



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Programmgruppe
Systemforschung und Technologische Entwicklung

Angewandte Systemanalyse

Nr. 44

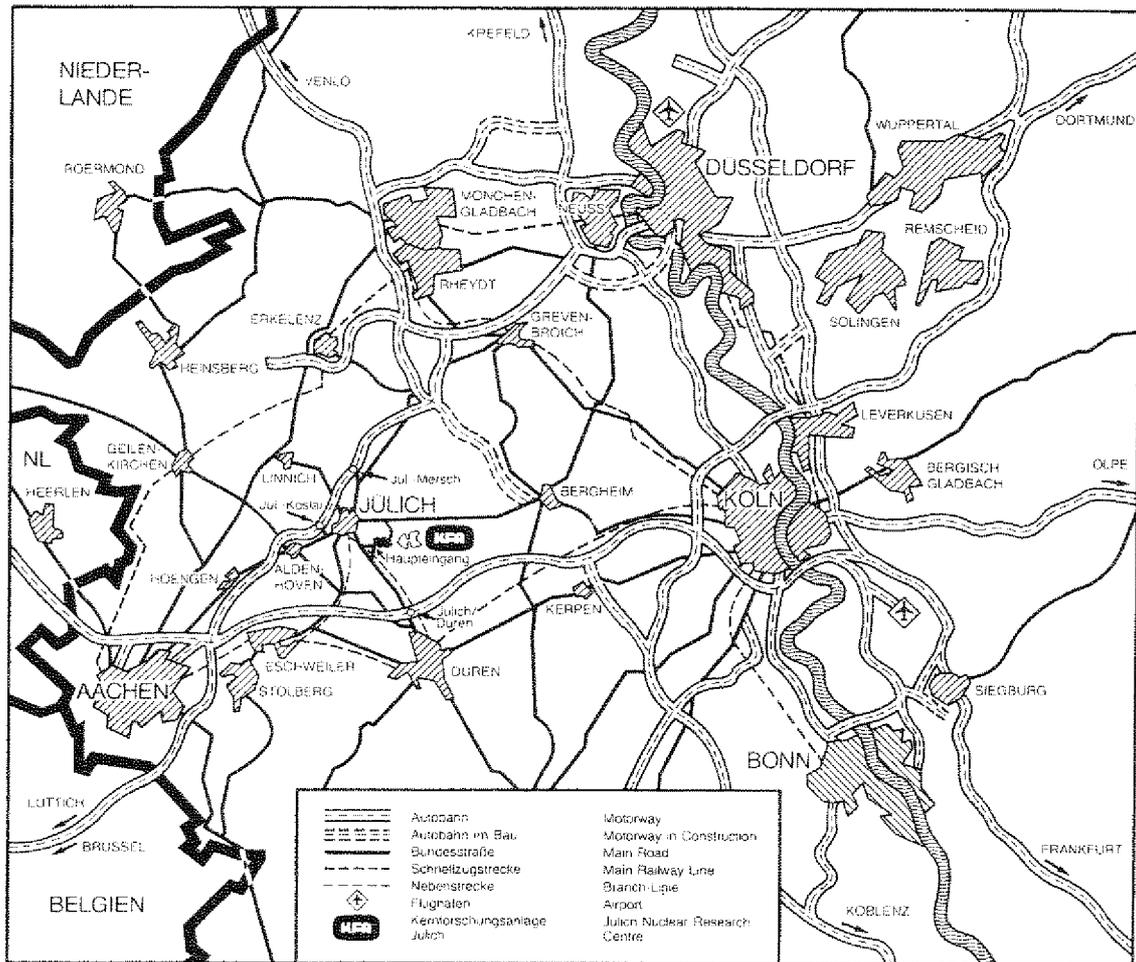
**Elektrizität im
industriellen Energiemarkt**

Eine sektorale Analyse der Gründe und Ursachen
der Elektrizitätsanwendung unter Berücksichtigung
der Kraft-Wärme-Kopplung

von

Th. Jobsky

Jül - Spez - 308
April 1985
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 308

Programmgruppe Systemforschung
und Technologische Entwicklung

Jül - Spez - 308

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

Angewandte Systemanalyse

Nr. 44

Elektrizität im industriellen Energiemarkt

**Eine sektorale Analyse der Gründe und Ursachen
der Elektrizitätsanwendung unter Berücksichtigung
der Kraft-Wärme-Kopplung**

von

Th. Jobsky

Abstract

The study presented here describes the use of electricity in industry. Factors which decisively influenced the increasing use of electrical energy, as well as trends in the future industrial application of electricity are pointed out.

As no exact statements can be made concerning the use of electrical energy on an overall industrial level, those sectors of the economy with high energy, resp. electricity consumption have been analysed separately.

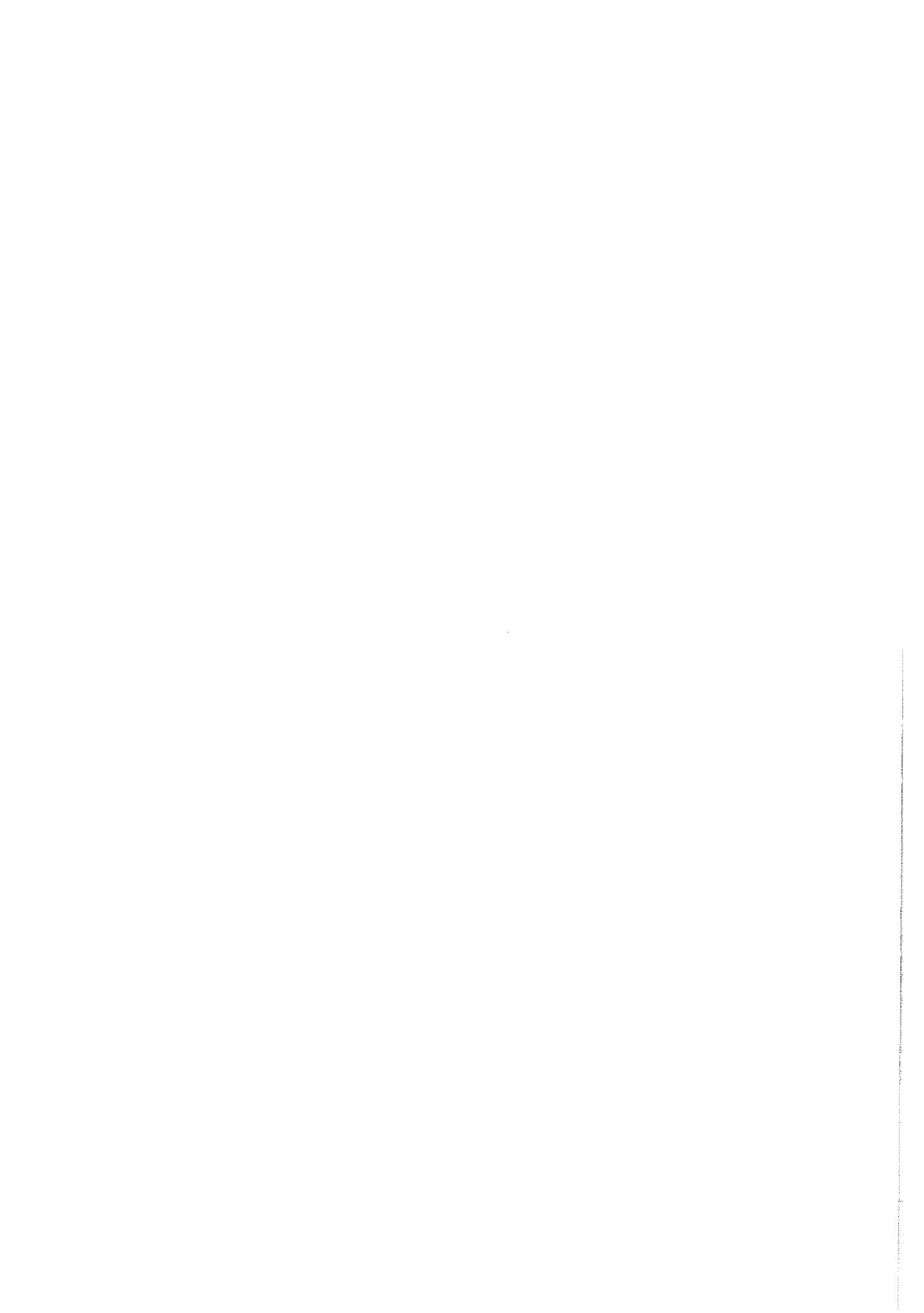
Furthermore, the signification of industrial own production of electricity is discussed and a brief outlook is given on the possible effects of nuklear energy preparation on the industrial electricity system by means of HTR - technology.

Kurzfassung

In der vorliegenden Studie wird die Elektrizitätsanwendung in der Industrie (Übriger Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe) beschrieben. Es werden Faktoren aufgezeigt, die die zunehmende Nutzung der elektrischen Energie maßgeblich beeinflussen, ferner werden Tendenzen der zukünftigen industriellen Stromanwendung diskutiert.

Da eine Betrachtung der Elektrizitätsanwendung auf gesamtindustrieller Ebene nur unscharfe Aussagen zuläßt, steht die sektorale Analyse für die energie- bzw. stromintensiven Wirtschaftszweige im Vordergrund.

Darüber hinaus wird auf die Bedeutung der industriellen Eigenstromerzeugung eingegangen und ein kurzer Ausblick über den möglichen Einfluß der nuklearen Energiebereitstellung mittels HTR - Technologie auf die industrielle Elektrizitätswirtschaft gegeben.



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
0 EINFÜHRUNG	1
0.1 Problemstellung	1
0.2 Aufbau der Arbeit	1
1 STAND DER INDUSTRIELLEN ENERGIEWIRTSCHAFT	2
1.1 Entwicklung und Struktur des Endenergieverbrauchs	2
1.2 Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs	4
1.3 Deckung des industriellen Endenergiebedarfs nach Verwendungszwecken	6
2 AUSGESUCHTE ASPEKTE DES INDUSTRIELLEN STROMEINSATZES	8
2.1 Allgemeine Bemerkungen	8
2.2 Wettbewerbsposition der elektrischen Energie im industriellen Nutzenergiemarkt	9
2.3 Technische Aspekte der Elektrizitätsanwendung im Prozeßwärmemarkt	11
2.3.1 Elektrothermische Verfahren	12
2.3.2 Elektrostrahlverfahren	15
2.3.3 Elektrochemische Verfahren	16
2.3.4 Elektromechanische Verfahren	18
2.4 Wirtschaftliche Aspekte	18
2.4.1 Bedeutung der Strompreise für die industrielle Produktion	18
2.4.2 Preisentwicklung der Endenergieträger	20
2.4.3 Energetische Gesichtspunkte	22
2.5 Versorgungsspezifische Aspekte	25
2.5.1 Verfügbarkeit der Energieträger	25
2.5.2 Industrielle Eigenstromerzeugung	26
2.6 Ökologische Aspekte	30
2.7 Zusammenfassende Betrachtung des 2. Kapitels	31

	Seite
3 SEKTORALE EINZELANALYSE DER ELEKTRIZITÄTSANWENDUNG IN DEN INDUSTRIESEKTOREN	33
3.1 Vorgehensweise	33
3.2 Abgrenzung energie- und stromintensiver Wirtschaftszweige	34
3.3 Eisenschaffende Industrie	36
3.3.1 Überblick	36
3.3.2 Produktionsverfahren und Produktions- entwicklung	36
3.3.3 Entwicklung des Energieverbrauchs	39
3.3.4 Detaillierung des Stromeinsatzes	42
3.3.4.1 Aspekte zum spezifischen Stromverbrauch	42
3.3.4.2 Einsatz der elektrischen Energie bei den jeweiligen Verfahrenslinien	43
3.3.4.2.1 Gesamtüberblick	43
3.3.4.2.2 Verfahrenslinie der Reduk- tionsprozesse	44
3.3.4.2.3 Verfahrenslinie der Elektro- stahlerzeugung	45
3.3.4.2.4 Verfahrenslinie der Direkt- reduktion	50
3.3.4.2.5 Ausbringung und Weiterver- arbeitung	51
3.3.4.2.6 Elektrizitätseinsatz zur Reduzierung der Umwelt- belastung	52
3.3.5 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung	53
3.3.6 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	55
3.4 Nichteisenmetallindustrie	57
3.4.1 Überblick	57
3.4.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion	58
3.4.3 Detaillierung des Stromeinsatzes	60
3.4.3.1 Aspekte zum spezifischen Stromverbrauch	60
3.4.3.2 Produktionsstruktur	61
3.4.3.3 Elektrizitätseinsatz in den verschiedenen Wirtschafts- zweigen	62
3.4.3.3.1 Gesamtüberblick	62
3.4.3.3.2 NE-Metallprimärindustrie	63

	Seite
3.4.3.3.2.1 Aluminiumherstellung in den NE-Leichtmetallhütten	63
3.4.3.3.2.2 Kupfer- und Zinkherstellung in den NE-Schwermetallhütten	65
3.4.3.3.3 NE-Metallhalbzeugwerke	67
3.4.3.3.4 NE-Metallgießerei	68
3.4.3.3.5 NE-Metallsekundärproduktion in den Umschmelzwerken	68
3.4.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung	69
3.4.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	71
3.5 Chemische Industrie	72
3.5.1 Überblick	72
3.5.2 Entwicklung des Energieverbrauchs, des Rohstoffeinsatzes und der Nettoproduktion	72
3.5.3 Detaillierung des Stromeinsatzes	76
3.5.3.1 Chlor-Natronlauge	78
3.5.3.1.1 Übersicht	78
3.5.3.1.2 Herstellungsverfahren	78
3.5.3.1.3 Stromverbrauch	81
3.5.3.1.4 Entwicklungstendenzen	82
3.5.3.2 Phosphor	82
3.5.3.2.1 Übersicht	82
3.5.3.2.2 Herstellungsverfahren	82
3.5.3.2.3 Stromverbrauch und Entwicklungs- tendenzen	83
3.5.3.3 Calciumcarbid	83
3.5.3.3.1 Übersicht	83
3.5.3.3.2 Herstellungsverfahren	84
3.5.3.3.3 Stromverbrauch	85
3.5.3.3.4 Entwicklungstendenzen	85
3.5.3.4 Sauerstoff	85
3.5.3.4.1 Überblick	85
3.5.3.4.2 Herstellungsverfahren	86
3.5.3.4.3 Stromverbrauch und Entwicklungs- tendenzen	86
3.5.3.5 Acetylen	87
3.5.3.5.1 Überblick	87
3.5.3.5.2 Herstellungsverfahren	87
3.5.3.5.3 Stromverbrauch und Entwicklungs- tendenzen	88
3.5.3.6 Ethylen	89
3.5.3.6.1 Überblick	89
3.5.3.6.2 Herstellungsverfahren	89
3.5.3.6.3 Stromverbrauch	90
3.5.3.6.4 Entwicklungstendenzen	91
3.5.3.7 Syntheseammoniak	91
3.5.3.7.1 Überblick	91
3.5.3.7.2 Herstellungsverfahren	91
3.5.3.7.3 Stromverbrauch	92

	Seite
3.5.3.8 Aluminiumoxid, Butylen/ Butadien, Methanol	92
3.5.3.9 Zusammenfassende Übersicht	93
3.5.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung	95
3.5.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	97
3.6 Industrie Steine und Erden	100
3.6.1 Überblick	100
3.6.2 Produktionsentwicklung und vorherrschende Verfahrenstechnik	101
3.6.3 Entwicklung des Energieverbrauchs	102
3.6.4 Detaillierung des Stromeinsatzes	104
3.6.4.1 Gesamtüberblick	104
3.6.4.2 Zementindustrie	105
3.6.4.3 Kalkindustrie, Ziegeleien	107
3.6.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	107
3.7 Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung	108
3.7.1 Überblick	108
3.7.2 Produktionsstruktur	108
3.7.3 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion	109
3.7.4 Detaillierung des Stromeinsatzes	112
3.7.4.1 Gesamtüberblick	112
3.7.4.2 Zellstoffindustrie	113
3.7.4.3 Holzstoffindustrie	113
3.7.4.4 Papier- und Pappeindustrie	114
3.7.5 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung	115
3.7.6 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	115
3.8 Eisen-, Stahl- und Tempergießereien	118
3.8.1 Überblick	118
3.8.2 Produktionsentwicklung und vorherrschende Verfahrenstechnik	118
3.8.3 Entwicklung des Energieverbrauchs	120
3.8.4 Detaillierung des Stromeinsatzes	122
3.8.4.1 Aspekte zum spezifischen Stromverbrauch	122
3.8.4.2 Elektrizitätseinsatz in den einzelnen Verfahrensstufen	123
3.8.4.2.1 Gußerschmelzung	123
3.8.4.2.1.1 Stahlguß	124
3.8.4.2.1.2 Eisenguß	125
3.8.4.2.2 Nachfolgende Verfahrensschritte	127
3.8.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	129

	Seite
3.9 Investitionsgüterindustrie	130
3.9.1 Überblick	130
3.9.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion	130
3.9.3 Detaillierung des Stromeinsatzes	133
3.9.3.1 Stromeinsatz nach Verwendungszwecken	133
3.9.3.2 Elektrizitätseinsatz in den einzelnen Verbrauchsgruppen	134
3.9.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung	136
3.9.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	137
3.10 Verbrauchsgüterindustrie	139
3.10.1 Überblick	139
3.10.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion	140
3.10.3 Detaillierung des Stromeinsatzes	142
3.10.3.1 Stromeinsatz nach Verwendungszwecken	142
3.10.3.2 Elektrizitätseinsatz in den einzelnen Wirtschaftszweigen	143
3.10.3.2.1 Gesamtüberblick	143
3.10.3.2.2 Glasindustrie	143
3.10.3.2.3 Textilgewerbe	146
3.10.3.2.4 Herstellung von Kunststoff- waren	146
3.10.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung	148
3.10.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	148
3.11 Nahrungs- und Genußmittelindustrie	150
3.11.1 Überblick	150
3.11.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion	151
3.11.3 Detaillierung des Stromeinsatzes	153
3.11.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung	154
3.11.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen	155
4 EINFLUSS DER HTR-TECHNOLOGIE AUF DIE INDUSTRIELLE ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT	156
4.1 Einleitung	156
4.2 Status und Möglichkeiten des HTR's	156
4.3 HTR-Einsatz in der Chemischen Industrie	159
4.4 HTR-Einsatz in der Eisenschaffenden Industrie	162
5 ZUSAMMENFASSUNG	164
LITERATURVERZEICHNIS	177
ANHANG	190



VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchs-Reaktor
BBC	Brown Boveri Corporation
EEV	Endenergieverbrauch
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GGG	Grauguß mit Kugelgraphit
GGL	Grauguß mit Lamellengraphit
GS	Stahlguß
GT	Temperguß
H.Alu	Hüttenaluminium
HD	Hochdruck
HT-Bereich	Hochtemperatur-Bereich
HTR	Hochtemperaturreaktor
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWU	Kraftwerk Union
Mio	Million
MT-Bereich	Mitteltemperatur-Bereich
NP	Nettoproduktion
NPW	Nettoproduktionswert
ND	Niederdruck
NT-Bereich	Niedertemperatur-Bereich
RE	Roheisen
RSt	Rohstahl
SKE	Steinkohleeinheiten
spez	spezifisch
Sv	Stromverbrauch
Sz	Stromkennzahl (kWh/GJ)
t	Tonne
THTR	Thorium-Hochtemperaturreaktor

[27] diese Klammerwerte kennzeichnen die Einordnung gemäß Systematik der Wirtschaftszweige im Produzierenden Gewerbe (SYPRO), vgl. /1, 2/ (hier gewähltes Beispiel: Eisenschaffende Industrie)



0 EINFÜHRUNG

0.1 Problemstellung

Die Industrie (Übriger Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe) hat einen gewichtigen Anteil am Energieverbrauch. In der Bundesrepublik Deutschland war sie im Jahre 1982 mit rund 33 % am Endenergieverbrauch beteiligt. Hierbei beanspruchte die Wärmeanwendung hauptsächlich in Form von Prozeßwärme mit ca. 84 % den größten Anteil, gefolgt von der Kraftanwendung (15 %) und der Lichtanwendung (1 %).

