktauswirkungen unterschiedlicher Energiestrukturen, in: *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung*, 13. Jg./1980, Heft 1, S. 1–15.
- [18] *Donges, J. B., Fels, G., Neu, A. D., u. a.*: *Protektion und Branchenstruktur der westdeutschen Wirtschaft*. Kieler Studie Nr. 123, Tübingen 1973.
- [19] *Bergmann, Chr., Eckerle, K., Franzen, D., Grundmann, H. E., Masuhr, K.*: *Die Bundesrepublik Deutschland 1985, 1990, 1995. Prognos Report Nr. 9*, Basel 1979.
- [20] *Scholz, L.*: Strukturwandel der deutschen Wirtschaft – Folgewirkungen von Verknappungs- und Verteuerungstendenzen im Energiebereich, in: *V. Hauff (Hrsg.), Energie – Wachstum – Arbeitsplätze. Argumente in der Energiediskussion*, Bd. 4–5, Villingen-Schwenningen, Dezember 1978.
- [21] *Baumann, H., Hermann, A., Ketterer, K.-H., Kiera, H.-G., Seeling, R., Thoben, Ch.*: *Die Entwicklung der Außenhandelsstruktur, der Industriestruktur und der Auslandsinvestitionen der deutschen Wirtschaft unter Berücksichtigung des Einflusses der Wechselkursänderungen*, Hauptbericht zu einem Gutachten des Ifo-Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, München/Essen, im Juli 1976.

Die mit * gezeichneten Literaturangaben beziehen sich auf Quellen, die im Tabellenteil Verwendung fanden.

Problemstellung

In diesem Beitrag soll die bei Garnreiter/Legler auf makroökonomischem Niveau geführte Diskussion über die Determinanten des Energieverbrauchs in der Verarbeitenden Industrie vertieft werden. Hierbei stellt sich das Problem, die Entwicklung des branchenspezifischen Energieverbrauchs auf ökonomische und technologische Faktoren und auf strukturelle Entwicklungen zurückzuführen. Diese Aufgabe macht eine wesentliche Verminderung des Aggregationsniveaus erforderlich.

Wichtig erscheint zunächst eine funktionale Trennung des Endenergieverbrauchs der einzelnen Branchen nach Stromverbrauch sowie Brennstoff- und Fernwärmeverbrauch (im folgenden kurz Brennstoffverbrauch genannt). Während Brennstoffe fast ausschließlich zur Prozeß- und Raumwärmeerzeugung eingesetzt werden, dient Strom, wenn man von einigen elektrochemischen und elektrothermischen Produktionsverfahren vor allem in der Chemischen Industrie und der Metallerzeugung absieht, zur Krafterzeugung, Beleuchtung und Informationsverarbeitung.

Neben Einflüssen, die zu kurzfristigen Schwankungen des spezifischen Brennstoff- und Stromverbrauchs beitragen (z. B. Kapazitätsauslastung und Witterung), konzentrieren sich die folgenden Überlegungen auf

- strukturelle Entwicklungen, insbesondere Produktstruktur-, Anlagengrößen- und Betriebsgrößenentwicklung, sowie*
- technologische Determinanten, wobei zwischen Verfahrenssubstitution, -verbesserungen sowie Abwärmenutzung, Wärmerückgewinnung und Abfallverbrennung unterschieden wird.*

Die Vielfalt dieser Determinanten deutet bereits an, daß man sich bei diesen Analysen heute am Anfang der Diskussion befindet.

1. Abnehmender spezifischer Brennstoffeinsatz und zunehmender spezifischer Stromverbrauch

Im allgemeinen hat der Brennstoffverbrauch in der Verarbeitenden Industrie in der Vergangenheit stärker abgenommen als der spezifische Energieverbrauch. Für die Verarbeitende Industrie insgesamt errechnet man eine Abnahme von 38% des spezifischen Brennstoffverbrauchs zwischen 1960 und 1977, während der spezifische Endenergieverbrauch nur um 32% zurückging. Lediglich in der Mineralölverarbeitung (aufgrund eines höheren Konversionsgrades der Raffinerien), bei Sägewerken und in der Holzbearbeitenden Industrie sowie beim Maschinen- und Fahrzeugbau ist der Brennstoffeinsatz je Produkteinheit gestiegen (vgl. Tabelle 1).

Die gegenüber den Endenergiewerten stärker abnehmenden (oder verhaltener steigenden) Brennstoffwerte bedeuten zugleich, daß der spezifische Stromverbrauch weniger als der Endenergieverbrauch abgenommen hat, wenn er nicht gar angestiegen ist, was mit Ausnahme der Grundstoffindustrie

Branche	Veränderungen des spez. Brennstoffverbrauchs ¹⁾				Veränderungen des spez. Stromverbrauchs ¹⁾			
	1960/65	1965/69	1970/74	1975/77	1960/65	1965/70	1970/75	1975/77
Verarbeitende Industrie	-3,2	-2,2	-2,8	-3,3	0,3	0,8	1,4	-1,4
Grundstoff-industrie	-4,1	-3,6	-2,8	-3,8	-0,4	-0,9	1,6	-1,9
Investitions-güter	1,2	-1,9	-1,7	-0,9	2,1	1,5	1,3	0
Verbrauchs-güterindustrie	-2,8	-0,5	-2,5	-0,5	0,8	3,2	2,3	0,7
Nahrungs- und Genußmittel	-2,9	-0,9	-1,5	-1,3	0,5	2,5	2,9	-0,3

¹⁾ In GJ bzw. kWh je TDM Nettoproduktionsvolumen in Preisen von 1970
Quellen: [1], [2] Eigene Berechnungen.

Tab. 1: Jahresdurchschnittliche Veränderungen des spezifischen Brennstoff- und Stromverbrauchs in der Verarbeitenden Industrie in v. H. pro Jahr; Bundesgebiet 1960–1977

Jahr	Industrie			Verkehr			Private Haushalte und Kleinverbrauch		
	darunter:	Strom	Brennstoff	darunter:	Strom	Brennstoff	darunter:	Strom	Brennstoff
1960	48,5	11,0	89,0	15,5	2,1	97,9	36,0	6,4	93,6
1965	42,7	13,2	86,8	16,4	2,3	97,7	40,9	7,7	92,3
1970	39,4	15,2	84,8	17,2	2,5	97,5	43,4	9,7	90,3
1975	35,9	18,8	81,2	19,8	2,4	97,6	44,3	14,1	85,9
1978	34,2	19,8	80,2	20,9	2,2	97,8	44,9	15,0	85,0

Quelle: [1]

Tab. 2: Endenergieanteile der drei Sektoren Industrie, Verkehr sowie private Haushalte und Kleinverbraucher sowie Strom- und Brennstoffanteile innerhalb der Sektoren 1960–1978 (in v. H.)

und der Periode 1975/77 stets der Fall war (vgl. Tabelle 1). Für die Verarbeitende Industrie insgesamt errechnet man eine Zunahme des spezifischen Stromverbrauchs von 10 % zwischen 1960 und 1977. Die stärkste Zunahme der Stromwerte hatten die Investitionsgüter- und Verbrauchsgüter-Industrie zu verzeichnen. Der gegenläufige Trend von spezifischem Brennstoff- und Stromverbrauch führte dazu, daß sich der Stromanteil am Endenergieverbrauch der Verarbeitenden Industrie in den letzten zwei Jahrzehnten knapp verdoppelt hat und heute bei rd. 20 % liegt (vgl. Tabelle 2).

Bei der Vielfalt der industriellen Produktionsverfahren und Produkte ist es schwierig, die Entwicklung des Energieverbrauchs auf wenige wesentliche Determinanten zurückzuführen, da es sich häufig um branchenspezifische Einflußfaktoren handelt, deren statistische Daten zudem in vielen Fällen nicht verfügbar sind. Wenn deshalb im folgenden die Vergangenheitsentwicklung einzelner Industriezweige relativ differenziert nach einzelnen Determinanten hin analysiert wird, dann soll dies zunächst zum *Verständnis der Entwicklung* dienen. Inwieweit das Differenzierungsniveau für Projektionszwecke herangezogen wird, sollte man von der Stärke und den Veränderungen der Determinanten abhängig machen. Andernfalls steht der Prognostiker vor dem Problem, die Entwicklung einer Vielzahl von Determinanten abzuschätzen (vgl. Herz/Jochem in diesem Heft).

2. Einflüsse auf kurzfristige Schwankungen der spezifischen Verbrauchswerte

Während Konjunktur- und Witterungseinflüsse bei der Einschätzung des Primärenergieverbrauchs oder zur Korrektur eines Basisjahres einer Energiebedarfsschätzung global berücksichtigt werden [3], geht man diesen Faktoren auf disaggregierter Ebene eher in Ausnahmefällen nach [4]. Dies ist verständlich, da der Analyseaufwand zur Bereinigung des statistischen Materials sehr groß werden kann und die „Tref-ferwahrscheinlichkeit“ bei langfristigen Projektionen nur geringfügig verbessert wird [5].

2.1 Einfluß des Raumwärmebedarfs

Bei Energieverbrauchssektoren mit relativ hohem Raumwärmeanteil, z. B. in einigen Branchen der Investitions- und Konsumgüterindustrie, können witterungsbedingte Einflüsse den spezifischen Brennstoffverbrauch in kalten bzw. warmen Jahren um $\pm 10\%$ verändern. Wenngleich dieser Einfluß erfahrungsgemäß bekannt ist, ließ er sich doch mit regressionsanalytischen Methoden nicht nachvollziehen. In Branchen mit einem Brennstoffbedarf von mehr als 5 GJ je TDM Nettoproduktion ist der Einfluß der Witterung nicht nur wegen des relativ unbedeutenden Raumwärmeanteils vernachlässigbar, sondern auch deshalb, weil die Wärmeverluste energieintensiver Prozesse teilweise direkt als Raumwärme genutzt werden können.