Die Analyse des Endenergieverbrauchs der Industrie zeigt, daß seit über 20 Jahren der relative Anteil der fossilen Energieträger an der Endenergiebedarfsdeckung zurückgeht, dagegen der Anteil der elektrischen Energie sowohl absolut als auch relativ zunimmt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Elektrizitätsanwendung in der Industrie zu beschreiben, Faktoren aufzuzeigen, die die zunehmende Nutzung der elektrischen Energie maßgeblich beeinflussen, und ferner Tendenzen der zukünftigen industriellen Stromanwendung zu diskutieren.

0.2 Aufbau der Arbeit

Als Ausgangspunkt der Untersuchung wird zunächst ein Überblick auf die Entwicklung der industriellen Energiewirtschaft gegeben.

In Anlehnung an die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen /1/ wird unter Industrie, sofern nichts anderes angemerkt ist, im folgenden das Verarbeitende Gewerbe (mit den Sektoren Grundstoff- und Produktionsgüter, Investitionsgüter, Verbrauchsgüter, Nahrungs- und Genußmittel) und der Übrige Bergbau verstanden. Entgegen anderen Definitionen ist die Mineralölindustrie und der Kohlenbergbau dem Umwandlungssektor zugeordnet und somit hier nicht enthalten.

Im 2. Kapitel werden neben rein technischen Anwendungsmöglichkeiten wichtige übergeordnete Aspekte des industriellen Strom-
einsatzes angesprochen, d.h. es wird auf wirtschaftliche, ver-
sorgungsspezifische und ökologische Beurteilungskriterien des
Stromeinsatzes eingegangen.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt im 3. Kapitel. Da eine Betrach-
tung der Elektrizitätsanwendung auf gesamtindustrieller Ebene
nur unscharfe Aussagen zuläßt, wird hier die sektorale Analyse
vorgenommen. Dabei wird für die energie- bzw. stromintensiven
Wirtschaftszweige versucht, wesentliche Einflußfaktoren und
zukünftige Tendenzen des Stromeinsatzes aufzuzeigen. Darüber
hinaus wird kurz auf die Bedeutung der Eigenstromerzeugung ein-
gegangen und sofern möglich auch die Frage nach einem Zusammen-
hang zwischen industrieller Eigenerzeugung und Anwendung elek-
trischer Verfahren erörtert.

Das 4. Kapitel gibt schließlich einen Ausblick über den mög-
lichen Einfluß der nuklearen Energiebereitstellung mittels HTR-
Technologie auf die industrielle Elektrizitätswirtschaft.

Im abschließenden 5. Kapitel werden die Ergebnisse dieser
Arbeit noch einmal zusammengefaßt.

1 STAND DER INDUSTRIELLEN ENERGIEWIRTSCHAFT

1.1 Entwicklung und Struktur des Endenergieverbrauchs

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Industrie, aufge-
gliedert nach Energieträgern, zeigt für die Jahre von 1950 bis
1982 einen recht unterschiedlichen Verlauf. Insbesondere die
festen und flüssigen Brennstoffe (Kohle bzw. Mineralöl) sind
gegenüber den leitungsgebundenen Energieträgern verhältnismäßig
schnellen strukturellen Veränderungen unterworfen (Bild 1.1).

Beginnend in den '50er Jahren, verdrängte das in großen Mengen zur Verfügung stehende Heizöl die Steinkohle. Hierbei waren der Preis und die bessere Handhabbarkeit der flüssigen Kohlenwasserstoffe entscheidende Gründe. Mitte der '60er Jahre drängte infolge der vielen anwendungstechnischen Vorteile auch Erdgas immer stärker in den industriellen Energiemarkt. Weitere starke strukturelle Veränderungen wurden durch die beiden Ölpreiskrisen 1974/75 und 1979/80 ausgelöst. So reduzierte die Industrie nach der zweiten Teuerungswelle den Heizöleinsatz wesentlich.

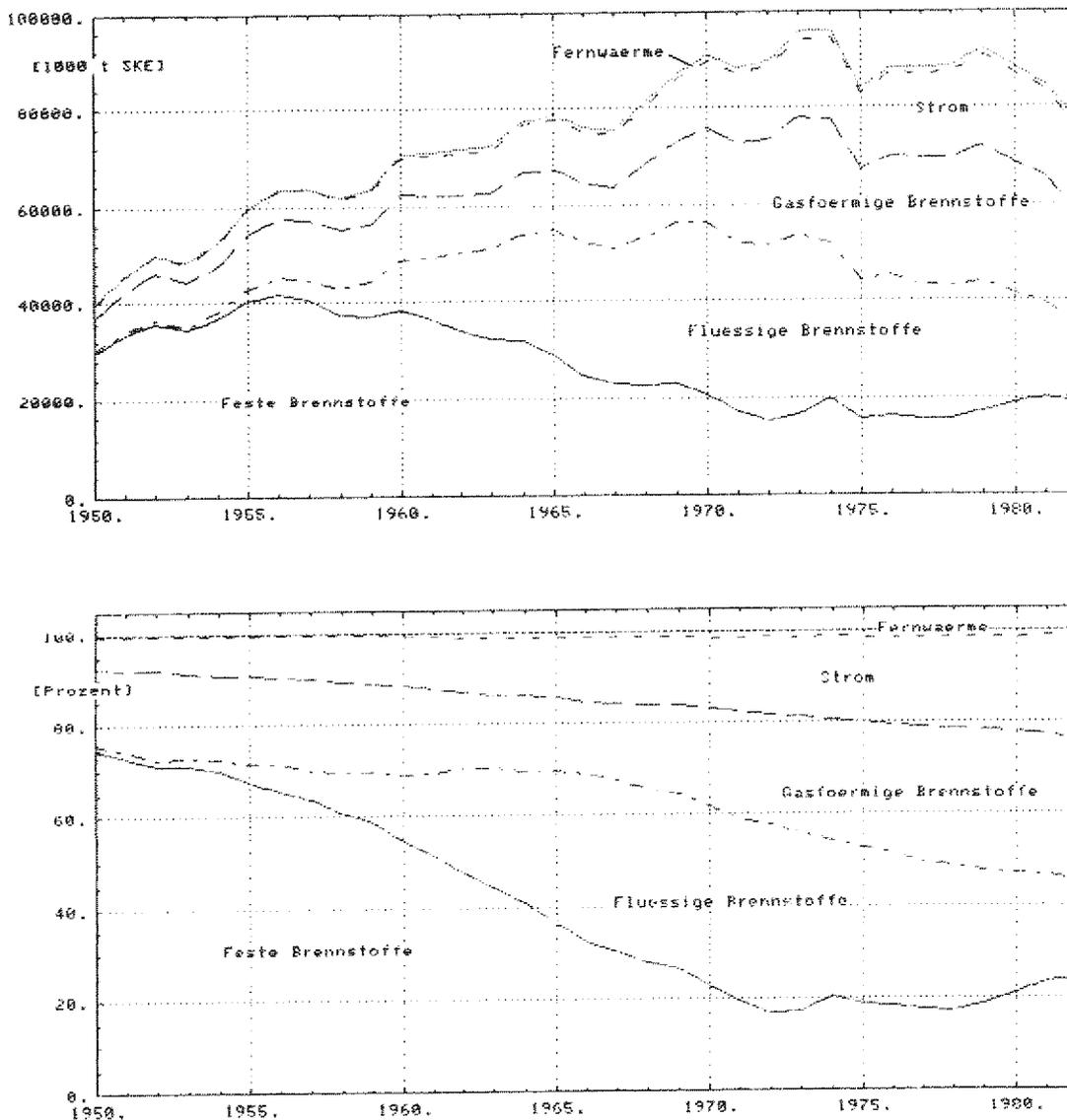


Bild 1.1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der Industrie von 1950-1982 /1/

Gegenüber den starken strukturellen Verschiebungen der fossilen Endenergieträgern verlief die Entwicklung des industriellen Stromverbrauchs in den vergangenen Jahren ausgesprochen kontinuierlich. Mit dem stetigen Anstieg des Stromanteils am industriellen Endenergieverbrauch von 11 % im Jahre 1960, auf 15 % im Jahre 1970 und auf 22,6 % im Jahre 1982 ging überwiegend auch eine Erhöhung der absoluten Verbrauchswerte einher. Ebenfalls wirkten sich Konjunkturrückgänge auf den Verbrauch von elektrischer Energie nicht so gravierend aus.

1.2 Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs

Der spezifische Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes (t SKE/Nettoproduktionswert) ist im betrachteten Zeitraum (1960-1982) von gewissen Schwankungen abgesehen deutlich gesunken, dagegen der spezifische Strombedarf angestiegen. Während bei ersterem das Ende der Entwicklung noch nicht absehbar erscheint, deutet der seit 1974 fast konstante spezifische Stromverbrauch auf einen Sättigungswert hin.

Allerdings sind die technischen und statistischen Hintergründe der in Bild 1.2 dargestellten Entwicklung, insbesondere auf dem hohen Aggregationsniveau der Gesamtindustrie, äußerst vielfältig. Innerhalb der Wirtschaftszweige können Veränderungen sowohl durch verbesserte Produktionstechnik als auch durch intrastrukturelle Verschiebung von energieintensiven Produkten zugunsten solcher mit geringerem Energieeinsatz bewirkt werden (z.B. Mikrochips statt Rohstahl). Ebenso wird der spezifische Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes durch Verschiebung der Anteile einzelner Branchen am Produktionsvolumen beeinflusst.

Selbst mit dem Übergang von der wertmäßigen Bezugsgröße (t SKE/Nettoproduktionswert) auf eine mengen- bzw. gewichtsmäßige (t SKE/Stück bzw. t), so wie dies bei Branchen mit homogener Produktionsstruktur möglich ist, ist die Interpretation dieser Größe nicht immer eindeutig. So werden bei einer mengenmäßigen Bezugsgröße unterschiedliche Qualitäten, die in der Regel auch

unterschiedlichen Energieverbrauch bedingen können, nicht berücksichtigt.

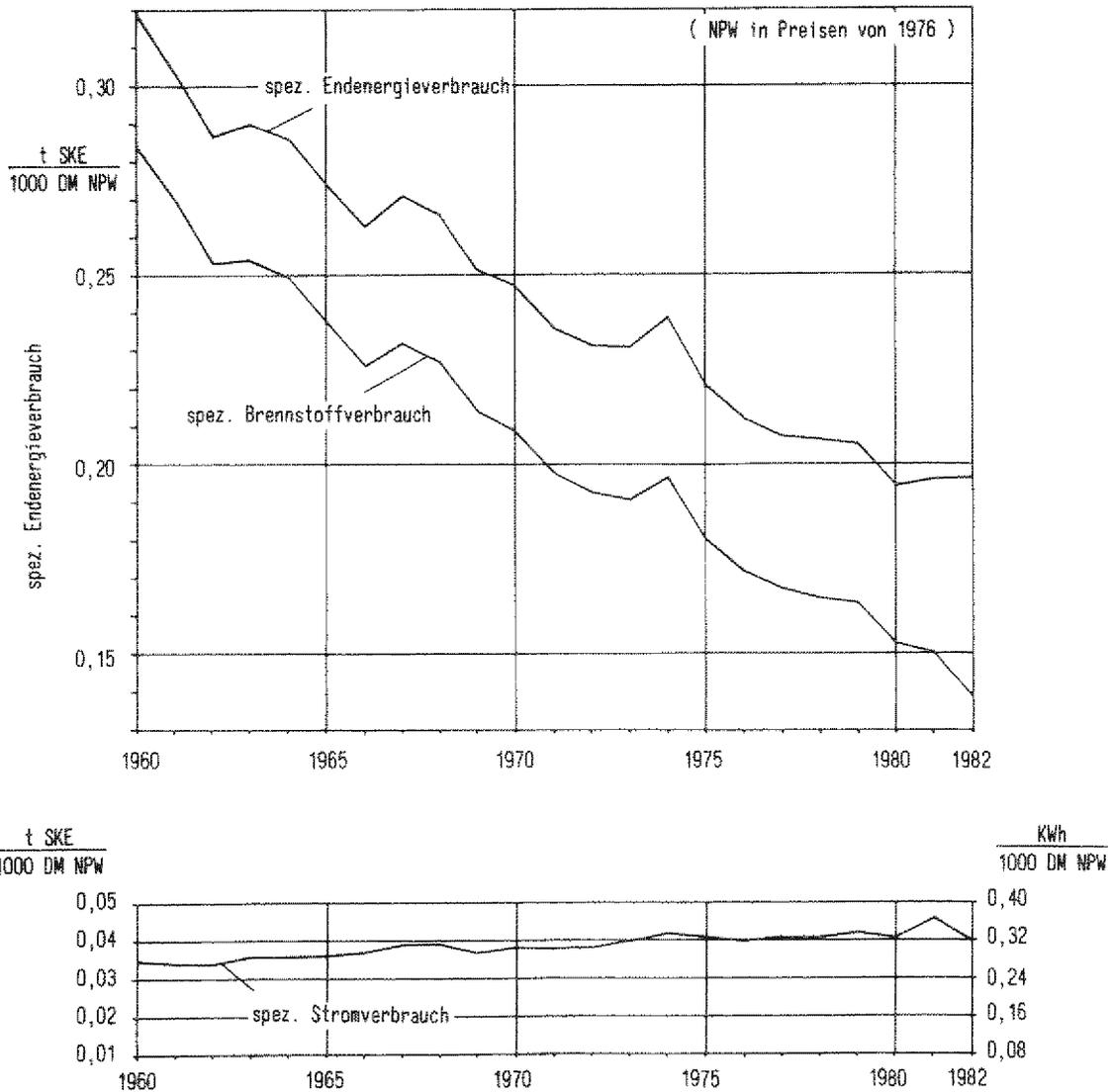


Bild 1.2: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs des Verarbeitenden Gewerbes von 1960-1982 /1, 2/

Diese Überlegungen verdeutlichen, daß eine Betrachtung der spezifischen Verbrauchswerte sowohl in der gesamten Industrie als auch in einzelnen Wirtschaftszweigen problematisch ist. Es können zwar Tendenzen global aufgezeigt werden, eine detaillierte Diskussion der unterschiedlichen Einflußgrößen und deren Veränderungen erscheint aber insbesondere hinsichtlich zukünftiger Aussagen erforderlich.

1.3 Deckung des industriellen Endenergiebedarfs nach Verwendungszwecken

Die fortlaufende statistische Erfassung des industriellen Endenergieverbrauchs nach Verwendungszwecken läßt sich der Literatur nicht entnehmen, so daß die Detaillierung des Energieverbrauchs nach Licht-, Kraft- und Wärmebedarf nur für wenige Jahre und aus unterschiedlichen Quellen möglich ist /3, 4, 5, 6/. In Bild 1.3 ist die Deckung des industriellen Energiebedarfs für das Jahr 1981 nach Angaben der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) /6/ dargestellt.

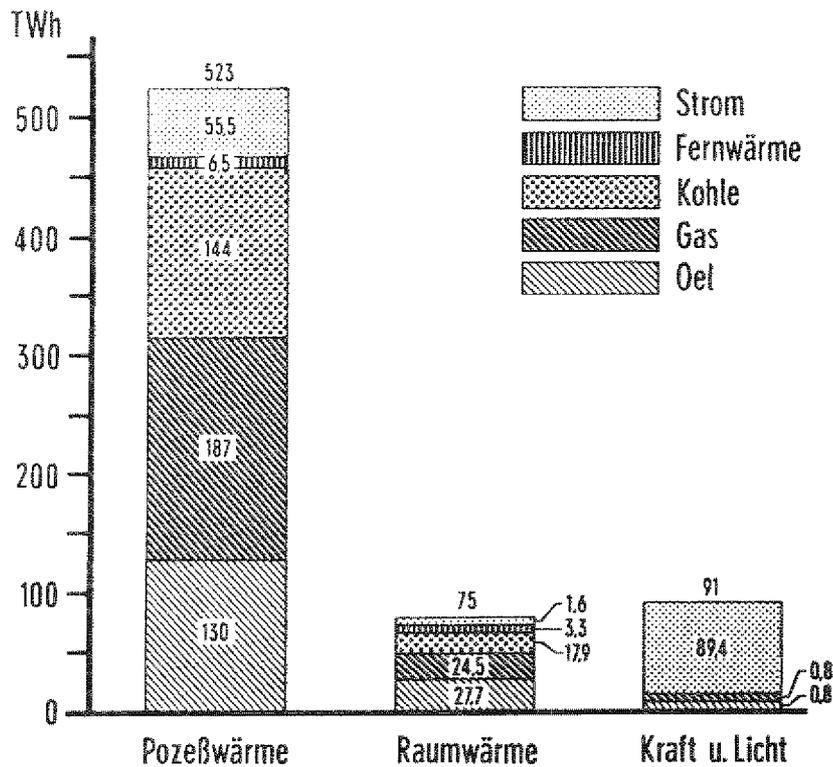


Bild 1.3: Deckung des industriellen Endenergiebedarfs nach Verwendungszwecken im Jahre 1981 /6/

Danach beanspruchte im Jahre 1981 die Wärmeanwendung mit rund 87 % den größten Anteil (Raumwärme 11 % und Prozeßwärme 76 %). Licht- und Kraftanwendung teilen sich die restlichen 13 %, wobei die Lichtanwendung mit ca. 1 % vergleichbar gering ist.

Licht- und Kraftbedarf werden fast vollständig durch die elektrische Energie gedeckt. Im Bereich der Wärmeanwendung ist der Strombedarf für industrielle Raumheizungszwecke von untergeordneter Bedeutung. Im Prozeßwärmebereich konnte die elektrische Energie im Verlauf des letzten Jahrzehnts zwar weiter vordringen, sie spielt gegenüber den anderen Energieträgern aber immer noch eine untergeordnete Rolle. Der Stromeinsatz für Prozeßwärmezwecke wird für das Jahr 1981 mit 55,5 TWh angegeben, das entspricht rund 1/10 des industriellen Prozeßwärmebedarfs oder knapp 38 % des industriellen Strombedarfs. Enthalten sind in dieser Größe auch die Aluminium- und Chlorelektrolysen, die zu den elektrochemischen Verfahren gezählt werden und somit nicht zu den 'klassischen' Elektrowärmeverfahren gehören.

2 AUSGESUCHTE ASPEKTE DES INDUSTRIELLEN STROMEINSATZES

2.1 Allgemeine Bemerkungen

Die industrielle Produktion vollzieht sich heutzutage unter ständig schnellerer Veränderung der eingesetzten Produktionsfaktoren. Amortisationszeiten großtechnischer Anlagen von 3 bis 4 Jahren sind heute keine Seltenheit, auch die Frage des 'richtigen' Energieträgers rückt stärker in den Vordergrund.

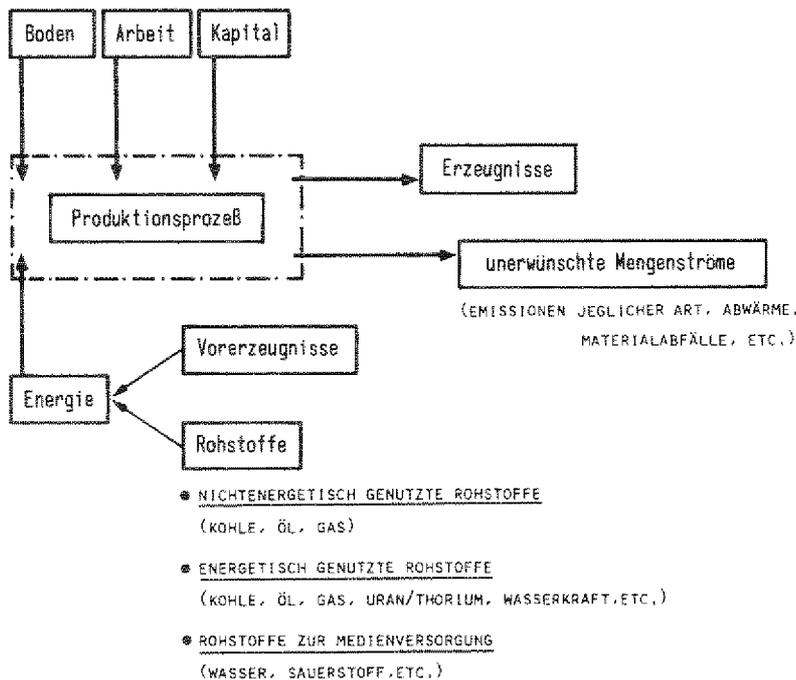


Bild 2.1: Übergeordnete Einflußfaktoren auf die Beurteilung industrieller Verfahren

Während in der Vergangenheit ein relativ großer Substitutionspielraum innerhalb der Produktionsfaktoren bestand, so daß sich Betrachtungen zum Endenergieträgereinsatz oft nur an der Bewertung spezifischer Kalorienpreise orientierten, wurde und wird es immer stärker erforderlich, weitere Nebenbedingungen zu berücksichtigen. Darunter ist sowohl eine umfassende Beurteilung der eingesetzten Rohstoffe, insbesondere der verschiedenen Endenergieträger, als auch die Problematik der unerwünschten,

aber produktionsbedingten Mengenströme zu verstehen. Bild 2.1 verdeutlicht die Schwierigkeit, ein industrielles Verfahren unter den verschiedenen Nebenbedingungen zu optimieren.

Für die industrielle Elektrizitätsanwendung, insbesondere im Bereich Prozeßenergie, stellen die Nebenbedingungen gewichtige Beurteilungskriterien dar, die den Einsatz der elektrischen Energie bzw. elektrotechnischer Verfahren begünstigen oder hemmen. Dazu zählen neben rein technischen Gesichtspunkten u.a. wirtschaftliche, ökologische und versorgungsspezifische Aspekte. Hierauf wird in diesem Kapitel noch näher eingegangen.

2.2 Wettbewerbsposition der elektrischen Energie im industriellen Nutzenergiemarkt

Die Anwendungsmöglichkeiten der elektrischen Energie für industrielle Zwecke unterliegen bis auf die mangelnde großtechnische Speicherfähigkeit dieses Energieträgers aus physikalischer Sicht keinen Restriktionen. Elektrische Energie läßt sich zur Gewinnung aller Nutzenergieformen (Schall, Licht, Kraft, Kälte, Wärme) einsetzen (Bild 2.2).

Die Wettbewerbsposition der elektrischen Energie auf den einzelnen Nutzenergiemärkten stellt sich folgendermaßen dar:

Auf dem Gebiet der Schallerzeugung und im Elektronikbereich hat die Elektrizität aufgrund physikalischer Gegebenheiten eine absolute Monopolstellung. Insbesondere dem Einsatz von Leistungselektronik für Meß-, Steuer- und Regelvorgänge ist hohe Bedeutung beizumessen. Durch Verfahrensoptimierung mit Hilfe der Leistungselektronik bieten sich vielfältige Möglichkeiten zur Energieeinsparung, sowohl beim Brennstoff- als auch beim Stromeinsatz selbst.

Eine weitere Monopolstellung besitzt die Elektrizität bei der Bereitstellung von Licht. Sie hat sich in der Vergangenheit gegenüber anderen Möglichkeiten zur Lichterzeugung (z.B. Gas- oder Petroleumlampe) vollkommen durchgesetzt.

Ähnliche Verhältnisse wie bei der Schall- und Lichterzeugung liegen auf dem Gebiet der stationären Kraftanwendung vor. So dominiert der elektrische Antrieb gegenüber dem Antrieb mit Verbrennungsmotoren oder mit Dampfmaschinen. Dies läßt sich auf eine Reihe günstiger Eigenschaften der Elektromotoren, wie z.B. einfache Regelbarkeit, geringe Umweltbelastung, einfache Wartung etc., zurückführen.

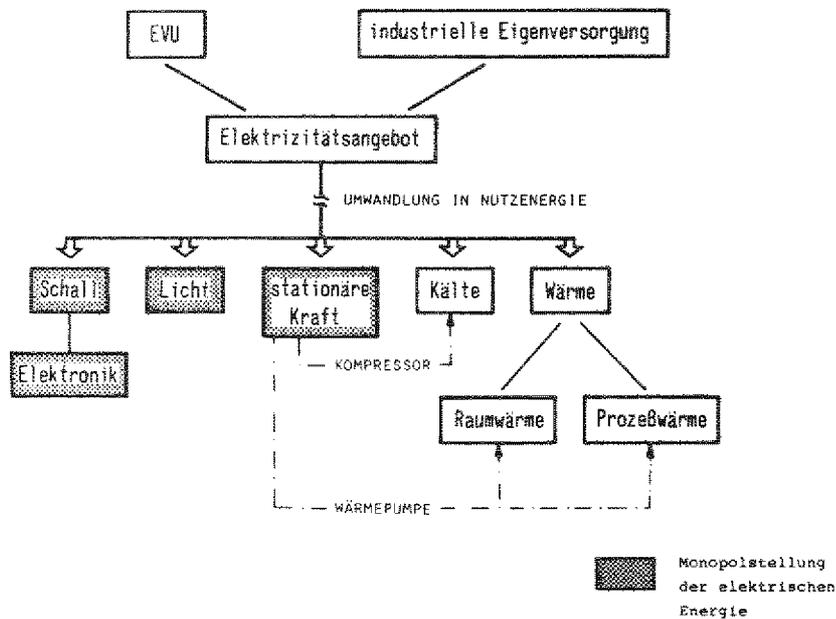


Bild 2.2: Anwendungsmöglichkeiten der elektrischen Energie

Zur Deckung des industriellen Raumwärmebedarfs wurden bisher überwiegend fossile Endenergieträger verwendet, der direkte Stromeinsatz hat kaum Bedeutung erlangt (vgl. Bild 1.3). Hier steht die Elektrizität auch in Konkurrenz zu nutzbarer Abwärme aus industriellen Umwandlungsprozessen. Eine verstärkte Anwendung der Wärmepumpentechnologie ist denkbar.

Im industriellen Prozeßwärmemarkt steht die Elektrizität je nach Wirtschaftszweig in einem starken Wettbewerb mit den Endenergieträgern Erdgas, Heizöl und Kohle. Nur in wenigen stromspezifischen Anwendungsgebieten, wie z.B. Elektrolyseprozesse, die auch unter der Prozeßwärmeanwendung subsummiert werden, wirkt aufgrund physikalischer Gegebenheiten kein Substitutionsdruck.

Es läßt sich festhalten, daß die Elektrizität im Bereich Schall, Licht und stationäre Kraftanwendung derzeit relativ konkurrenzlos ist. Substitutionsmöglichkeiten bestehen in erster Linie im Prozeßwärmemarkt.

2.3 Technische Aspekte der Elektrizitätsanwendung im Prozeßwärmemarkt

Die Elektrotechnologie bietet eine große Vielfalt von Anwendungsmöglichkeiten. Grundsätzlich lassen sich die elektrotechnologischen Verfahren in elektrothermische, elektrostrahl-, elektrochemische und elektromechanische Anwendungen klassifizieren (Bild 2.3).

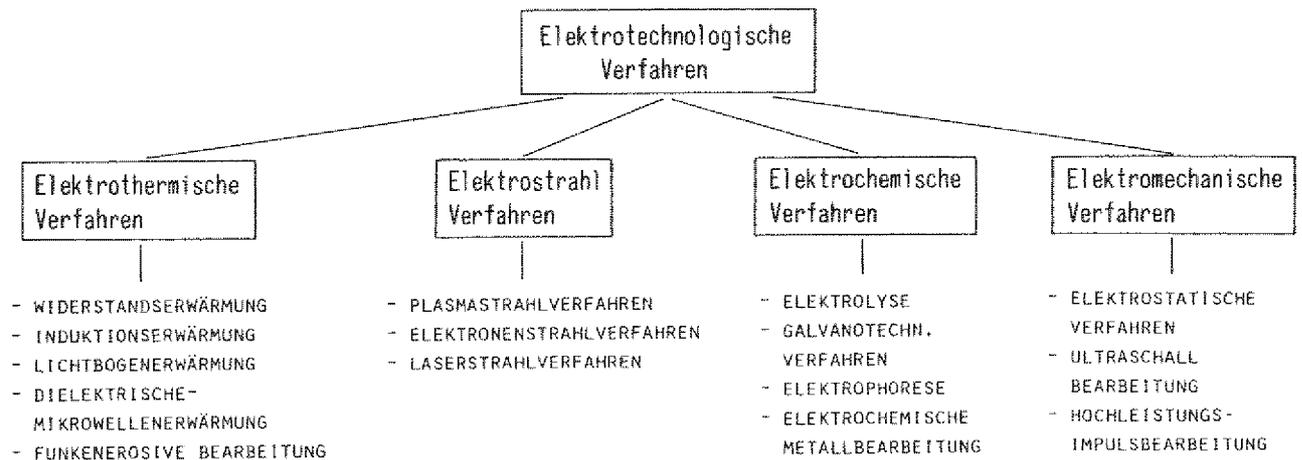


Bild 2.3: Zusammenstellung elektrotechnologischer Verfahren

Zum Teil sind die elektrischen Verfahren bezüglich der an sie gestellten Anforderungen konkurrenzlos (z.B. Vakuumschmelzen, Elektrolyseprozesse), zum Teil bestehen alternative, brennstofforientierte Verfahren (z.B. Induktionsofen versus brennstoffbeheizten Kupolofen). Bei der vergleichenden Beurteilung werden dann je nach Anwender unterschiedliche Gesichtspunkte und Überlegungen im Vordergrund stehen.

Im Rahmen der Arbeit können nicht alle Anwendungsmöglichkeiten näher beschrieben werden. Deshalb werden nur die gängigsten Ver-

fahren und deren Anwendungsgebiete kurz umrissen, für weitere Information sei auf entsprechende Fachliteratur z.B. /7, 8, 9/ verwiesen.

2.3.1 Elektrothermische Verfahren

● Widerstandserwärmung

Hauptanwendungsgebiet der Widerstandserwärmung ist die Wärmebehandlung, das Schmelzen und das Schweißen. Dabei ist zwischen direkter und indirekter Widerstandserwärmung sowie der Infrarot-erwärmung zu unterscheiden.

Bei der direkten Widerstandserwärmung (konduktive Erwärmung), die nur an elektrisch leitendem Material anwendbar ist, fließt der über Kontakte oder Elektroden zugeführte Strom durch das Gut und erzeugt dort nach dem Joul'schen Gesetz unmittelbar Wärme.

Die Umwandlung der elektrischen Energie in Wärme erfolgt bei der indirekten Widerstandserwärmung in speziellen Heizleitermaterialien und wird von diesen durch Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung auf das zu erwärmende Gut übertragen. Dieses Verfahren findet überwiegend in einem abgeschlossenen Ofenraum statt, so daß hier die Möglichkeit besteht, in einem gasdichten Widerstandsofen Wärmebehandlungen unter einer bestimmten Atmosphäre durchzuführen.

Die Infraroterwärmung ist eine spezielle Form der indirekten Erwärmungsmethode, bei der Energie durch elektromagnetische Wellen von dem Infrarotstrahler auf das zu behandelnde Produkt übertragen wird. Dieses Verfahren erfordert die Abstimmung des Infrarotstrahlers mit den Absorptionseigenschaften des zu erwärmenden Gutes.

● Induktionserwärmung

Die induktive Erwärmung wird vorzugsweise in der Eisen-, Stahl- und metallverarbeitenden Industrie eingesetzt. Es handelt sich hierbei um eine unmittelbare Erwärmung im Werkstück oder Schmelzgut selbst, die Energie wird nach dem Induktionsprinzip von einer wechselstromdurchflossenen Primärspule aus übertragen. Diese Induktionsspule besteht im allgemeinen aus einem Kupferhohlprofil, das von Kühlwasser durchflossen wird. Ihre Form wird jeweils dem zu erwärmenden Gut angepaßt. Die Eindringtiefe kann über die Frequenz variiert werden (Skin-Effekt).

Das induktive Erwärmen hat sich in zahlreichen industriellen Fertigungsprozessen bewährt. Vom Energieaufwand und Kapitaleinsatz bedeutsamer ist das induktive Schmelzen von Eisen, Stahl und anderen Metallen. Hier werden zwei Arten von Schmelzöfen unterschieden: Induktionstiegelöfen und Induktionsrinnenöfen. Während im Rinnenofen nur in der angeflanschten Rinne selbst elektrische Schmelzenergie induziert wird, ist beim Tiegelofen der gesamte Tiegel von der Induktionsspule umschlossen. Weitere technische Variationsmöglichkeiten, wie z.B. Wahl der Arbeitsfrequenz, Offengattierung etc., spezialisieren die Induktionsöfen dann für die unterschiedlichsten Betriebsweisen in den einzelnen Branchen.

● Lichtbogenerwärmung

Die Hauptanwendung der Lichtbogenerwärmung findet sich in der Elektrostahlerzeugung, der Metallurgie und beim Schweißen in der gesamten metallverarbeitenden Industrie. Hinsichtlich Strombedarf ist das Primärschmelzen von Schrott und Eisenschwamm mit das bedeutendste industriell genutzte Verfahren.

Bei der direkten Erwärmung brennt der Lichtbogen zwischen Elektroden und Charge. Die Umsetzung der elektrischen Energie in Wärme erfolgt hierbei hauptsächlich durch den Stromfluß im ionisierten Gas des Lichtbogens. Die Wärme wird auf das Gut durch Leitung, Konvektion und Strahlung übertragen.

In der Elektrowärmetechnik kommt der Lichtbogen in zahlreichen weiteren Erscheinungsformen mit unterschiedlichem physikalischen und technischen Verhalten zur Anwendung.

Bei der Herstellung von Sonder- und Qualitätsstählen gewinnt das Vakuumlichtbogenumschmelzen und das Elektroschlackeumschmelzen zunehmend an Bedeutung. Im Lichtbogen-Reduktionsofen werden Metalloxide mittels Koks zu Metallen oder Metallcarbiden reduziert. Die erforderliche Wärme wird überwiegend durch zahlreiche im Möller brennende Lichtbögen erzeugt.

● Dielektrische Erwärmung, Mikrowellenerwärmung

Zu den vielseitig nutzbaren Elektrowärmeverfahren zählt auch die dielektrische Erwärmung. Sie beruht auf der Wärmeerzeugung, die im Stoff eines Körpers dann auftritt, wenn dieser der Wirkung eines elektrischen Wechselfeldes ausgesetzt wird.

Die Wärmeerzeugung erfolgt im Stoff des zu erwärmenden Körpers selbst. Ein direkter Kontakt ist nicht notwendig, so daß die Möglichkeit der Erwärmung in speziellen Atmosphären besteht. Weiter von Vorteil ist die leichte Eingliederung dieser Erwärmungsanlagen in automatisierte Fertigungsprozesse.

Hauptanwendungsgebiete sind Erwärmungs- und Trocknungsprozesse im nichtmetallischen Bereich, wie z.B. der Kunststoff-, Textil- und Holzindustrie.

Die Wirkung der Mikrowellenerwärmung ist prinzipiell mit der dielektrischen Erwärmung vergleichbar. Zur Steigerung des spezifischen Energieumsatzes wird hier eine erhöhte Betriebsfrequenz von 0,3 bis 300 GHz anstelle von 3 bis 50 MHz gewählt, so daß eine wesentlich schnellere Erwärmung des zu behandelnden Produkts erfolgen kann. Die Mikrowellenerwärmung findet heute insbesondere im Nahrungs- und Genußmittelgewerbe verstärkte Anwendung.

● Funkenerosive Bearbeitung

Mit der funkenerosiven Metallbearbeitung lassen sich geometrisch komplizierte Bauformen mit hoher Genauigkeit herstellen.

Bei diesem Verfahren wird die Energie aufeinanderfolgender elektrischer Durchschläge (Funken) zwischen einer Werkzeugelektrode und einem Werkstück zur Metallabtragung genutzt. Der Funke schmilzt und verdampft das abzutragende Material, so daß die Form des Werkzeuges auf dem Werkstück abgebildet wird. Die Bearbeitung beim Erodieren geschieht unter Zuhilfenahme einer isolierenden Flüssigkeit, die sowohl Werkzeug als auch Werkstück umspült.

Die funkenerosive Bearbeitung wird vorwiegend im Werkzeugbau mit den unterschiedlichsten Verfahrensvarianten (Gravieren, Schleifen, Trennen etc.) eingesetzt.

2.3.2 Elektrostrahlverfahren

● Plasmastrahlverfahren

Gase im Übergangszustand zwischen dem neutralen und dem gänzlich ionisierten Zustand werden Plasma genannt, sie verhalten sich wie ein elektrisch leitender Stoff. Ein Plasmastrahl, der von einem elektrischen Strom durchflossen wird, kann mit einem elektromagnetischen Feld eingeschnürt werden. Dies bewirkt eine starke Temperaturerhöhung im Kern des Strahls und somit eine hohe Leistungsdichte. Derzeit sind Temperaturen zwischen 2000 K und 20.000 K zu erreichen.

Zur Gasionisation werden in der Industrie hauptsächlich zwei Verfahren angewendet. Im Bogenplasmabrenner wird das Gas (z.B. Argon oder Helium) durch einen Lichtbogen geblasen. Beim induktiven Hochfrequenzplasmabrenner erfolgt die Ionisation in einem Quarzrohr, um das eine von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossene Spule gelegt ist.

Vielfältige Anwendung finden diese Verfahren bisher sowohl beim Schneiden, Schweißen und Schmelzen von legierten Metallen als auch zum Aufdampfen und Aufspritzen von Metallen als Verschleiß- bzw. Schutzschicht.