2.2 Einfluß der Kapazitätsauslastung

Systematische Untersuchungen über den Einfluß der Kapazitätsauslastung in einzelnen Branchen sind den Autoren nicht bekannt, wenngleich immer wieder auf diesen Einfluß für die Industrie insgesamt hingewiesen wird [6]. Grundsätzlich ist ein Einfluß der *Kapazitätsauslastung* dort zu vermuten, wo die Energieverluste – sei es Wärme oder Kraft – bei geringerer Kapazitätsauslastung dadurch zunehmen, daß beispielsweise

- die Produktionsanlagen weniger kontinuierlich gefahren werden und damit höhere Stillstandszeiten sowie An- und Abfahrtsverluste auftreten oder
- die Produktionsanlagen nicht mit optimaler Durchsatzmenge gefahren werden, so daß sich das Verhältnis von Nutzenergie zu Energieverlusten verändert.

Der Einfluß der Kapazitätsauslastung auf den spezifischen Energieverbrauch ist somit branchenspezifisch, da die Höhe der Verluste infolge einer Unter- oder Überauslastung von branchenspezifischen anlagen- und maschinentechnischen sowie organisatorischen Gegebenheiten (z. B. Mehrschichtbetrieb) abhängt.

Eine Kapazitätsauslastung zwischen 80 und 95 % verändert beispielsweise den spezifischen Stromverbrauch der Steine- und Erden-Industrie bis zu 5 % (vgl. Tabelle 3). Technologisch sind diese Schwankungen im Stromverbrauch einerseits auf Schwankungen der Auslastung von Produktions- und Transportanlagen zurückzuführen. Andererseits spielt bei hoher Auslastung die Zementherstellung eine Rolle, die rd. die Hälfte des Stromverbrauchs der Steine- und Erden-Industrie be-

Steine und Erden übrige Steine und Erden ¹⁾	Stromverbrauch [kWh/DM NP]	$s = 0,73$	$- 0,00183 \cdot \text{Kap} + 0,0282 \cdot \text{Int}$	$R^2 = 0,80^{**}$
	Stromverbrauch [kWh/DM Ums.]	$s = 0,402$	$- 0,00372 \cdot A_{D,T} + 0,00673 \cdot t$	$DW = 1,06^b$ $R^2 = 0,82^{**}$
Zellstoff und Papier	Brennstoffverbrauch [kWh/t]	$b = 3150$	$+ 5,26 \cdot A_{Zell} \cdot t - 84,8 \cdot t$	$R^2 = 0,88^{**}$
	Stromverbrauch [kWh/t]	$s = 266$	$+ 34,4 \cdot A_{HSchl} + 61,4 \cdot \text{Int}$	$DW = 1,33^a$ $R^2 = 0,91^{**}$
Eisenschaffende Industrie Kalkindustrie	Brennstoffverbrauch [GJ/TDM NP]	$b = 75,8$	$- 0,131 \cdot A_{oxy} - 3,72 \cdot \text{Int}$	$R^2 = 0,96^{**}$
	Brennstoffverbrauch [kWh/t]	$b = 1141$	$+ 11,2 \cdot A_{Dreh} - 104 \cdot \text{Int}$	$DW = 2,15^a$ $R^2 = 0,92^{**}$ $DW = 1,5^a$
¹⁾ Steine und Erden abzgl. Zement, Kalk, Feuerfest, Ziegel, Naturstein, Kalksandstein, Betonstein Kap: Kapazitätsauslastung $A_{D,T}$: Produktionsanteil für Dämmstoffe und Transportbeton A_{Zell} : Produktionsanteil für Zellstoff A_{HSchl} : Produktionsanteil für Holzschliff A_{oxy} : Produktionsanteil für Sauerstoffstahl A_{Dreh} : Produktionsanteil für Drehrohren				
^{**} signifikant bei 1 v. H., * bei 2 v. H. Irrtumswahrscheinlichkeit ^a bei 5 v. H. Irrtumswahrscheinlichkeit keine Autoregression; ^b DW-Test im Unscharfgebiet				
Quellen: [1] [2] [8] [14]				

Tab. 3: Kapazitätsauslastung, Produktstruktur und Verfahrenssubstitution als Determinanten des Energieverbrauchs in Branchen der Verarbeitenden Industrie, 1960–1977 (t-Werte in Klammern)

nötigt. In Hochkonjunkturzeiten neigt man dort dazu, die stromintensiven Mahlprozesse wegen Totalauslastung der Zementmühlen auf ein zeitliches Minimum zu Lasten der Zementqualität zu reduzieren.

Gerade bei Trendfortschreibungen des spezifischen Energieverbrauchs wäre es deshalb sinnvoll, die empirischen Daten auf Kapazitätseinflüsse hin zu untersuchen und gegebenenfalls um Auslastungsschwankungen zu bereinigen.

3. Der Einfluß von Produktstruktur und Betriebs- bzw. Anlagengröße

3.1 Produktstrukturwandel

Wenn sich innerhalb einer Branche die Struktur zu weniger energieintensiven Produkten verschiebt, trägt dies zur Verminderung des spezifischen Energieverbrauchs bei – wie es bereits bei Garnreiter/Legler für die Verbrauchsentwicklung der Verarbeitenden Industrie insgesamt diskutiert wurde.