● Elektronenstrahlerwärmung

Bei diesem Verfahren wird die Energie eines Elektronenstrahls beim Auftreffen auf einen metallischen Gegenstand in Wärme umgewandelt. Der Elektronenstrahl entsteht nach Elektronenemission aus einem direkt beheizten Wolframdraht durch Absaugen und Beschleunigen in einem elektrostatischen Feld, wobei der Strahl noch mit einer magnetischen Linse fokussiert wird. Dieses Verfahren findet hauptsächlich im Vakuum statt.

Die Elektronenstrahlverfahren haben industrielle Bedeutung beim Schmelzen, Verdampfen und Schweißen von Metallen bzw. Legierungen mit hohen Schmelzpunkten und hohem Reinheitsgrad. Da diese Verfahren mit einem großen gerätetechnischen Aufwand verbunden sind, setzt man sie in erster Linie bei qualitativ hochwertigen Werkstoffen ein. So findet z.B. in der Stahlindustrie das Elektronenstrahlschmelzen zur Herstellung hochreiner Spezialstähle Anwendung.

● Laserstrahlverfahren

Im letzten Jahrzehnt wurde die Laserstrahltechnik zur kommerziellen Nutzung weiterentwickelt, so daß sich ihr heute ein breites Anwendungsfeld bietet. Verwendungsmöglichkeiten der Lasergeräte finden sich z.B. zum Schmelzen, Schweißen, Bohren und Schneiden von Metallen, insbesondere auch bei der Präzisionsbearbeitung sehr kleiner Abmessungen.

2.3.3 Elektrochemische Verfahren

Die Elektrolyse läßt sich grundsätzlich in metallische bzw. nichtmetallische Elektrolyse unterteilen.

Mit der metallischen Elektrolyse können Metalle gewonnen werden, die auf feuerflüssigem Wege nicht aus den oxidischen Verbindungen zu lösen sind.

Es gibt drei verschiedene Verfahrenswege, abhängig davon, ob das Metall aus der ersten Verfahrensstufe als Rohmetall (Raffi-

nationselektrolyse) oder ob es in einer meist sauren Lösung (Gewinnungselektrolyse) oder ob es als Salz (Schmelzflußelektrolyse) vorliegt und selbst Elektrolyt ist. Entsprechende Beispiele sind hierzu die Kupfer-Raffinationselektrolyse, die Zink-Gewinnungselektrolyse und die Aluminium-Schmelzflußelektrolyse.

Im Gegensatz zur metallischen Elektrolyse, bei der im allgemeinen Metallionen von der Anode zur Kathode transportiert und unter Abgabe der Ladung als Metall an der Kathode abgeschieden werden, zerlegt man bei der nichtmetallischen Elektrolyse Grundstoffe wie z.B. Wasser oder Steinsalz (Natriumchlorid) in seine Bestandteile. Dabei werden häufig an der Kathode und der Anode getrennte Produkte gewonnen. Bekanntestes Beispiel ist die Chlor-Elektrolyse.

Die galvanotechnischen Verfahren basieren auf den Grundgesetzen des Ladungsträger austauschs an den Phasengrenzen zwischen der elektrolytischen Lösung und der jeweiligen Elektrode. Insbesondere in der Investitionsgüterindustrie finden sich viele Anwendungsbereiche für galvanisch abgeschiedene Schichten.

Die Elektrophorese wird in der Fertigungstechnik zum Teilchen-transport von Beschichtungsstoffen auf metallischen Werkstückoberflächen während eines Tauchprozesses eingesetzt. Bekanntestes Beispiel hierfür ist die Tauchlackierung von Karosserieteilen.

Die elektrochemische Metallbearbeitung findet ohne mechanischen Berührungskontakt mit dem Werkstück statt, so daß eine Bearbeitung ohne Werkstückerwärmung möglich ist. Dieses Verfahren kommt insbesondere bei schwer zerspanbaren Werkstoffen zum Einsatz.

2.3.4 Elektromechanische Verfahren

Bei den elektrostatischen Verfahren kommt den Elektrofiltern große Bedeutung zu, da sich mit ihnen eine besonders effektive Möglichkeit zur Reduzierung der Luftverschmutzung bietet. Als physikalische Grundlage kann die Anziehung ungleichnamig elektrisch aufgeladener Körper angesehen werden. Auf diesem Weg können z.B. aus einem Gasstrom feste und flüssige Schwebeteilchen entfernt werden. Gegenüber der Konkurrenz der mechanischen Filter haben Elektrofilter den Nachteil des großen Platzbedarfs und hoher Investitionskosten, dennoch haben sie sich in vielen Einsatzbereichen, wie z.B. der Eisenschaffenden Industrie, durchsetzen können.

Ultraschall- und Hochleistungsimpulsbearbeitung finden Anwendungsgebiete in der Feinmechanik, der elektrotechnischen und optischen Industrie, d.h. auch hier in der Präzisionsbearbeitung. Mit der Entwicklung von größeren Ultraschall-Generatoren kann auch Eingang in die Metallurgie zur Qualitätsverbesserung gefunden werden.

2.4 Wirtschaftliche Aspekte

Neben den technischen Gesichtspunkten spielen wirtschaftliche Aspekte eine bedeutende Rolle für oder gegen den Einsatz elektrischer Energie. Eine wichtige Komponente ist dabei die Entwicklung der Strompreise, und zwar sowohl absolut als auch in Relation zu anderen Energieträgern.

2.4.1 Bedeutung der Strompreise für die industrielle Produktion

Die Stromkostenbelastung in den Wirtschaftszweigen setzt sich aus den direkten und indirekten Stromkosten zusammen, wobei letztere die in den Vorprodukten enthaltenen Energieanteile beschreiben. Hierzu zeigt Tab. 2.1, daß die direkte Stromkostenbelastung der Industrie im Jahre 1978 durchschnittlich nur 1,6 % des Bruttoproduktionswerts ausmachte. In den strominten-

siven Wirtschaftszweigen der Grundstoffindustrie waren die Anteile erwartungsgemäß höher. Ergänzend ist in Tab. 2.1 ebenfalls die gesamte Energiekostenbelastung aufgeführt.

	Stromkostenbelastung in %			Energiekostenbelastung in %		
	direkt	indirekt	insges.	direkt	indirekt	insges.
<u>Grundstoffe u. Produktionsgüter</u>	2,6	2,2	4,8	8,6	9,8	18,4
- Chemie	2,3	1,9	4,2	9,5	7,7	17,2
- Steine und Erden	3,3	1,7	5,0	8,9	6,6	15,5
- Eisenschaffende Industrie	1,9	3,1	5,0	8,2	14,9	23,1
- NE-Metalle	4,8	1,3	6,1	7,4	4,7	12,1
- Gießereien	1,8	1,2	3,0	3,9	5,2	9,1
- Papiererzeugung	7,3	2,0	9,3	10,0	6,8	16,8
<u>Investitionsgüter</u>	0,9	1,3	2,2	1,7	4,1	5,8
<u>Verbrauchsgüter</u>	1,7	1,3	3,0	3,4	4,2	7,6
<u>Nahrungs- und Genußmittel</u>	0,9	1,5	2,4	2,1	4,3	6,4
Summe Bergbau u. Verarb.Gewerbe	1,6	entfällt		keine Angaben		

Tab. 2.1: Direkte und indirekte Strom- bzw. Energiekostenbelastung im Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe 1978 in % vom Bruttoproduktionswert, /17/ nach /18, 19/

Werden die Stromkosten wie in Tab. 2.1 als statistischer Durchschnittswert eines Wirtschaftszweiges herausgestellt, so gibt dies keine konkrete Aussage über bestimmte energieintensive Güter wieder, bei denen der Anteil der Stromkosten von dem Mittelwert der Branche gravierend abweichen kann. Nach /10/ können die Stromkostenanteile für bestimmte Grundprodukte teilweise bis zu 60 % des Bruttoproduktionswerts betragen (s.a. /17/).

Zusätzliche Problematik ergibt sich bei der Wahl der Bezugsgröße. Während in der Literatur die Strom- bzw. Energiekostenbelastung im allgemeinen als prozentualer Anteil am Umsatzwert oder an den Herstellungskosten ausgewiesen wird, ist nach /20/ diese Wahl der Bezugsgröße nicht geeignet. Dies deshalb nicht, da für viele Grundstoffprodukte der Rohstoffeinsatz zu Weltmarktpreisen erfolgt und dieser Kostenblock damit wettbewerbsneutral ist. Deshalb stellt man in der VIK-Studie im wesentlichen auf die Fertigungskosten der untersuchten Produktionen als Bezugsgröße ab (Tab. 2.2).

Mit dieser Betrachtungsweise wird die Bedeutung von Strom- und Energiekosten für bestimmte Grundprodukte wesentlich stärker zum Ausdruck gebracht.

Energiekostenanteil an den Fertigungskosten		Stromkostenanteil
Feinblech (Stahl)	34 %	8 %
Chlor, Natronlauge	58 %	44 %
Polyvinylchlorid	49 %	21 %
Propylenoxid	59 %	30 %
Polystyrol	43 %	5 %
Vinylacetat	55 %	11 %
Ferrochrom	59 %	54 %
Hüttenaluminium	53-58 %	29-36 %
Zement (bez. auf den Umsatz)	40 %	13 %
Kalk (bez. auf den Umsatz)	55 %	6 %

Tab. 2.2: Strom- und Energiekostenanteil an den Fertigungskosten ausgewählter Grundprodukte im Jahre 1982, /20/ und eigene Berechnungen

2.4.2 Preisentwicklung der Endenergieträger

Aufgrund der hohen Stromkostenanteile für bestimmte Produkte ist die Frage nach der Strompreisentwicklung, auch in Relation zu den Preisen anderer Energieträger, von gewichtiger Bedeutung.

In der Bundesrepublik Deutschland hat sich das Energiepreisniveau im Zeitraum 1973-1982 deutlich angehoben. Auslösender Faktor waren die Ölpreiserhöhungen 1973/74 und 1979/80, die indirekt auch die Preise für Gas und Kohle mitbeeinflussten.

In Bild 2.4 ist die Entwicklung der Energiepreise und der Energiepreisverhältnisse für ein bestimmtes, relativ hohes Abnahmeverhältnis in der Industrie dargestellt. Es ist zu beachten, daß die Ordinate logarithmisch geteilt ist, wodurch die relative Preisentwicklung hervorgehoben wird.

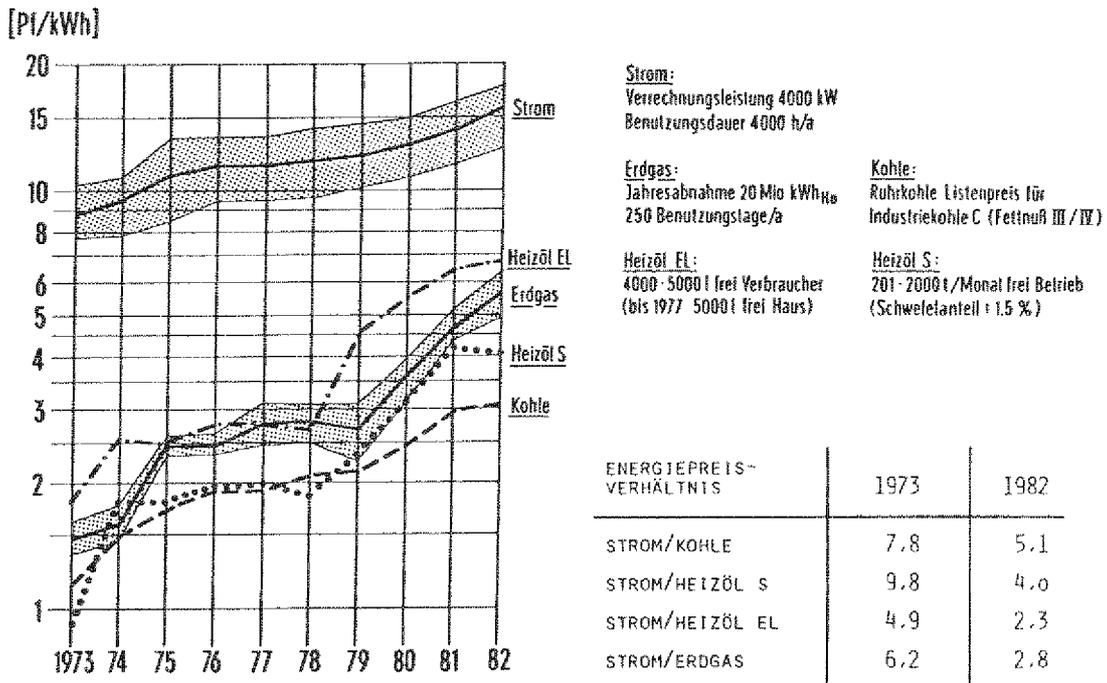


Bild 2.4: Entwicklung der Energiepreise und Energiepreisverhältnisse in der Industrie für ein bestimmtes Abnahmeverhältnis /11/, nach Angaben von /12, 13, 14, 15/

Aus globaler Sicht zeigt Bild 2.4, daß sich die relative Preisentwicklung der Elektrizität gegenüber den fossilen Endenergieträgern von 1973 - 1982 zurückhaltender entwickelt hat. Dementsprechend hat sich das Verhältnis von Strom- zu Brennstoffpreis in den letzten 10 Jahren zugunsten der elektrischen Energie verschoben.

Die aufgezeigte Bandbreite des Strompreises ist von einer Vielzahl verschiedener Einflußfaktoren abhängig. Regionale Preisunterschiede und unterschiedliche Sonderabnehmerverträge lassen den Strompreis je nach Branche und Standort erheblich differenzieren. Ebenfalls spielt die Höhe des Abnahmeverhältnisses eine entscheidende Rolle.

Insgesamt läßt sich festhalten, daß bei rein kalorischer Bewertung Elektrizität im Vergleich mit anderen Energieträgern der wesentlich teurere Energieträger ist. Es müssen also weitere, die Kostennachteile kompensierende Gründe vorliegen, daß der Stromeinsatz in der Industrie, speziell auch im Bereich der Prozeßwärmeanwendung, zugenommen hat.

2.4.3 Energetische Gesichtspunkte

Bestimmend für die Energiekosten konkurrierender Prozeßwärmeverfahren ist der Bedarf an Endenergie. Dieser wird weniger vom Wirkungsgrad, sondern vom Nutzungsgrad der Gesamtanlage bestimmt. Letzterer beinhaltet gegenüber dem Wirkungsgrad den gesamten instationären Betriebsverlauf einschließlich Anheiz-, Warmhalte- und Leerlaufenergieverbräuche und kann somit einen deutlich niedrigeren Wert haben. Er ist definiert als das Verhältnis der benötigten Nutzenergie zur insgesamt zugeführten Endenergie.

Die elektrischen Erwärmungsverfahren erscheinen zunächst in energetischer Hinsicht als anfechtbar. Untersuchungen von /16/ zeigen hierzu, daß der Endenergiebedarf bestimmter Elektrowärmeverfahren bei detaillierter Betrachtung deutlich geringer als der brennstoffbeheizter Verfahren sein kann und somit den höheren Wärmepreis der Sekundärenergie Strom gegenüber den konkurrierenden Brennstoffen teilweise aufwiegt. Dehnt man diesen Vergleich auf den Primärenergieeinsatz der gesamten Umwandlungskette aus, d.h. unter Berücksichtigung der verschiedenen Energieverluste zur Bereitstellung und Verteilung der jeweiligen Endenergieträger, so zeigt sich, daß das Verhältnis des Primärenergiebedarfs der elektrischen Verfahren gegenüber den brennstofforientierten Verfahren nicht um die volle thermodynamische Verlustrate im Kraftwerk verändert wird.

In Bild 2.5 sind für acht brennstoff- bzw. elektrischbeheizte Verfahren die entsprechenden Verhältnisse dargestellt.

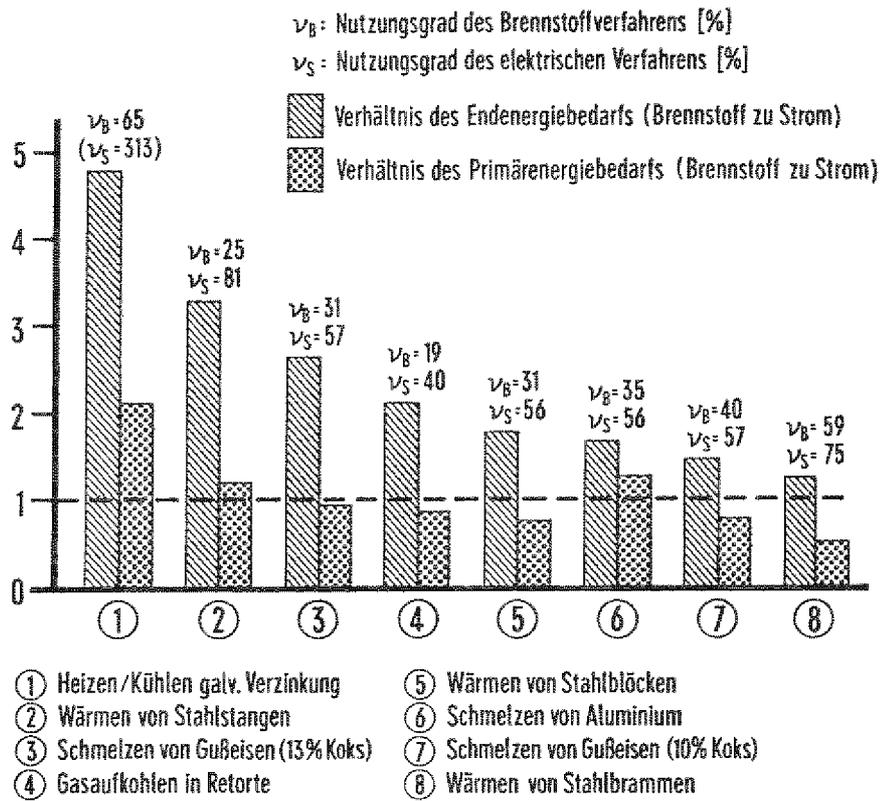


Bild 2.5: Verhältnis Brennstoff zu Strom verschiedener wärmetechnischer Produktionsverfahren /16/

An dem nachfolgenden konkreten Beispiel (Bild 2.5, Fall 5) sollen die bisherigen Aussagen verdeutlicht werden.

In Bild 2.6 sind die Ergebnisse von Energieverbrauchsmessungen an erdgasbeheizten Stoßöfen und Induktionserwärmungsanlagen aufgezeigt. Vor dem Schmieden werden Stahlblöcke in diesem Fall auf eine Temperatur von 1250 °C erwärmt. Die definierten Nebenbedingungen der vergleichenden Analyse sind in /16/ zu finden, der Nutzenergiebedarf wird mit 250 kWh/t entsprechend 100 Teilen angenommen.

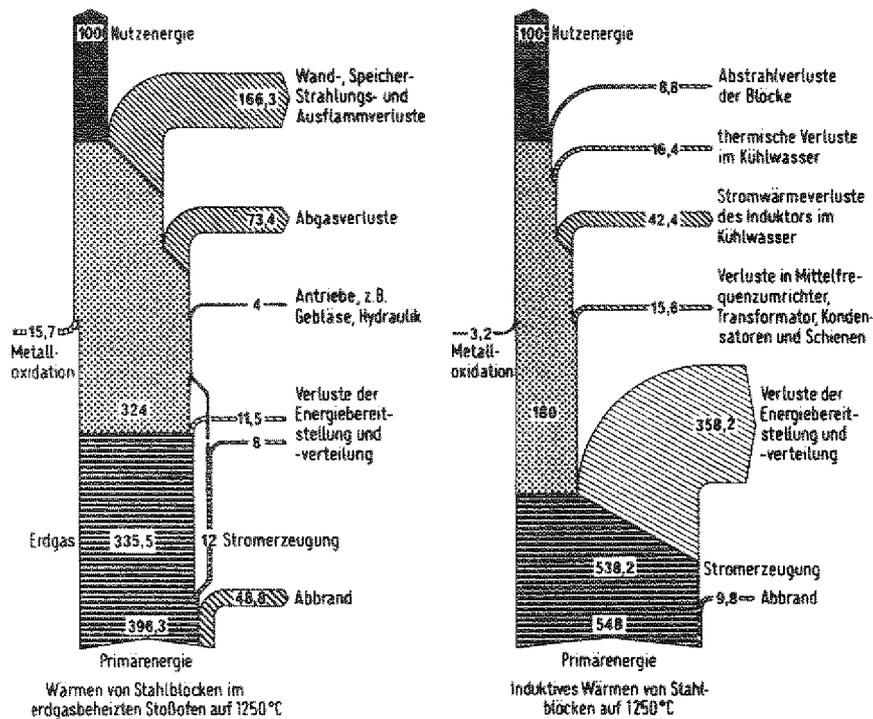


Bild 2.6: Energieflußbilder vom Wärmen von Stahlblöcken zum Gesenkschmieden /16/

Ein Vergleich der Energieflußbilder zeigt beim erdgasbeheizten Stoßofen einen niedrigeren Primärenergiebedarf gegenüber der Induktionsanlage. Der Endenergiebedarf ist dagegen beim Stoßofen mit 820 kWh/t (324 Anteile) höher als bei der Induktionsanlage mit 450 kWh/t (180 Anteile). An diesem Beispiel zeigt sich recht deutlich die Einflußgröße 'Metalloxydation'.

Die in diesem Kapitel geschilderten energetischen Aspekte zeigen, daß vergleichende Untersuchungen nur im jeweiligen Einzelfall und unter genau definierten Nebenbedingungen erfolgen dürfen.

2.5 Versorgungsspezifische Aspekte

2.5.1 Verfügbarkeit der Energieträger

Spätestens seit der ersten Ölpreiskrise dürfte auch der Aspekt der Versorgungssicherheit sowie die zukünftige Preisentwicklung der Energieträger für die Industriebetriebe zu einem wichtigen Beurteilungskriterium geworden sein.

Die Importabhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland ist bei einigen Energieträgern relativ hoch (z.B. Öl und Gas) und damit zu einem wenig genau kalkulierbaren Faktor geworden. So dürfte die Einschätzung der zukünftigen Preisentwicklung der Energieträger mit sehr großen Unsicherheiten verbunden sein.

Hier erscheint die elektrische Energie neben den heimischen Kohlen dem importierten Öl und Erdgas im Vorteil. Die öffentliche Stromversorgung ist auf eine breite Primärenergieträgerbasis gestellt (Bild 2.7). In Verbindung mit der elektrotechnischen Infrastruktur ist der Sekundärenergieträger Strom hinsichtlich langfristiger Verfügbarkeit sehr hoch einzuschätzen, was sich positiv auf die Elektrizitätsanwendung auswirken kann.

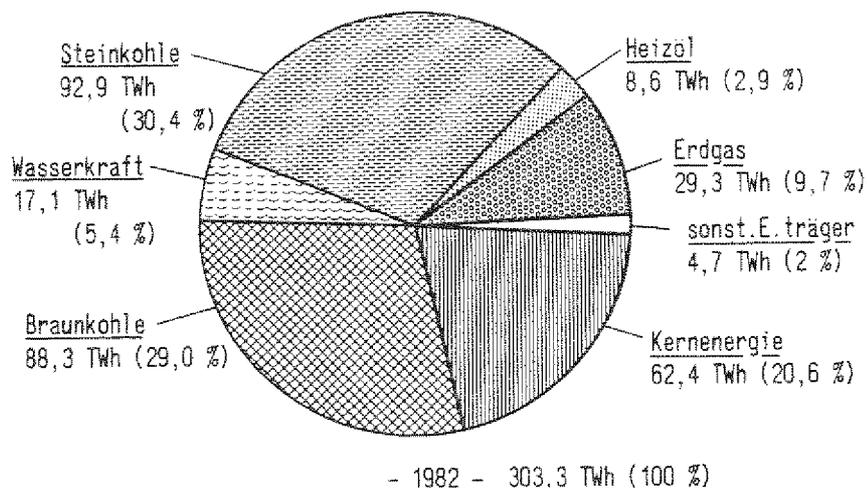


Bild 2.7: Stromerzeugung der öffentlichen Stromversorgung nach Energiequellen im Jahre 1982 /15, 21/

2.5.2 Industrielle Eigenstromerzeugung

Im Hinblick auf die Themenstellung stellt sich die Frage nach einem möglichen Zusammenhang zwischen industrieller Eigenstromerzeugung und Anwendung elektrischer Verfahren. Es ist durchaus denkbar, daß ein Industriebetrieb, der sich z.B. mit Kraft-Wärme-Kopplung die Möglichkeit der Eigenstromerzeugung eröffnet, elektrische Verfahren favorisiert.

Die Eigenstromerzeugung ist ein sehr komplexes Gebiet, so daß die Frage nicht global, sondern in den jeweiligen Wirtschaftszweigen und im Rahmen der Arbeit auch nur für die gewichtigen Branchen erörtert wird.

An dieser Stelle soll zunächst ein kurzer Gesamtüberblick auf die industrielle Eigenstromerzeugung gegeben werden:

Im Gegensatz zur öffentlichen Stromerzeugung hat sich die industrielle Eigenstromerzeugung wesentlich zurückhaltender entwickelt (Bild 2.8). Bis zur ersten Ölpreiskrise wurde rund 1/3 des Industriestromverbrauchs auf diese Weise gedeckt. Danach ist eine Zunahme des Fremdstrombezugs festzustellen, so daß der eigenerzeugte Anteil im Jahre 1982 nur noch knapp 24 % des industriellen Stromverbrauchs betrug.

In Bild 2.9 ist die weitere Aufteilung der Eigenstromerzeugung nach Antriebsmaschinen dargestellt. In Verbindung mit Bild 2.8 zeigt sich, daß die Stromerzeugung in den industrieeigenen Kondensationskraftwerken absolut und relativ rückläufig ist. Die rationelle Energieausnutzung mittels Kraft-Wärme-Kopplung in Gegendruck- bzw. Entnahmekondensationsmaschinen konnte ihre relativen Anteile zu Beginn der '80er Jahre ausweiten, dies ist auf eine Umstellung in der Chemischen Industrie zurückzuführen.

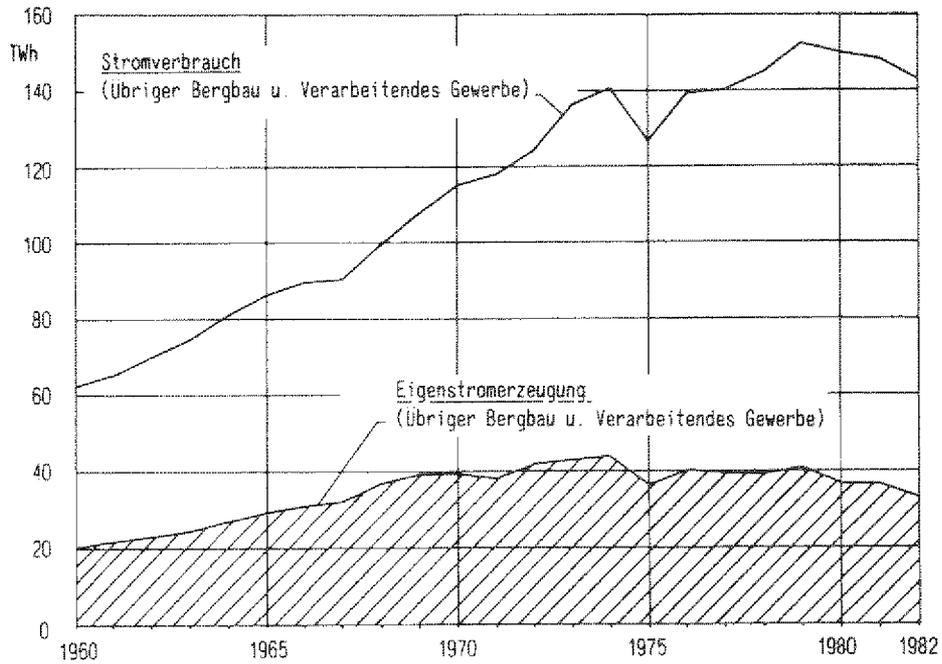


Bild 2.8: Deckung des Strombedarfs des 'Übrigen Bergbaus und Verarbeitenden Gewerbes' von 1960-1982 /22/

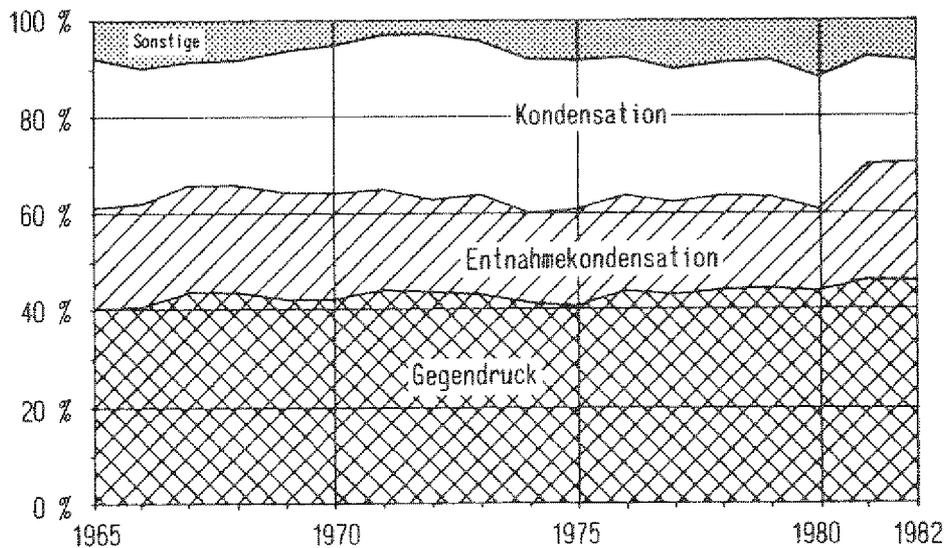


Bild 2.9: Relative Entwicklung der Eigenstromerzeugung im 'Übrigen Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe' nach Antriebsmaschinen von 1965-1982 /15/

Nur drei Großbranchen nehmen die Möglichkeit der reinen Kondensationsstromerzeugung wahr. Zu nennen sind hier die NE-Metallindustrie (27 %), Chemie (11 %) und die Eisenschaffende Industrie (60 %), die zusammen rund 98 % des 1982 erzeugten Kondensationsstroms von 7,3 TWh bestritten.

Bei der Kondensationsstromerzeugung spielt die Anlagengröße eine entscheidende Rolle. Während die öffentliche Stromversorgung die Grundlage der Stromerzeugung auf Großkraftwerke umstellte und somit die spezifischen Kostenvorteile nutzte, konnte die Industrie nicht Schritt halten. Der Einsatz von Kernenergie zur Stromerzeugung war der Industrie bisher überhaupt nicht möglich.

Im Gegensatz zu den Kondensationsanlagen wird in den Gegendruck- und Entnahmekondensationsmaschinen Wärme und Kraft gleichzeitig gewonnen, wobei diese Anlagen primär der Deckung des Wärmebedarfs dienen. Die Erzeugung von mechanischer Energie ist mehr ein Nebenprodukt, das entweder in Generatoren zentral zur Stromerzeugung oder dezentral zum Antrieb von Pumpen oder Gebläsen genutzt werden kann.

Es ist zweckmäßig, die Einsatzbereiche der konventionellen Kraft-Wärme-Kopplung am Prozeßwärmeprofil der Industrie aufzuzeigen.

In Bild 2.10 handelt es sich nach /23/ um relativ grobe Abschätzungen, da eine statistische Aufgliederung des Endenergieeinsatzes auf verschiedene Anwendungszwecke und verschiedene Temperaturbereiche nicht existiert.

Aufgrund des Produktionsrückganges in der Eisenschaffenden Industrie und der Branche Steine und Erden haben in den letzten 10 Jahren Verschiebungen der Wärmemarktanteile zu niedrigerem Temperaturniveau stattgefunden.

Eindeutige Schwerpunkte liegen aber nach wie vor bei einem Temperaturniveau von 200 °C (NT-Bereich) und dann wieder bei rund 1400 °C (HT-Bereich).

Die Einsatzmöglichkeiten der konventionellen Kraft-Wärme-Kopplung finden sich auf dem Gebiet der Nieder- und Mitteltemperatur, wobei somit gleichzeitig die branchenspezifische Verwendung weitgehend fixiert ist. KWK-Systeme sind vorrangig in den Wirtschaftszweigen Chemie, Zellstoff und Papier, der Textil- und der Nahrungsmittelindustrie installiert. Im Bereich des 'Übrigen Gewerbes' sind noch die Branchen Eisenschaffende Industrie und Metallbearbeitung zu nennen.

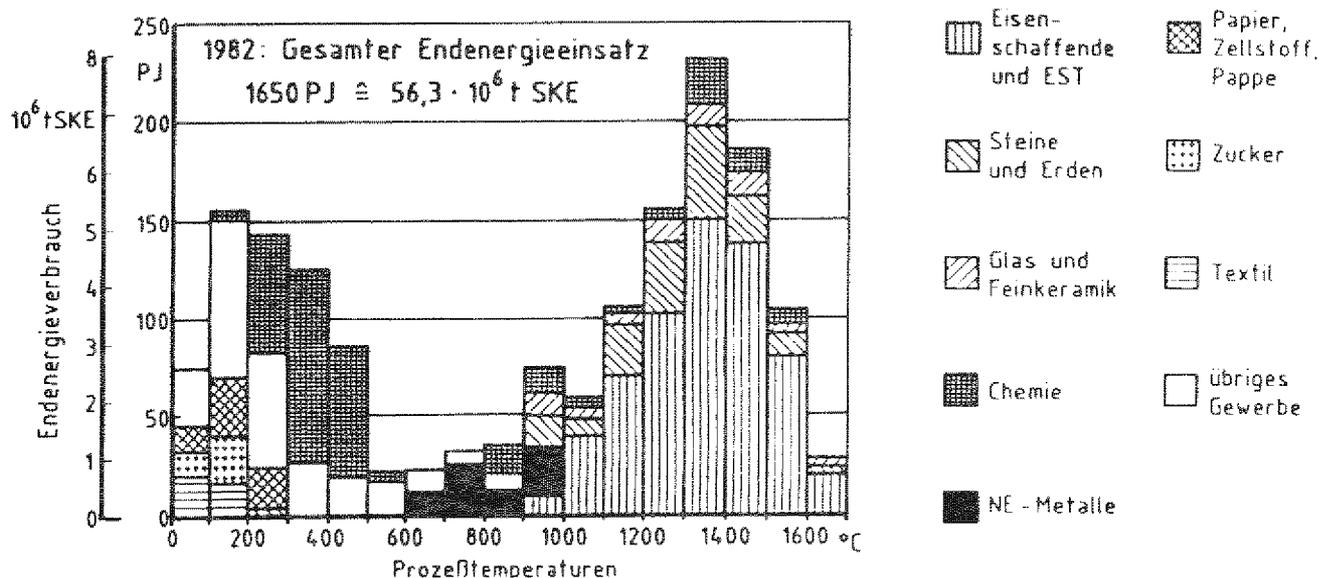


Bild 2.10: Prozeßwärmeprofil der Industrie im Jahre 1982 /23/

Als beschreibende Größe kennzeichnet die Stromkennzahl (SZ in kWh/GJ) sowohl die kraftwerksseitigen Erfordernisse eines Betriebes als auch die anlagentechnische Realisation. Für letztere ist sie definiert als der Quotient aus Nettostromerzeugung in einer Zeitspanne und nutzbarer Wärmeenerzeugung in der gleichen Zeitspanne, beide beschränkt auf die Kraft-Wärme-Kopplung.

Nach /24/ hat sich die Stromkennzahl vieler Produktionsgüter in der letzten Zeit erheblich erhöht. Ursache dieser Entwicklung liegt vielfach in den bereits angesprochenen Einflußgrößen Automatisierung (meist erhöhter Stromeinsatz) und Rationalisierung (meist verbesserte Wärmetechnik).

In Bild 2.11 ist die Stromkennzahl für verschiedene Varianten der Kraft-Wärme-Kopplung dargestellt. Schwerpunkt der Anwendung liegt eindeutig bei den Dampfkreisprozessen, wobei die Auswahl insbesondere bei den kombinierten Prozessen speziell auf den jeweiligen Anwendungszweck zugeschnitten ist.

Die produktionsseitige Verschiebung im Strom/Wärme-Verhältnis in Richtung mehr Strom kann von den derzeit realisierten KWK-Anlagen meist nicht aufgefangen werden. Dies dokumentiert sich auch in der beschriebenen Zunahme des industriellen Fremdstrombezugs.

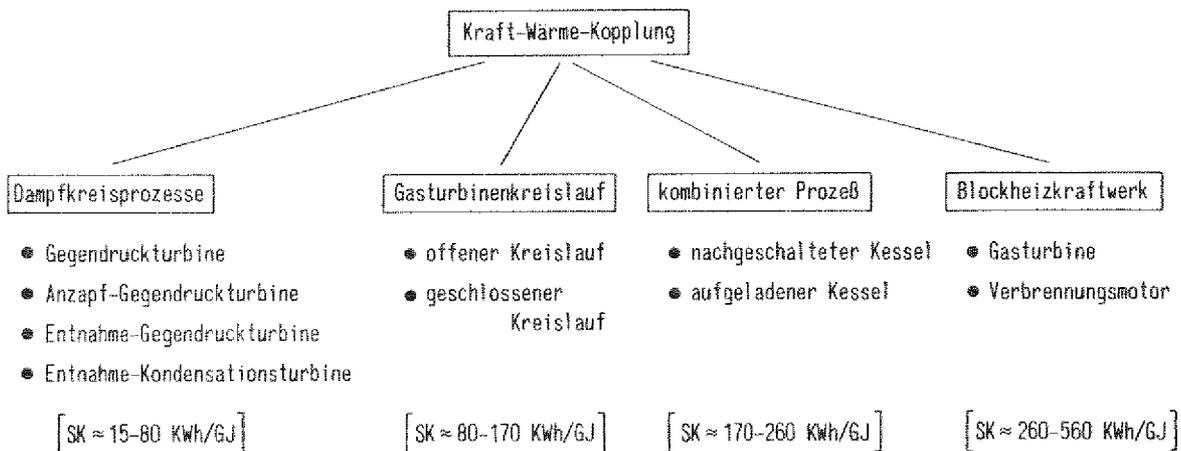


Bild 2.11: Varianten der konventionellen Kraft-Wärme-Kopplung

2.6 Ökologische Aspekte

Großen Einfluß auf die Auswahl des Endenergieträgers und somit des Produktionsverfahrens können ökologische Aspekte haben.