Der Beitrag des Produktstrukturwandels zur Veränderung des spezifischen Energieverbrauchs kann für einzelne Branchen erheblich sein. Modellrechnungen für die Chemische Industrie, die ihren spezifischen Endenergieverbrauch seit 1960 mit 5,5 v. H. im Jahresdurchschnitt unter allen Industriezweigen am deutlichsten senken konnte, auf der Basis von Schätzungen des Energieverbrauchs von 28 Warengruppen lassen darauf schließen, daß der Strukturwandel bei chemischen Erzeugnissen

- zwischen 1968 und 1973 etwa zu einem Viertel zur jahresdurchschnittlichen Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs beitrug und
- seit 1974 – nach einer markanten Strukturverschiebung zu energieintensiven Erzeugnissen für 1973/74 – zu etwa 80 v. H. (vgl. Bild 1) [7].

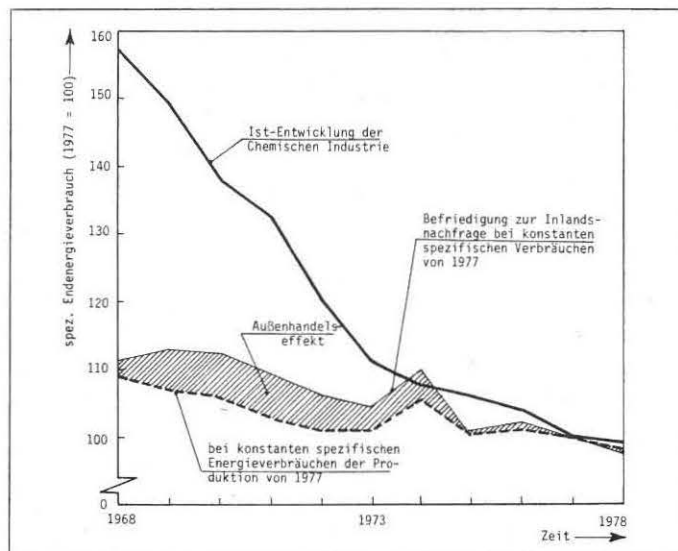


Bild 1: Spezifischer Endenergieverbrauch der Chemischen Industrie, spezifischer Verbrauch zur Herstellung chemischer Erzeugnisse sowie zur Befriedigung der Inlandsnachfrage nach chemischen Erzeugnissen bei konstantem spezifischen Energieverbrauch von 1977, Bundesrepublik 1968 bis 1978 (1977 = 100) Quelle: [7]

Zu der Frage, inwieweit der intrasektorale Strukturwandel außenhandelsbedingt ist, lassen sich erste grobe Aussagen machen: Der spezifische Energieverbrauch des Exportsektors chemischer Produkte hatte eine fallende Tendenz und trug somit zur Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs der Chemischen Industrie bei. Der Importsubstitutionssektor, der Anfang der 70er Jahre energieintensiver als der Exportsektor gewesen war, reduzierte bis 1979 seinen spezifischen Energieverbrauch auf das Niveau des Exportsektors.

Über den Einfluß einzelner Produkte oder Produktgruppen auf den spezifischen Brennstoff- bzw. Stromverbrauch läßt sich auf der Basis eigener Untersuchungen [8] exemplarisch folgendes sagen:

- Die Entwicklung des spezifischen *Brennstoffverbrauchs* der Papier- und Zellstoffindustrie ist deutlich von der Entwicklung der Zellstoffproduktion abhängig (vgl. Tabelle 3), die mit rd. 16 GJ/t Prozeßwärmebedarf mehr als doppelt so energieintensiv ist wie die Papierherstellung; ähnliches gilt für die Natursteine-Industrie, wo der stark ansteigende Produktionsanteil des bituminösen Mischguts, der von rd. 10 v. H. im Jahre 1960 auf ein Viertel des Branchenumsatzes Mitte der 70er Jahre emporschnellte, entscheidend dazu beitrug, daß sich der spezifische Brennstoffverbrauch in diesem Zeitraum mehr als verdoppelte;
- die Entwicklung des spezifischen *Stromverbrauchs* der Papier- und Zellstoffindustrie ist vom Produktionsanteil des Holzschliffs beeinflusst, zu dessen Herstellung beim Schleifen ein zwei- bis dreifach höherer Strombedarf als zur Erzeugung von Zellstoff und Papier benötigt wird (vgl. Tabelle 3). Durch den um vier Prozentpunkte höheren Holzschliffanteil der baden-württembergischen Zellstoff- und Papier-Industrie im Jahre 1976 ließ sich z. B. der gegenüber dem

Bundesdurchschnitt höhere spezifische Stromverbrauch erklären. Analoges gilt für die „Übrige Steine-und-Erden-Industrie“¹⁾, deren spezifischer Stromverbrauch zwischen 1960 und 1976 in sehr ungewöhnlicher Weise um rd. 30 v. H. abnahm; diese Abnahme ist in erster Linie auf die Erhöhung des Anteils von Dämm- und Isoliermaterial sowie Transportbeton von 15 v. H. auf zwei Drittel Mitte der 70er Jahre zurückzuführen, d. h. auf die Expansion von Produktgruppen mit sehr geringem spezifischen Stromverbrauch.

Gerade die beiden Beispiele aus der Steine-und-Erden-Industrie demonstrieren nicht nur, wie stark der Einfluß von intra-sektoralen Produktstrukturveränderungen sein kann, sondern auch die *Fehlermöglichkeiten bei einfacher Trendfortschreibung*. Denn in beiden Fällen dürfte sich die Tendenz des spezifischen Energieverbrauchs umkehren, d. h., bei stagnierendem Anteil des bituminösen Mischguts wird der spezifische Brennstoffverbrauch der Naturstein-Industrie infolge energietechnischer Verbesserungen abnehmen. Analog dürfte bei in Zukunft kaum zunehmendem Produktionsanteil für Dämm- und Isolierstoffe sowie Transportbeton der spezifische Stromverbrauch der „Übrigen Steine-und-Erden-Industrie“ infolge stärkerer Mechanisierung und Automation zunehmen.

3.2 Anlagen- bzw. Betriebsgröße

Aus thermodynamischen Gründen haben größere Anlagen i. allg. einen geringeren spezifischen Prozeßwärmebedarf als kleine Anlagen, da deren Wärmeverluste häufig größer und deren Ausbeuten nicht selten kleiner sind. Hinzu kommt, daß größere Anlagen bzw. Maschinen stärker mechanisiert bzw. automatisiert sind und in größeren Betrieben eher zwei oder drei Schichten gefahren werden als in kleinen Betrieben. Diese Faktoren vermeiden Wärmeverluste durch Stillstandszeiten diskontinuierlicher Produktionsverfahren oder durch Ab- und Anfahren bei Ein- und Zweischichtbetrieb.

Empirisch lassen sich diese Einflüsse beispielsweise in den abnehmenden Energiekostenanteilen bei zunehmender Betriebsgröße in den Veröffentlichungen zur Kostenstruktur des Statistischen Bundesamtes belegen, wenngleich bei Berücksichtigung günstigerer Energiebezugspreise für große Betriebe der Unterschied des spezifischen Energieverbrauchs weitaus geringer ausfallen dürfte. Längsschnittanalysen für einige Branchen der Nahrungsmittelindustrie ergaben allerdings keinen signifikanten Einfluß der Betriebsgröße, da andere Faktoren die Entwicklung mitbeeinflussten.

4. Technologische Determinanten

Die in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Einflußfaktoren erklärten die Entwicklung der spezifischen Energieverbräuche jeweils nur teilweise. In den Regressionsgleichungen stand i. allg. die Zeitvariable t für folgende technologische Faktoren:

- die Verfahrenssubstitution, d. h., das qualitativ gleiche oder ähnliche Produkt wird durch ein anderes Verfahren hergestellt;

- Verfahrensverbesserungen (Wirkungsgrad- und Ausbeuterverbesserungen) sowie
- Vermeidung von Wärmeverlusten durch Abwärmenutzung, Wärmerückgewinnung oder Isolation sowie Verbrennung von Produktionsrückständen.

Während der Einfluß der Verfahrenssubstitution (gerade bei energieintensiven Prozessen) datenmäßig und statistisch separierbar ist, scheitert der Versuch für die Verfahrensverbesserungen und die Vermeidung von Wärmeverlusten daran, daß diese technologischen Verbesserungen in vielen einzelnen kleinen Schritten erfolgen, die datenmäßig gar nicht zu erfassen sind. Man wird sich daher immer mit Hilfsvariablen wie die Zeit oder die kumulierten Bruttoanlageinvestitionen [9] begnügen müssen. Entscheidend ist jedoch, daß zuvor wesentliche ökonomische oder technologische Determinanten (z. B. intrasektorale Produkt- und Verfahrensstrukturänderungen) identifiziert werden und ihr jeweiliger Beitrag abgeschätzt wird.

4.1 Verfahrenssubstitution

Das Sauerstoffaufblasverfahren substituierte bei der Stahlherstellung das energieintensivere Thomasverfahren; es drängte außerdem das Siemens-Martin-Verfahren von knapp 50 v. H. Produktionsanteil im Jahre 1960 auf gut 10 v. H. im Jahre 1978 zurück und erreicht heute einen Produktionsanteil von knapp 75 v. H. Diese Verfahrenssubstitution reduzierte den spezifischen Brennstoffverbrauch der Eisenschaffenden Industrie um gut 10 v. H. zwischen 1960 und 1977 (vgl. Tabelle 3). Bezogen auf den Gesamtrückgang des spezifischen Brennstoffverbrauchs trug die Verfahrenssubstitution allein rd. 40 v. H. bei.