Die Umwelt wird maßgeblich durch Energieumwandlungen belastet, wobei die Stärke und Art der Belastung von der Menge und Zusammensetzung der Energieträger bestimmt werden. Die Trennung von Energiebereitstellung und -anwendung, wie sie in der Stromwirtschaft vorliegt, bietet die Möglichkeit, Rückhaltemaßnahmen an einer zentralen Stelle durchzuführen und damit das Verursacherisiko zu überwälzen. Mit zunehmenden gesetzlichen Auflagen

(Großfeuerungsverordnung, TA-Luft etc.) dürfte dieser Aspekt für ein Unternehmen durchaus von Bedeutung sein.

Am Arbeitsplatz selbst kann die Anwendung elektrischer Verfahren ebenfalls zur Reduzierung der Umweltbelastung beitragen bzw. die Schadstoffreinigung erleichtern. Als Beispiel sei die verringerte Wärmebelastung der elektrischen Erwärmungsverfahren oder die einfacheren Entstaubungsmöglichkeiten bei Induktions-tiegelöfen genannt.

2.7 Zusammenfassende Betrachtung des 2. Kapitels

Die im 2. Kapitel aufgeführten Aspekte stellen eine Auswahl der möglichen Kriterien dar, die den Einsatz der Elektrizität in der Industrie maßgeblich beeinflussen. Je nach Branche können diese Faktoren mit einer unterschiedlichen Gewichtung Einfluß nehmen. In Bild 2.12 sind die verschiedenen Aspekte noch einmal im Überblick zusammengestellt.

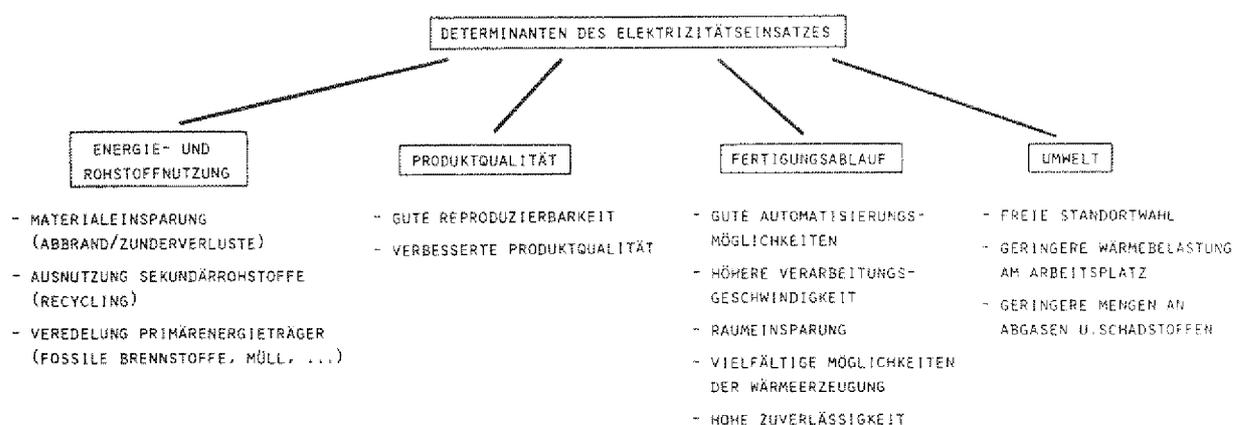


Bild 2.12: Determinanten des Elektrizitätseinsatzes für industrielle Prozesse

Grundsätzlich läßt sich feststellen, daß bei der Umstellung oder Einführung eines Produktionsverfahrens die gesamte Wirtschaftlichkeit der ausschlaggebende Faktor ist. Nur aus rein energetischen Gesichtspunkten wird eine Umstellung bestehender Produktionsverfahren in der Regel nicht durchgeführt. Der energetische Aspekt rückt in der Industrie in den Vordergrund, wenn generell neue Investitionen zu tätigen sind, wie eine Untersuchung des IFO-Institutes /25/ zeigt. Hieraus ist zu folgern, daß auch bei eindeutigen technischen Vorteilen die Elektrotechnologie nicht sprunghaft Eingang in die industrielle Nutzung findet.

3 SEKTORALE EINZELANALYSE DER ELEKTRIZITÄTSANWENDUNG IN DEN INDUSTRIESEKTOREN

3.1 Vorgehensweise

Als Ausgangspunkt der sektoralen Untersuchung wird die Makroanalyse ganzer Wirtschaftsgruppen bzw. -zweige gewählt. Diese Analyse ist zunächst auf die von der amtlichen Statistik und den Verbandsstatistiken gelieferten Zeitreihen des Energieverbrauchs und seiner beschreibenden Variablen angewiesen und aus diesem Grunde vor allem eine Zeitreihenanalyse und Regressionsanalyse.

Ziel ist es, zwischen dem Verlauf von Energie- bzw. Stromverbrauch und Wirtschaftstätigkeit sowohl bestehende Elastizität als auch eventuell vorhandene Unstetigkeiten aufzuzeigen. In der anschließenden Beschreibung von Produktionsstruktur, vorherrschenden Verfahrenstechniken und wirtschaftlicher Entwicklung wird versucht, die statistisch gefundene Darstellung zu erklären, wesentliche Einflußfaktoren auf die bisherige Entwicklung der industriellen Elektrizitätsanwendung herauszuarbeiten und zukünftige Tendenzen aufzuzeigen.

Die zum Teil unterschiedliche Abgrenzung und Darstellung, sowie die oft sehr starke Aggregation der Daten in den einzelnen Statistiken erweist sich als störend für vergleichende Untersuchungen über den Energieverbrauch.

Grundlage der Arbeit ist deshalb der von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen /1/ ausgewiesene Endenergieverbrauch, der auf den Angaben des Statistischen Bundesamtes zur Energieversorgung des Produzierenden Gewerbes /22/ basiert. Vorteilhaft für die Analyse ist hier, daß der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in industriellen Eigenanlagen und der nichtenergetische Verbrauch bereits abgezogen sind.

Bei der Detaillierung des Stromverbrauchs wird auf die tiefer aggregierten Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen.

3.2 Abgrenzung energie- und stromintensiver Wirtschaftszweige

In Bild 3.1 ist der industrielle Endenergie- und Stromeinsatz aufgegliedert nach übergeordneten Verbrauchssektoren und energie- bzw. stromintensiven Wirtschaftszweigen für das Jahr 1982. Die dominierende Rolle spielt die Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie, innerhalb derselben wieder die Sparten Eisenschaffende Industrie und Chemie. Hinsichtlich Stromeinsatz ist als dritter Großverbraucher noch die NE-Metallerzeugung zu nennen. Auf diese drei Wirtschaftszweige entfielen 1982 rund 50 % des industriellen Elektrizitätsbedarfs.

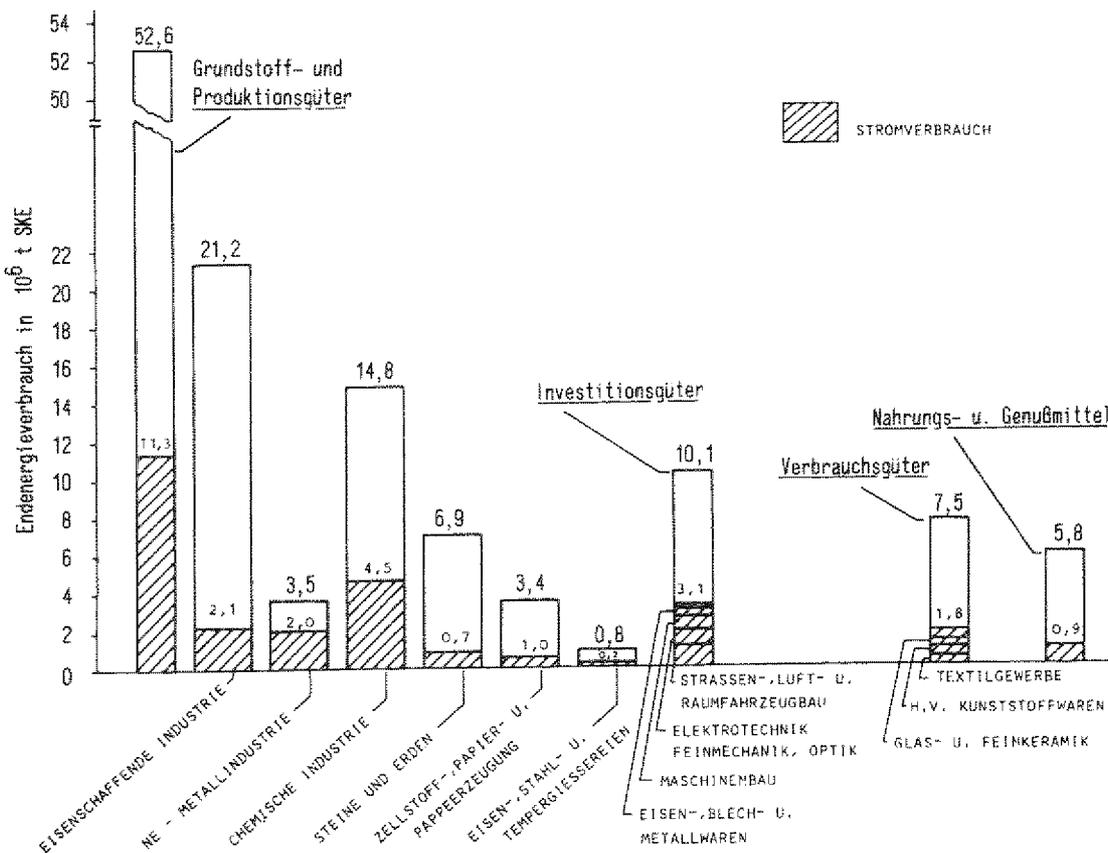


Bild 3.1: Endenergieverbrauch des 'Übrigen Bergbaus und Verarbeitenden Gewerbes' aufgegliedert nach Wirtschaftszweigen für das Jahr 1982 /1/

Hinsichtlich der Aufgabenstellung wird zuerst die Detaillierung der Stromgroßverbraucher angestrebt, so daß der Schwerpunkt auf den Wirtschaftszweigen der Grundstoffindustrie liegt. Neben den bereits angesprochenen Wirtschaftszweigen werden ebenfalls die Branchen Steine und Erden, Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung sowie Eisen-, Stahl- und Tempergießerei diskutiert.

Während der Stromverbrauch in der Grundstoffindustrie z.T. von einigen äußerst stromintensiven Technologien geprägt ist, findet sich in den weiteren Verbraucherbereichen ein breites Anwendungsspektrum elektrotechnologischer Verfahren. Aus diesem Grund erfolgt für die Investitions- und Verbrauchsgüterindustrie sowie das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe eine möglichst weitgehende Beschreibung des Elektrizitätseinsatzes anhand ausgewählter Branchen (vgl. Bild 3.1).

3.3 EISENSCHAFFENDE INDUSTRIE

3.3.1 Überblick

Die Eisenschaffende Industrie ist mit Abstand der größte Endenergieverbraucher innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes. Im Jahre 1982 wurden in den Produktionsanlagen dieser Branche 21,3 Mio t SKE eingesetzt, das waren rund 28 % des gesamten industriellen Endenergieverbrauchs. Mit einem Stromeinsatz von 17,7 TWh zählte sie zu den industriellen Großabnehmern.

In der Wirtschaftsgruppe der Eisenschaffenden Industrie [27]¹⁾, des weiteren auch Eisen- und Stahlindustrie genannt, sind folgende Wirtschaftszweige zusammengefaßt:

- Hochofen-, Stahl- und Warmwalzwerke [2711]
- Herstellung von Stahlrohren [2715]
- Herstellung von Präzisionsstahlrohren [2720]
- Schmiede-, Preß- und Hammerwerke [2740]

Nicht nur aus energetischen Gesichtspunkten kommt dem Wirtschaftszweig 'Hochofen-, Stahl- und Warmwalzwerke' die größte Bedeutung innerhalb der Eisen- und Stahlindustrie zu. Hauptprodukte sind Roheisen und Rohstahl in unterschiedlicher Qualität. Der flüssige Rohstahl wird anschließend in nachgelagerten Verfahrensschritten zu Walzstahlfertigerzeugnissen, Stahlrohren, etc. weiterverarbeitet.

3.3.2 Produktionsverfahren und Produktionsentwicklung

Bild 3.2 zeigt, daß sich das Produkt Rohstahl mit verschiedenen Verfahrenslinien gewinnen läßt. Nach dem jeweils ausschließlich oder überwiegend verwendeten Einsatzstoff unterscheidet man grundsätzlich zwischen Reduktionsprozessen zur Gewinnung von

¹⁾ Die Klammerwerte kennzeichnen die Einordnung gemäß Systematik der Wirtschaftszweige im Produzierenden Gewerbe (SYPRO)

Rohstahl aus Erz und Umschmelzprozessen zur Erzeugung von Rohstahl aus Schrott. Das klassische Verfahren im Rahmen der Reduktionsprozesse ist die Produktionslinie Sinteranlage - Hochofen - Sauerstoffblasstahlwerk, das dominierende Verfahren der Umschmelzprozesse ist der Elektrolichtbogenofen (Bild 3.2).

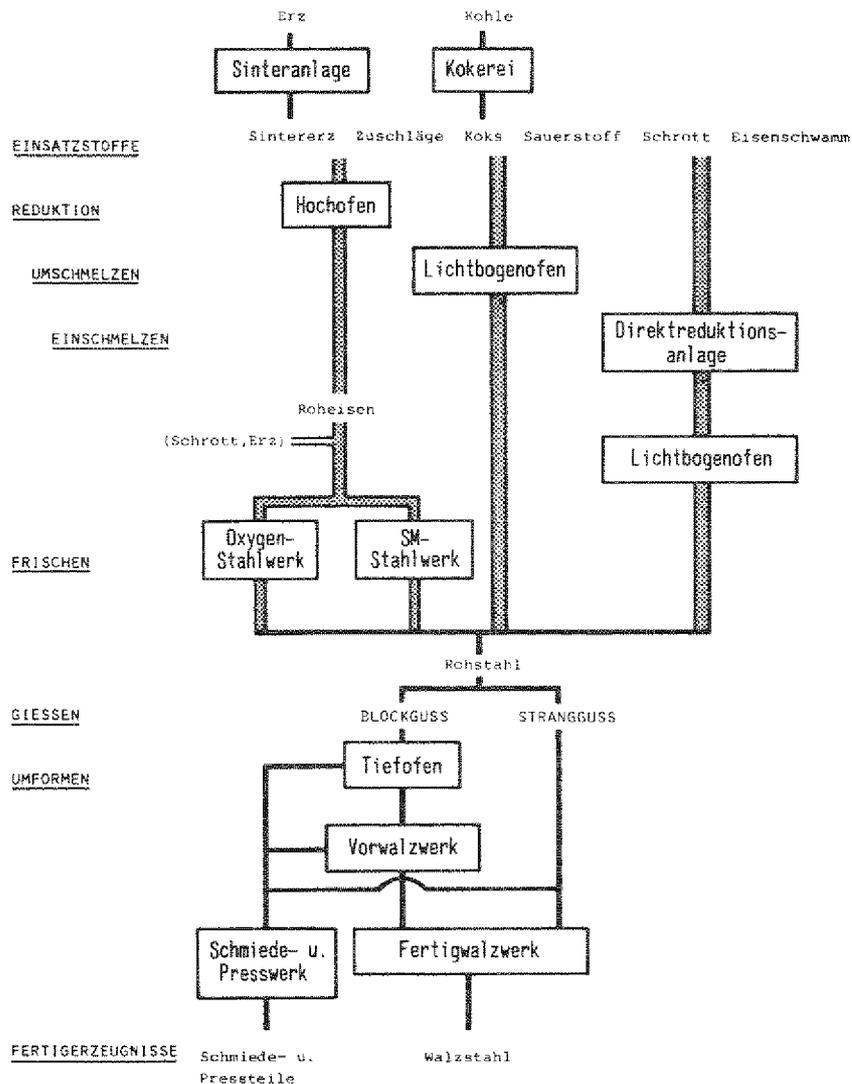


Bild 3.2: Vereinfachtes Verfahrensschema der Eisenschaffenden Industrie

Die dritte Verfahrenslinie, die weltweit in Anwendung ist, stellt die Eisenschwammerzeugung in Direktreduktionsanlagen mit anschließender Weiterverarbeitung im Elektrolichtbogenofen dar. Sie findet in dieser Form in der Bundesrepublik derzeit kaum

Anwendung, importierter Eisenschwamm wird aber in unterschiedlichen Mengen den Schrottschmelzprozessen hinzugegeben.

Wie in Bild 3.2 dargestellt, ist die Weiterverarbeitung des flüssigen Rohstahls für alle drei Verfahrenslinien gleich. Gegenüber dem Blockgußverfahren gewinnt der im Strang vergossene Anteil immer mehr an Bedeutung.

In den nachfolgenden Bildern ist die Entwicklung der Rohstahlerzeugung (Bild 3.3a) und der Anteile der Stahlerzeugungsverfahren (Bild 3.3b) seit 1960 aufgezeigt. Die Rohstahlproduktion weist bis 1974 einen von konjunkturbestimmten Schwankungen begleiteten Anstieg auf 53,2 Mio t auf. Danach wird der Trend von tiefen Einbrüchen, verursacht durch Veränderungen der jeweiligen ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen, unterbrochen, so daß 1982 nur noch 35,8 Mio t Rohstahl erzeugt wurden. Es ist bemerkenswert, daß die Elektrostahlproduktion von diesen Einbrüchen relativ unberührt einen stetigen Anstieg auf rund 6,3 Mio t (entsprechend 17,6 % der Gesamtrohstahlerzeugung im Jahre 1982) zu verzeichnen hatte.

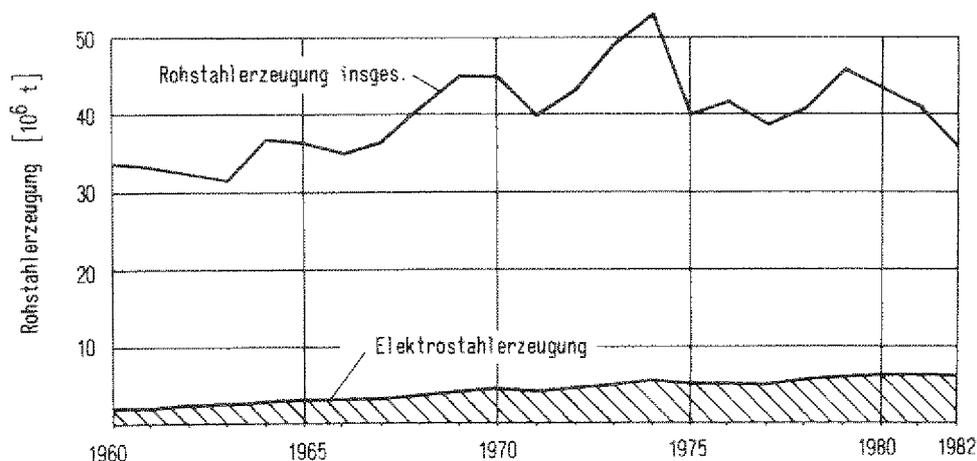


Bild 3.3a: Entwicklung der Rohstahlerzeugung von 1960-1982

/27, 29/

Angemerkt sei, daß die Rohstahlzahlen im letzten Jahrzehnt die Entwicklung der Fertigstahlproduktion nicht präzise wiedergeben. Der zunehmende Stranggußanteil und andere Verbesserungen

des Ausbringens beim Walzen ermöglichen deutliche Rohstahlein-
sparungen pro Tonne Fertigstahl /26/.