Allerdings können Verfahrenssubstitutionen auch mit höherem Brennstoffverbrauch verbunden sein, so z. B. in allen Branchen, die von der Naturtrocknung auf die thermische Trocknung übergingen. Dies gilt z. B. für die Ziegelindustrie, die in den 60er Jahren die thermische Trocknung einführte. Der spezifische Brennstoffverbrauch stieg binnen zehn Jahren um 40 v. H., um in den darauffolgenden sieben Jahren durch rationelle Nutzung der Energie auf die Werte von 1960 zurückzusinken (vgl. Bild 2). Im Ergebnis ähnlich ist die Einführung des Drehrohrofens in der Kalkindustrie Mitte der 60er Jahre, der zwar einen um 25 v. H. höheren Brennstoffbedarf gegenüber dem Schachtofen hat, aber jenen Feinkornanteil ungebrannten Kalks noch verarbeiten kann, der für den Schachtofenbetrieb ungeeignet ist. Nach Erreichen des produktionstechnisch bedingten maximalen Drehrohrofenanteils von 20 v. H. an der Gesamtkalkproduktion setzen sich seit Mitte der 70er Jahre die Erfolge energietechnischer Verbesserungen wieder fort, wie sie Anfang der 60er Jahre zu beobachten waren (vgl. Bild 2).

4.2 Verfahrensverbesserungen

Die meisten der durchgeführten Verfahrensänderungen zielen auf Rationalisierungsinvestitionen zur Verminderung der Lohn- und Gehaltskosten [9]. Weitere Gründe sind die Erzeugung verbesserter und reproduzierbarer Warenqualität Kostenverminderung für Hilfsmiteileinsatz, Frischwasserbedarf und Energie sowie der Rationalisierungsdruck auf dem Gebiet des Umweltschutzes. Zumindest in den 60er Jahren

¹⁾ Steine und Erden abzüglich Zement, Kalk, feuerfeste Erzeugnisse aller Art, Ziegel, Natursteine, Betonsteine, Kalksandsteine.

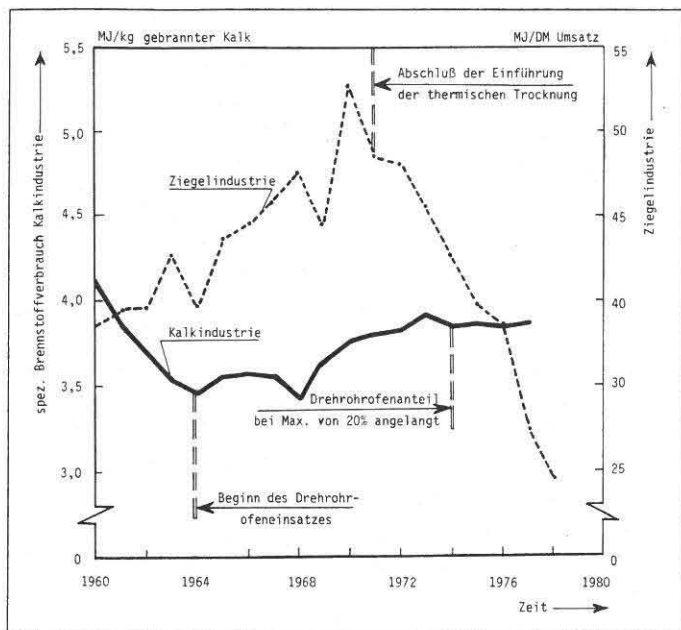


Bild 2: Einfluß der Verfahrenssubstitution in der Ziegel- und Kalkindustrie, 1960–1978 [8] Quelle: [8]

war ein geringerer spezifischer Energieverbrauch eine weniger wichtige Nebenerscheinung von Verfahrensänderungen. Nach einer Erhebung des Ifo-Instituts ist seit 1974 eine stärkere Gewichtung der Rationalisierungsinvestitionen zu beobachten, die sich nicht auf die Verminderung der Lohn- und Gehaltskosten konzentrieren [9].

Produktivitätssteigernd wirkten sich der Übergang von diskontinuierlichen auf *kontinuierliche Produktionsabläufe* (z. B. Stranggießen statt Kokillenguß in der Metallerzeugung), Verwendung von Zusatzgeräten, die eine kontinuierliche Beschickung von Maschinen ermöglichen, Mechanisierung und Automation sowie Wirkungsgradverbesserungen in den Anlagen aus [10].

Ein weiteres Feld der Verfahrensverbesserung ist die *Trocknung*. Beispielsweise wird bei Zylindertrocknern in der Textilindustrie über die Oberfläche der Ware Luft geblasen, um die Dampfpolster zu entfernen und damit die Konvektion zu erleichtern [10]. Offene Kontaktrockner, wie sie beispielsweise noch in der Papierindustrie verwendet werden, erfordern eine sehr hohe Luftumwälzung mit entsprechendem Stromverbrauch. Bei Verwendung isolierter Dunsthauben und Optimierung der Taupunkttemperatur sowie des Sättigungsgrades der Luft kann die Ventilatorleistung erheblich reduziert werden. Ähnliche Verbesserungen bringt die Abluftfeuchterege- lung bei Trocknungsvorgängen, z. B. in Spannrahmen der Textilindustrie, die Heizenergieeinsparungen von 10 bis 20% bei mittlerer bzw. schwerer Ware realisieren kann. Rund 15% der Trocknungsenergie in der Ziegelindustrie sind durch Beseitigung von Luftkurzschluß, bessere Nutzung der Luft beim Durchtritt durch den Trockner, strömungsgünstigere Anordnung der Ein- und Austrittsstellen, Beseitigung von Undichtigkeiten und sachgerechter Bedienung der Trocknertüren einzusparen.

Außer der *Vermeidung von Wärmeverlusten* durch Transmission und Strahlung kann die *Verminderung von innerbetrieblichen Rohstoffkreisläufen* Energie einsparen, wie z. B. durch Verwendung möglichst weit vorgeformter Rohlinge in der spanabhebenden Fertigung oder durch Vermeidung des Kokillengusses in der Metallerzeugung.

Auch die *Meß- und Regeltechnik* kann insbesondere bei nichtkontinuierlich ablaufenden Produktionsverfahren zur Energieeinsparung beitragen. Die Regelung eines diskontinuierlichen Färbeprozesses in der Textilveredlung (z. B. Jet-Maschine) bewirkt allein durch das Überwachen bestimmter Zeitvorgaben eine Verminderung der Bearbeitungszeit um rd. 25%, der Abwassermenge um etwa ein Drittel und damit des Heizenergieverbrauchs um rd. 15–20%.

Mechanisierung und Automation erhöhen allerdings in der Regel den spezifischen Stromverbrauch. Weitere *Stromverbrauchsteigerungen* sind z. B. durch verstärkten Einsatz von Wärmetauschern, Kreislaufrührungen und Wärmepumpen zu erwarten. Andererseits können Verbesserungen der Antriebstechniken, Verminderung von Transportverlusten, bessere Abstimmung der Maschinen aufeinander, Vermeiden von Leerlaufzeiten, Abbau von überdimensionierten Motoren usw. den spezifischen Stromverbrauch senken.

4.3 Abwärmenutzung, Wärmerückgewinnung und Abfallverbrennung

Die günstigste *Abwärmenutzung* ist die direkte Weiterverwendung des warmen oder heißen Mediums. Beispielsweise dienen die Ofenabgase aus Drehrohröfen in der Zementindustrie zur Trocknung und Vorwärmung des Rohmaterials (Schwebegas-Wärmetauscher-Ofen). Außerdem wird die zur Kühlung des Zementklinkers eingesetzte Luft als Sekundärluft bei der Verbrennung, zur Trocknung des Rohmaterials oder zum Aufheizen von schwerem Heizöl verwendet.

Wärmerückgewinnung mittels regenerativer oder rekuperativer Wärmetauscher ist aus jedem wärmetragenden Medium denkbar, wobei dessen Temperaturniveau, stoffliche Verunreinigungen (Filterprobleme) und chemische Zusammensetzung (Korrosionsprobleme) die wirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten begrenzen. Beispielsweise lassen sich bis zu 80% der zur Nachverbrennung der Abluft aus einer Bandbeschichtungsanlage benötigten Energie durch mehrstufigen Wärmetausch zurückgewinnen. Die erste Stufe ist hierbei die Erwärmung von Thermoöl, das zur Warmwasserbereitung dient, im weiteren wird die Trocknerabluft (auf ca. 360°C) und schließlich in der dritten Stufe Brennerzuluft vorgewärmt [11].

Die *Abwärmeverwertung* bei diskontinuierlichem Abwärmeanfall (z. B. heiße Flotten aus der Textilveredlung) oder diskontinuierlichem Bedarf ist prinzipiell durch die erforderliche Zwischenschaltung eines Wärmespeichers energetisch gesehen umständlich. Dennoch gibt es sehr rentable Anwendungsfälle, sei es die Heißwassererzeugung oder Dampfspeicherung bei industriellen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, sei es die Abwärmenutzung von Dämpferabluft oder heißen Abwässern oder Kühlwässern [10]. Ist bei kontinuierlichem Anfall von Abwärme diese innerbetrieblich nicht zu nutzen, ist an externe Verbraucher zu denken, z. B. an

eine Einspeisung in ein bestehendes Fernwärmenetz, Bedienung von Gewächshäusern, Fischzuchten, Schwimmhallen u. ä.

Schließlich können *brennbare Produktionsrückstände* zur Wärme- und Stromerzeugung eingesetzt werden, die sonst eher die Produktionskosten als Abfallstoffe belasten würden. Durch Verbrennung der eingedickten Kocherei-Ablauge aus der Zellstoffherstellung wurden beispielsweise 1977 durchschnittlich ca. 50 % des Wärmebedarfs der Zellstoffproduktion gedeckt. Zusammen mit der Verbrennung der Rindenabfälle und nach weitgehender Schließung von Wasser- und Chemikalienkreisläufen sowie optimaler Wärmenutzung könnte die Zellstoffherzeugung langfristig weitgehend energieautark sein. In der Chemischen Industrie werden organische Produktionsrückstände ebenfalls zur Wärmeerzeugung verwendet; in der Holzbearbeitung dürfte insbesondere in Zukunft die Vergasung von Holzabfällen wieder zunehmen. Der Wiedereinsatz von *Sekundär-Rohstoffen*, z. B. von Altpapier und Altglas, vermindert die Erzeugung von benötigten, energieintensiven Grundstoffen der entsprechenden Branchen. Organische Abfälle der Chemischen Industrie (z. B. Propylenglykol) senken als Mahlhilfsmittel den spezifischen Stromverbrauch in der Zementindustrie.