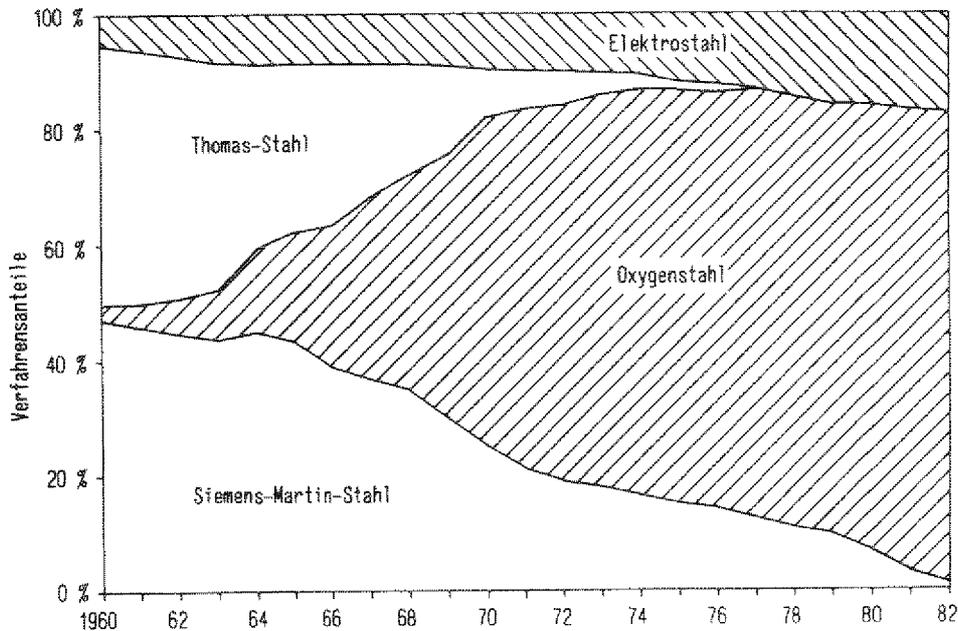


Bild 3.3b: Entwicklung der Verfahrensanteile in der
Rohstahlerzeugung von 1960-1982 /27, 29/

3.3.3 Entwicklung des Energieverbrauchs

Die mit Bild 3.3b dargestellte Entwicklung der Rohstahlerzeu-
gungsverfahren, jeweils gekennzeichnet durch den Bedarf an Koks
bzw. elektrischer Energie, hat zu einem großen Teil die Energie-
trägerstruktur und die spezifischen Verbrauchswerte in der
Eisenschaffenden Industrie beeinflusst.

Wie aus Bild 3.4 hervorgeht, hatten 1982 die festen Brennstof-
fe¹⁾, es handelt sich hierbei nahezu ausschließlich um Hochofen-

1) Dabei ist zu beachten, daß der tatsächliche Koksverbrauch
der Eisen- und Stahlindustrie im Jahre 1982 um 5,2 Mio t SKE
höher liegt. Aufgrund der Erfassungssystematik der Energie-
bilanzen /1/ wird das auf den Heizwert bezogene Koksäquiva-
lent der Gichtgasmenge vom Koksverbrauch der Eisenschaffen-
den Industrie abgezogen und als Umwandlungseinsatz ausge-
wiesen.

koks, einen Anteil von rund 48 % (10 Mio t SKE). Der Anteil der Mineralölprodukte ist nach einem Maximum von 20 % im Jahre 1972 sehr stark auf 3,6 % im Jahre 1982 zurückgegangen. Erdgas konnte dagegen seine Marktanteile in den letzten 15 Jahren stetig auf über 13 % erhöhen, so daß insgesamt rund 7,5 Mio t SKE (entsprechend 35 %) gasförmige Endenergieträger zum Einsatz kamen. Die bei den Hüttenprozessen anfallenden Koppelprodukte Kokereigas, Gichtgas und Konvertergas spielen eine bedeutende Rolle in der energiewirtschaftlichen Planung der Betriebe.

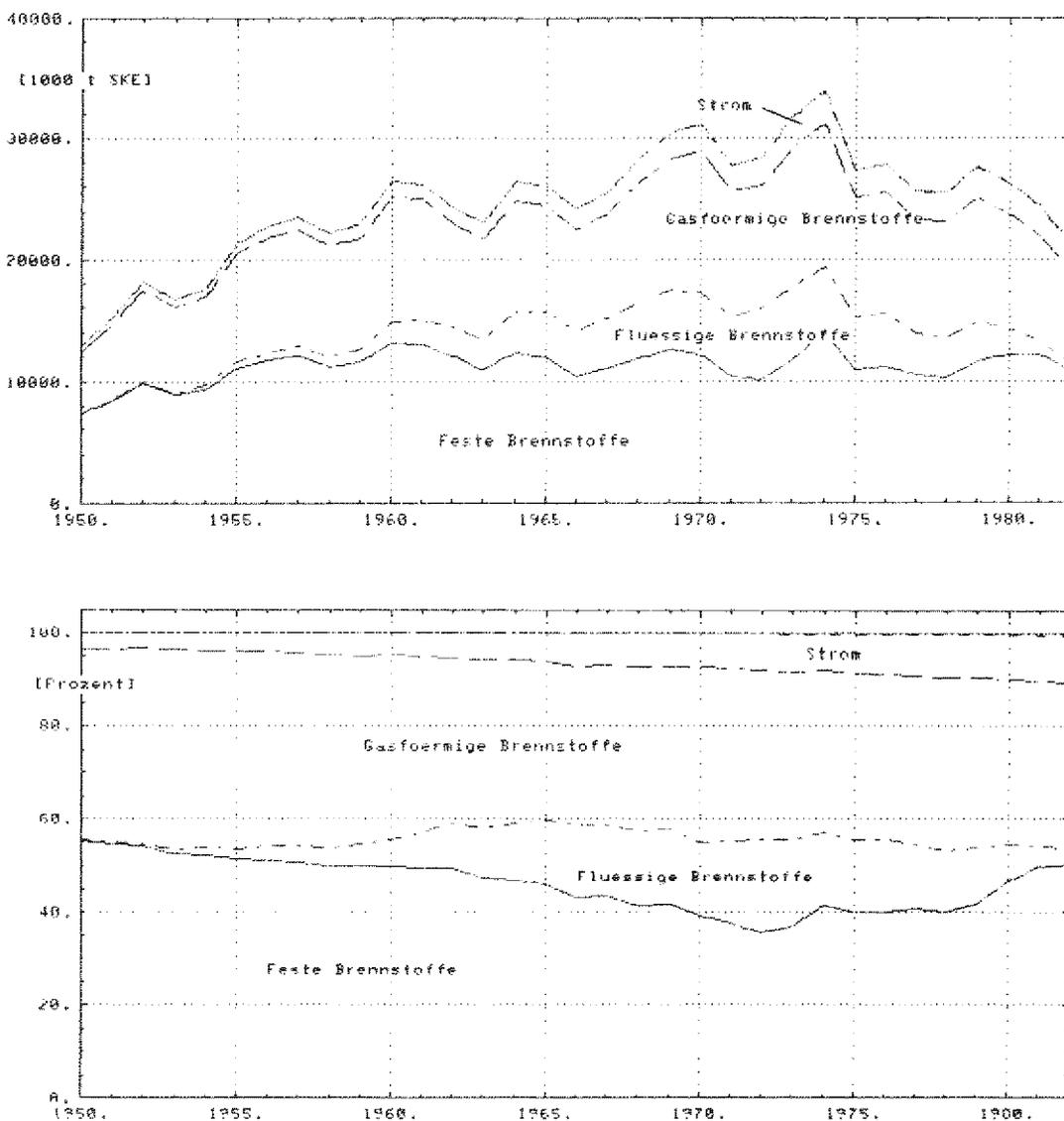


Bild 3.4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der Eisenschaffenden Industrie [27] von 1950-1982 /1/

Der Stromeinsatz zeigt seit 1950 einen stetigen Anstieg. Relativ hatte er 1982 zwar nur einen Anteil von 10 % am Endenergieverbrauch der Eisenschaffenden Industrie, was in absoluten Zahlenwerten aber beachtlichen 2,2 Mio t SKE (17,7 TWh) entsprach.

Der spezifische Endenergieverbrauch, kumuliert über alle Fertigungsstufen bis zu den Fertigerzeugnissen in t SKE je Tonne Rohstahl, ist zwischen 1960 und 1982 um rund ein Viertel reduziert worden. Maßgeblich für diese Entwicklung sind: die Reduzierung des spezifischen Koksbedarfs im Hochofen, die Einsatzoptimierung des Hochofengases, Maßnahmen der Energierückgewinnung, der Übergang zu den Oxygenverfahren und nicht zuletzt die Einführung des Stranggußverfahrens.

Im Gegensatz zum spezifischen Endenergieverbrauch konnte der spezifische Stromverbrauch von 1960 bis 1982 einen Anstieg von über 60 % verzeichnen, was die zunehmende Bedeutung dieses Energieträgers in der Eisenschaffenden Industrie unterstreicht.

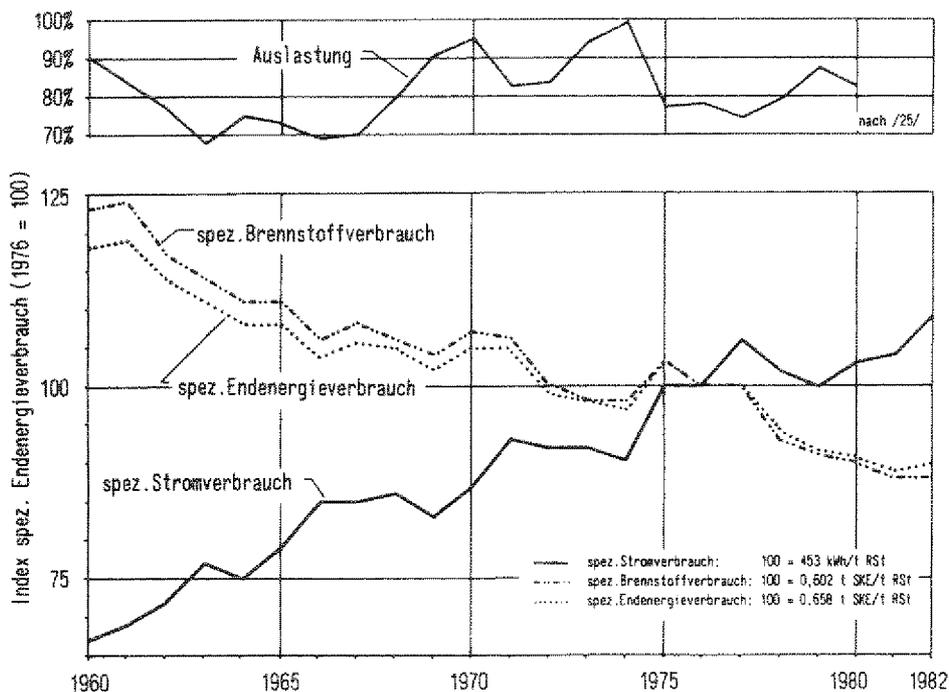


Bild 3.5: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in der Eisenschaffenden Industrie [27] von 1960-1982 /25, 1, 28/

3.3.4 Detailierung des Stromeinsatzes

3.3.4.1 Aspekte zum spezifischen Stromverbrauch

Aus der in Bild 3.5 dargestellten Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs ist nicht ersichtlich, ob der Anstieg auf Substitutionsbeziehungen innerhalb der Endenergieträger oder auf eine veränderte Produktionsmenge bzw. -zusammensetzung zurückzuführen ist. Zum Beispiel kann der spezifische Stromverbrauch bei konstanter Elektrostahlerzeugung aufgrund insgesamt verringerter Rohstahlerzeugung ansteigen.

In Bild 3.6 ist deshalb der funktionale Zusammenhang zwischen Stromverbrauch und Rohstahlproduktion dargestellt. Vergleicht man Jahre annähernd gleicher Produktion und Kapazitätsauslastung (z.B. 1968, 1978 und 1981), so zeigt sich anhand dieser Darstellung, daß aufgrund des gestiegenen Stromverbrauchs pro Tonne Rohstahl stromintensivere Produktionsverfahren bisherige Verfahren der Rohstahlerzeugung substituiert haben müssen.

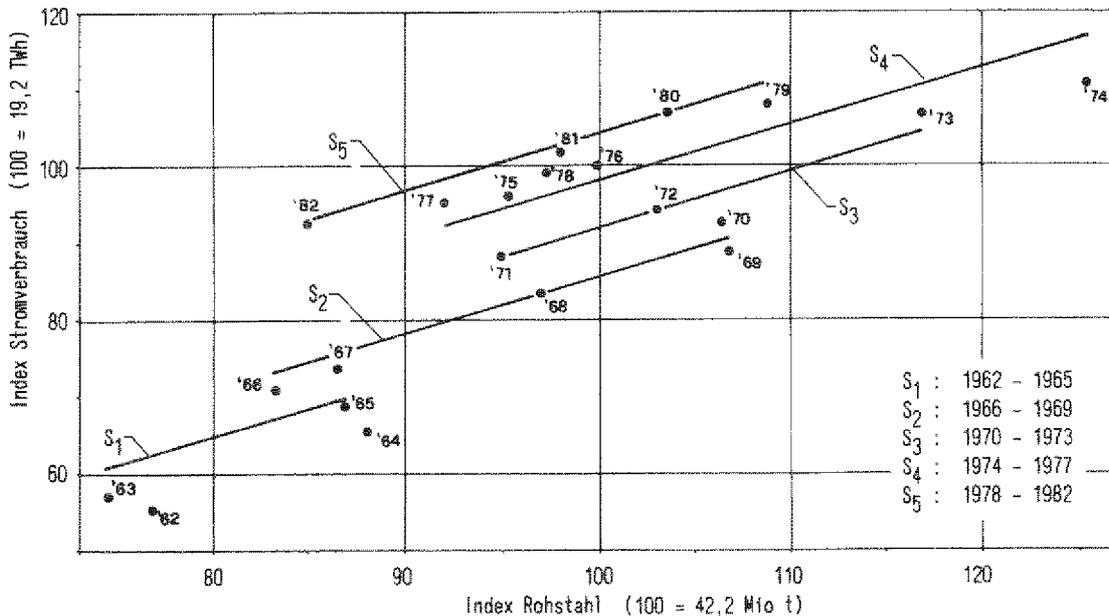


Bild 3.6: Entwicklung der 'Strombedarfscharakteristik' in der Eisenschaffenden Industrie [27] /1, 28/

Darüber hinaus läßt sich mit der 'Methode der schrittweisen Regression' (vgl. Anhang) zeigen, daß die zunehmende Elektrizitätsnutzung zur Rohstahlerzeugung im betrachteten Zeitraum nicht sprunghaft, sondern kontinuierlich stattgefunden hat (gleichmäßiger Anstieg des 'Grundstrombedarfs' in gleichen Zeiträumen).

3.3.4.2 Einsatz der elektrischen Energie bei den jeweiligen Verfahrenslinien

3.3.4.2.1 Gesamtüberblick

Einen Überblick auf den Stromverbrauch in den verschiedenen Erzeugungsstufen der Eisenschaffenden Industrie vermittelt Bild 3.7. Hauptstromverbraucher sind der Hochofenbereich, die Elektrostahlwerke und die Warmwalzwerke. Unter 'Sonstige Bereiche' sind u.a. die Hüttenkokereien, die Energiebetriebe sowie die Herstellung von Stahlrohren zusammengefaßt.

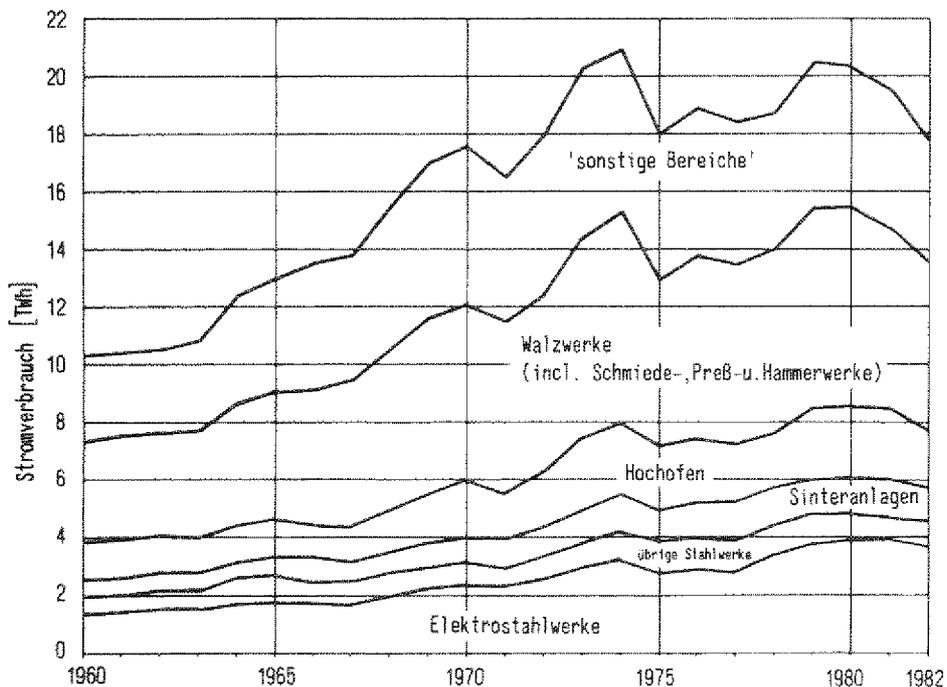


Bild 3.7: Entwicklung des Stromverbrauchs in der Eisenschaffenden Industrie [27] von 1960-1982 /28, 29/

Der Stromeinsatz für Prozeßwärmezwecke beschränkt sich in erster Linie auf die Elektrostahlerzeugung (1982 rund 3,7 TWh). Weitere eingesetzte elektrische Erwärmungsverfahren, wie z.B. die induktive Schmiedeblockerwärmung, haben bezogen auf den Gesamtsektor eher untergeordnete Bedeutung (vgl. /5/).

3.3.4.2.2 Verfahrenslinie der Reduktionsprozesse

In der Verfahrenslinie der Reduktionsprozesse wird Elektrizität praktisch ausschließlich zur Bereitstellung von Antriebskraft benötigt. Als Überschlagsgröße kann im Jahre 1982 für diese Verfahrenslinie bis zur Weiterverarbeitung des flüssigen Oxygenstahls (vgl. Bild 3.2) ein spezifischer Stromverbrauch von 141 kWh/t Oxygenstahl angegeben werden /29/. Dieser Wert beinhaltet den Elektrizitätseinsatz in den Sinter- und Hochofenanlagen sowie den Oxygenstahlwerken. Im einzelnen teilt sich die elektrische Energie folgendermaßen auf:

Bei den Sinteranlagen kommt Strom als Antriebsenergie der Förderbänder und Saugzugventilatoren zum Einsatz. Je nach Anlagengröße und Alter werden zwischen 30 und 35 kWh/t Sinter benötigt.