Diese vielfältigen technischen Beispiele mögen andeuten, daß mit steigenden Energiepreisen neue technologische Wege beschritten werden können, die auch in Zukunft den spezifischen Endenergie- bzw. Brennstoffverbrauch senken werden. Die Vielfalt der technischen Möglichkeiten wirft auch die Frage auf, ob die Trendfortschreibung von Hilfsvariablen, wie z. B. die Zeit oder die kumulierten Bruttoanlageinvestitionen, die der Projektionsaufgabe angemessene Methode ist.

5. Ausblick auf die 80er Jahre

Während für die 50er und 60er Jahre die Verminderung des spezifischen Endenergieverbrauchs in vielen Branchen der Verarbeitenden Industrie in starkem Maße auf Erweiterungs- und Ersatzinvestitionen zurückzuführen ist, wobei entweder Skaleneffekte oder die zügige Umsetzung des besten technischen Standes realisiert werden konnten [9], [12], dürften diese Einflüsse sich in Zukunft aufgrund der geringeren Wachstumsaussichten abschwächen. In Zukunft dürften andererseits die Energiepreiswirkungen zu

- verstärkten energiesparenden Investitionen (z. B. mehr Meß- und Regeltechnik, Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung sowie energetische Nutzung von brennbaren Produktionsrückständen),
- verstärkten Verfahrenssubstitutionen (z. B. Naßphosphorsäure- statt thermischer Phosphorsäureherstellung, Übergang zu kontinuierlichen Produktionsverfahren in der NE-Metallindustrie) sowie
- intrasektoralen und außenhandelsbedingten Produktstrukturverschiebungen führen. Da diese Faktoren in Schätzungen zur Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs der Verarbeitenden Industrie kaum Berücksichtigung fanden [9], [13], dürfte die Verminderung der Verbrauchswerte allein in den 80er Jahren bei rd. 15 v. H. bis 20 v. H. (je nach

Zeitpunkt und Ausmaß von Energiepreissteigerungen) liegen, nachdem bereits zwischen 1973 und 1978 eine Abnahme von gut 11 v. H. zu beobachten war. Diese Erfolge dürften allein auf Verminderung des spezifischen Brennstoffverbrauchs zurückzuführen sein, da man davon ausgeht, daß der spezifische Strombedarf in der Verarbeitenden Industrie in Zukunft nicht mehr steigen, sondern auf dem Niveau der letzten Jahre stagnieren wird.

Literatur

- [1] *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen*: Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt, versch. Jgg.
- [2] *Krengel, R., et al*: Produktionsvolumen und -potential, Produktionsfaktoren der Industrie im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland, 16. Folge (1975) und 20. Folge, Berlin (1978)
- [3] *Hoffmann, F., Gabel, R.*: Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik unter dem Einfluß von Konjunktur-, Temperatur- und Spareffekten, Glückauf, Vol 111 (1975) S. 486-493
- [4] *Blömer, K.-H., Dericks, H., Kehse, F.*: Der Energieverbrauch der Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland, Luxemburg (1967)
- [5] *Döllekes, H. P., Meyer-Abich, K. M., et al*: Wirtschaftspolitische Steuerungsmöglichkeiten zur Einsparung von Energie durch alternative Technologien, Studie im Auftrag des BMFT, Essen (1978)
- [6] *Luhmann, H. J.*: Die Entwicklung der Energieumsätze in der Vergangenheit in [5]
- [7] *Garnreiter, F., Legler H.*: Hypothesen über den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum und -struktur, Beschäftigung und internationaler Wettbewerbsfähigkeit, ISI-Arbeitspapier A-1.80, Karlsruhe (1980)
- [8] *Jochem, E., et al*: Energieverbrauch und Möglichkeiten rationeller Energienutzung in drei Branchen der Verarbeitenden Industrie von Baden-Württemberg, Informationen zur Energiepolitik Heft 11, Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr, Stuttgart, 1978
- [9] *Karl, H.-D.*: Die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs der Industrie, ifo-Schnelldienst (17-18/1980), S. 47-57
- [10] *Hauser, U., Jochem, E., Wiesner, J.*: Entwicklung und Einsatz umweltfreundlicher Technologien in der Textilveredlungsindustrie, Laufende Studie für das BMFT, 1979/80
- [11] *o. N.*: Zuviel Geld über Dach geblasen, Wärmerückgewinnung aus Abluft und Abgasen, Betriebstechnik (Juli 1978)
- [12] *Hampike, U.*: Wirtschaftspolitische Maßnahmen zur Einsparung von Energie im Sektor Industrie, in [5]
- [13] *Wahl, B., et al*: Technologien zur Einsparung von Energie, Kurzfassung und Erläuterung des technischen Teils der Studie, Fichtner Beratende Ingenieure, Stuttgart (1976)
- [14] *Statistisches Bundesamt*: Fachserie D, Industrie und Handwerk, Industrielle Produktion, Wiesbaden, versch. Jgg.