Im Bereich der Hochofenbetriebe wird elektrische Energie in erster Linie für die Elektromotoren der Winderzeugungsgebläse eingesetzt. Diese haben die dampfangetriebenen Gebläse mittlerweile abgelöst. Zusätzlicher Strombedarf besteht für die Gasreinigung, Kühlwasserumwälzung und sonstige Fördereinrichtungen, so daß im Hochofenbereich im Jahre 1982 insgesamt rund 80 kWh/t Roheisen benötigt wurden. Gegenüber den Verbrauchswerten zu Beginn der '60er Jahre (ca. 60 kWh/t Roheisen) ist hier ein leichter Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs zu verzeichnen.

Neuere Entwicklungsrichtungen können den spezifischen Stromverbrauch im Hochofenbereich wieder deutlich vermindern. Mit dem Einschalten einer Entspannungsturbine in das Gasreinigungssy-

stem bei Gegendrucköfen kann der überwiegende Teil des im komprimierten und heißen Gichtgas enthaltenen Arbeitsvermögens in nutzbare Energie umgewandelt werden. Die Entspannungsturbine kann mit einem Generator gekoppelt werden, der die rückgewonnene Energie in das elektrische Netz einspeist. Ebenso bietet es sich an, die Turbine unmittelbar zum Antrieb eines Windgebläses einzusetzen. Nach /27/ lassen sich etwa 30 % der für die Windverdichtung aufgewendeten elektrischen Energie rückgewinnen.

In den Oxygenstahlwerken beträgt der spezifische Stromverbrauch derzeit rund 30 kWh/t Rohstahl für die verschiedenen Antriebe und Begleiteinrichtungen des Konverterbetriebes.

Mit der starken Verlagerung auf die mit Sauerstoff erblasenen Rohstahlsorten ist ebenfalls ein Anstieg des Kraftstromverbrauchs zur O₂-Erzeugung verbunden. Die Oxygenstahlwerke verbrauchen rund 80 % des gesamten Sauerstoffbedarfs der Eisenschaffenden Industrie. Nach /30/ ist pro Tonne Oxygenstahl mit einem O₂-Verbrauch von rund 50 Nm³ zu rechnen, dies würde einem zusätzlichen Stromverbrauch von ca. 35 kWh/t Rohstahl entsprechen. Es wird aber nicht der gesamte Sauerstoffbedarf der Eisenschaffenden Industrie von derzeit rund $2 \cdot 10^9$ Nm³ durch Eigenerzeugung abgedeckt. Ca. 55 % werden durch Leitungsverbundsysteme fremdbezogen. Es erscheint hier sinnvoll, den Stromverbrauch zur Sauerstoffeigenerzeugung nur in der Gesamtheit zu berücksichtigen. Der entsprechende Kraftstromverbrauch (1982 ca. 0,6 TWh) ist in Bild 3.7 unter 'Sonstige Bereiche' enthalten.

3.3.4.2.3 Verfahrenslinie der Elektrostahlerzeugung

Das zweite in der Bundesrepublik Deutschland zur Rohstahlerzeugung eingesetzte Verfahren, die Elektrostahlerzeugung, hat in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen und den Stromverbrauch dieses Sektors ansteigen lassen. Im Gegensatz zur Reduktionslinie wird hier als Ausgangsstoff nicht Eisenerz sondern hauptsächlich Schrott eingesetzt. Der Strombedarf in den Elektrostahlwerken liegt um das Vierfache höher als beim

Oxygenstahlverfahren¹⁾, im Jahre 1982 wurden zur Bereitstellung einer Tonne flüssigen Elektrostahls rund 585 kWh benötigt.

Die Gründe für den stetigen Anstieg der Elektrostahlproduktion sind vielfältig. So konnte im laufenden Zeitraum die Wirtschaftlichkeit verbessert werden, wobei insbesondere die Entwicklung zum UHP-Lichtbogenofen von entscheidender Bedeutung gewesen ist. Mit zunehmender spezifischer Transformatorenleistung konnte die Schmelzzeit und somit aufgrund verringerter Wärmeverluste der spezifische Stromverbrauch gesenkt werden. Dies wurde noch unterstützt durch wassergekühlte Wand- und Deckenelemente, Zusatzbrenner und eine Verlagerung der metallurgischen Vorgänge in die Pfanne. Verbrauchssenkend wirkte sich ebenfalls die Inbetriebnahme größerer Erzeugungseinheiten aus, so daß zwischen den Jahren 1960 und 1970 der spezifische Stromverbrauch bei steigender Elektrostahlerzeugung von 630 auf 550 kWh/t Rohstahl abfiel (Bild 3.8).

Der darauffolgende Anstieg ist nach /31/ durch höhere Abstichtemperaturen, größere Anforderungen an den Reinheitsgrad des Stahls, verstärkten Einsatz von Eisenschwamm sowie steigenden Verbrauch für den Betrieb von Entstaubungsanlagen verursacht worden. Seit 1978 ist wieder ein abfallender Trend zu erkennen, derzeit müssen rund 585 kWh pro erzeugte Tonne Elektrostahl eingesetzt werden.

Neuere Entwicklungsrichtungen zielen auf die Schrottvorwärmung. So betreiben die Badischen Stahlwerke AG in Kehl seit Ende 1981 an ihren beiden Elektroöfen zwei Schrottvorwärmanlagen. Der Einsatzschrott wird durch die heißen Ofenabgase auf rund 350 °C erwärmt. Während in diesem speziellen Fall die erzielten Stromersparungen um 35 kWh/t Knüppel liegen, ist beim derzeit noch

1) Die Angabe bezieht sich ausschließlich auf einen Vergleich des Stromeinsatzes. Der spezifische Primärenergiebedarf der Lichtbogenofenschmelzung mit 100 % Schrotteinsatz liegt von allen Verfahrenswegen der Stahlherstellung am niedrigsten, da die Energie für die Reduktion von Eisenoxid zum Eisen nicht mehr aufgewendet zu werden braucht.

im Versuchsstadium befindlichen BBC-Brusa-Verfahren der Verbrauch an elektrischer Energie um ca. 200 kWh/t Elektro Stahl kleiner als beim konventionellen Schmelzen /32/. Kennzeichen dieses Verfahrens ist eine Kombination des Lichtbogenofens mit einem gasbeheizten Drehrohrofen, in dem das Schmelzgut auf ca. 1000 °C vorgewärmt wird.

Weitere Einflußfaktoren, die die Elektro Stahlerzeugung bisher begünstigten, finden sich in den gestiegenen Qualitätsanforderungen. Da der Lichtbogenofen das Raffinieren des Stahls unter günstigen Voraussetzungen gestattet, ist die Qualität des erschmolzenen Stahls sehr hoch. Insbesondere für die Herstellung von Sonderstählen höchster Ansprüche bieten sich mit dem Elektroschlackeumschmelzen (ESU) und dem Vakuumlichtbogenumschmelzen zwei weitere elektrische Verfahren an.

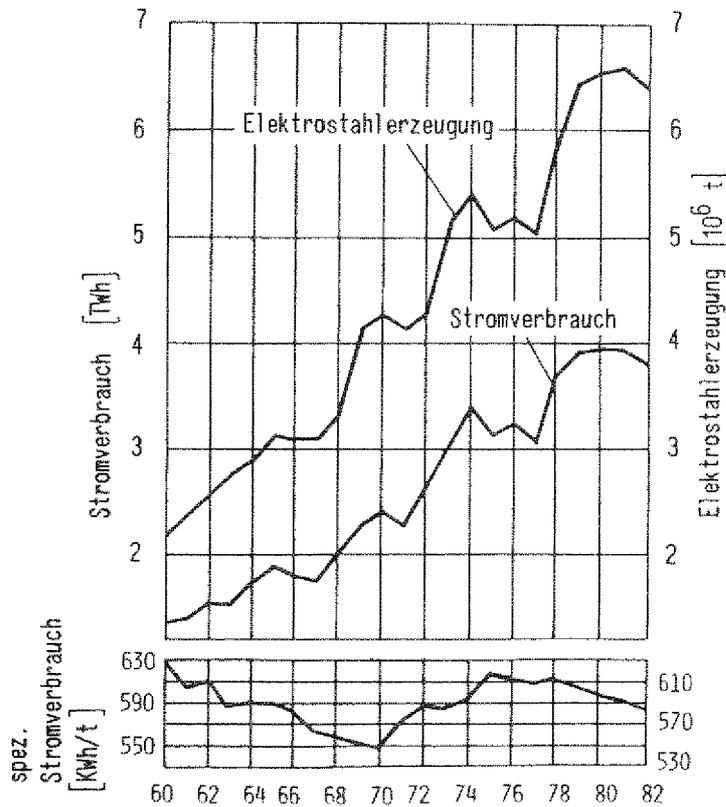


Bild 3.8: Entwicklung der Elektro Stahlerzeugung und des entsprechenden Stromverbrauchs von 1960-1982 /31/

Es bleibt anzumerken, daß die technische Entwicklung mit der Einführung des AOD-Verfahrens die Qualitätsstahlerzeugung auch im Konverter ermöglicht /33/.

Vorteile auf dem Umweltsektor und die Möglichkeit, UHP-Öfen als Schrottverwerter auch in kleinen Stahlwerken standortgünstig einzusetzen, begünstigten ebenfalls die Elektrostahlerzeugung. Hier erscheint der Hinweis wichtig, daß gerade für die Existenz solcher 'Minielektrostahlwerke' die Verwendung der Stranggießtechnik von entscheidender Bedeutung ist.

Die geringen Verarbeitungskosten des Stranggießverfahrens ermöglichen es, die hohen Ausgaben für elektrische Energie und Elektroden auszugleichen, und somit die Konkurrenzfähigkeit mit den großen Hüttenwerken herbeizuführen /34/.

Bemerkenswert ist außerdem, daß selbst bei starken Produktionseinbrüchen von über 10 Mio t Rohstahl die Elektrostahlerzeugung annähernd konstant geblieben ist. Dies begründet sich nach /35/ damit, daß in Zeiten der Rezession ein Anstieg des Schrottaufkommens zu verzeichnen ist, der Schrottpreis deutlich zurückgeht und dem Werk eine über dem Bedarf liegende Stromleistung zur Verfügung steht. Die Produkte der Elektrostahlwerke können dann auf Kosten integrierter Werke entsprechend günstiger angeboten werden, da der mögliche Schrotteinsatz im Konverter begrenzt ist. Diese Tendenz richtet sich gegen die Marktstabilisierungsbemühungen der integrierten Hüttenwerke, so daß ein zukünftiges Entwicklungsziel der höhere Schrotteinsatz im Konverterbetrieb ist. Damit ist auch eine weitere, letztlich sehr entscheidende Einflußgröße angesprochen.

Läßt man den SM-Ofen, der in der Vergangenheit große Mengen des Schrottaufkommens verarbeitet hat, außer Betracht, so setzt heutzutage eine ausgewogene Schrottbilanz ein bestimmtes Verhältnis zwischen Elektrostahl- und Blasstahlerzeugung voraus.

In Bild 3.9 ist die Aufteilung der Stahlerzeugung in Abhängigkeit vom Schrottaufkommen beispielhaft für das Jahr 1977 vorgenommen /31/.

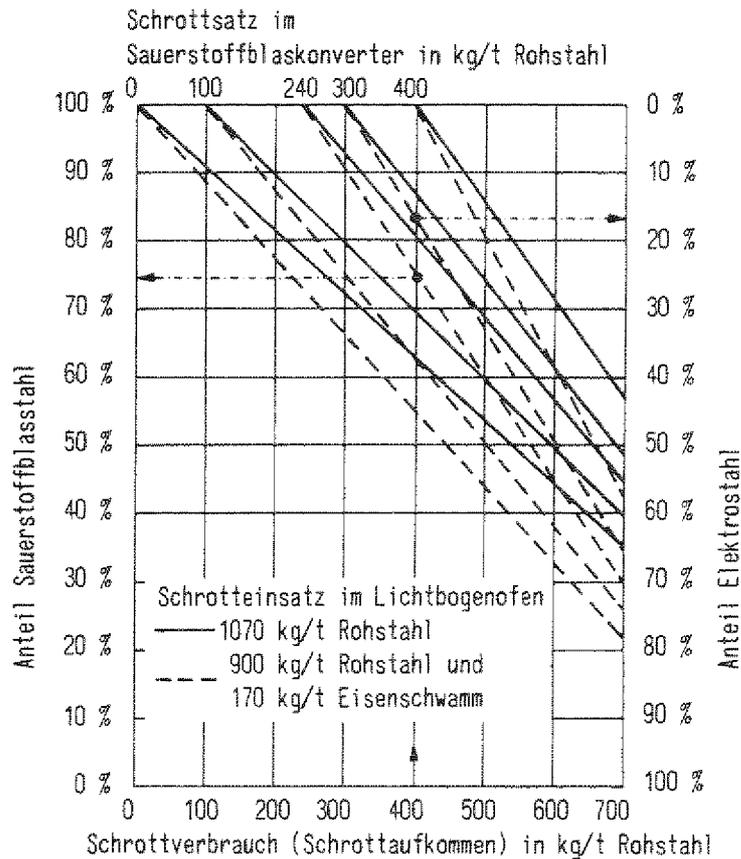


Bild 3.9: Aufteilung der Rohstahlerzeugung nach Verfahren in Abhängigkeit vom Schrottaufkommen und Schrottverbrauch im Jahre 1977 /31/

Man sieht, daß neben den bislang beschriebenen Einflußfaktoren (Schrott- und Strompreis sowie Marktforderungen hinsichtlich Stahlqualität) die Entwicklung des Elektrostahls auch vom Schrottsatz im Sauerstoffkonverter, dem eigentlichen Schrottaufkommen und dem Schrotteinsatz im Lichtbogenofen bestimmt wird.

Im Verlauf der letzten 10 Jahre wurden durchschnittlich 225 kg Schrott/t Rohstahl als Kühlmittel in den Sauerstoffkonvertern eingesetzt. Dabei wird der Altschrott möglichst auf 100 kg Schrott/t Rohstahl beschränkt, weil zur Beseitigung von Verunreinigungen die Rohstahlkosten steigen. Die derzeitigen Anstren-

gungen mit kombinierten Blasverfahren und Schrottvorwärmung den Konvertereinsatz auf ca. 300 kg Schrott/t Rohstahl zu erhöhen /36, 37/, würde entsprechend Bild 3.9 den notwendigen Elektrostahlanteil verringern.

Die zukünftige Entwicklung des Schrottaufkommens wird von /38/ untersucht. Demnach kommen bei einer mittleren Schrottdurchlaufzeit für Stahlerzeugnisse von rund 20 Jahren in den nächsten Jahren stetig steigende Schrottmengen aus einer Zeit zurück, in der die bundesdeutsche Rohstahlerzeugung hohe Zuwachsraten hatte. Gleichzeitig ist mit der derzeitigen niedrigen Rohstahlerzeugung ein geringerer Schrottbedarf verbunden, der das Schrottaufkommen je Tonne Rohstahl bei niedrigen Preisen weiter anwachsen läßt. Besteht die Zielsetzung, daß der Gesamtschrottanfall als billiger Rohstoff im eigenen Lande bleiben soll, so deutet alles darauf hin, daß sich der Anteil an Elektrostahl weiter steigern wird.

Ein erhöhter Eisenschwammeinsatz würde ebenfalls die zukünftige Elektrostahlproduktion begünstigen.

3.3.4.2.4 Verfahrenslinie der Direktreduktion

Eine Darstellung über die Auswirkung von Änderungen des vorgelagerten Verfahrensweges wäre unvollständig, ohne einen Ausblick auf die Produktionslinie Direktreduktion - Elektrolichtbogenofen zu geben.

Die weltweit eingeführten und technisch bewährten Direktreduktionsverfahren erzeugen mit Hilfe von Reduktionsgasen verschiedenster Zusammensetzung einen festen metallischen Eisenschwamm, der anschließend in einem Umschmelzverfahren in Stahl umgewandelt wird. Sie arbeiten ohne Koks, setzen aber die Verfügbarkeit an kostengünstigem Gas voraus. Aus diesem Grund wird sich diese Verfahrenslinie auch weiterhin auf die mit Erdgas- oder Erdölvorkommen begünstigten Länder konzentrieren. Für ein Land mit eigenen Kohlevorkommen wie die Bundesrepublik Deutschland sind die Rahmenbedingungen anders vorgegeben. Inwieweit die separate Kohlevergasung - auch unter Einbeziehung von Kernwärme

aus einem Hochtemperaturreaktor - günstigere Voraussetzungen schaffen kann, bleibt abzuwarten. In Kap. 4 werden mögliche Entwicklungsrichtungen aufgezeigt.

3.3.4.2.5 Ausbringung und Weiterverarbeitung

Wie eingangs in Bild 3.2 dargestellt, wird der flüssige Rohstahl im Blockguß oder im Strangguß ausgebracht und dann je nach Verwendungszweck zu Walzstahl oder zu Schmiede- und Preßteilen weiterverarbeitet. Es erscheint hier nicht sinnvoll, einen spezifischen Stromverbrauch auf diesem Aggregationsniveau anzugeben, größter Einzelverbraucher dürfte mit Sicherheit der Walzwerkbereich sein.

Die Stranggußtechnologie wurde im Laufe des letzten Jahrzehnts aufgrund des besseren Ausbringens und der Einsparung an Nacherwärmung in Tiefofen sowie an elektrischer Umformarbeit im Block- und Brammenwalzwerk schnell eingeführt. Im Jahre 1982 wurden rund 62 % des Rohstahls auf diese Weise ausgebracht. Strom dient hier überwiegend zur Deckung des Kraftbedarfs.

Zukünftig kann sich für die elektrische Energie ein weiteres Einsatzgebiet in der Qualitätssteigerung ergeben. So wurde in den letzten Jahren versucht, Oberflächen- und Innenqualität von stranggegossenem Stahl durch elektromagnetisches Rühren in der Kokille und der Sekundärkühlzone zu verbessern. Es läßt sich derzeit nicht genau beurteilen, ob diese Entwicklung weiter fortschreiten wird /39/.

In der zweiten Ausbringungsmöglichkeit, dem Blockguß und dem weiteren Verformungsbereich von Block- und Stranggußbrammen, deckt Elektrizität in erster Linie den Strombedarf verschiedener Antriebsmaschinen. Elektrowärme zur Aufheizung auf Walztemperatur hat aufgrund energetischer Gesichtspunkte nur untergeordnete Bedeutung. Gasbeheizte Öfen sind die dominierenden Erwärmungseinrichtungen.

Im Walzwerk ließen die höheren Anforderungen an den Walzstahl und insbesondere die zunehmende Verarbeitungstiefe den Stromverbrauch auf rund 180 kWh/t Walzstahlfertigerzeugnis (Durch-

schnittswert) ansteigen. Es zeichnen sich aber auch hier deutlich Sättigungstendenzen ab. Während frühere Walzgerüste das Walzgut in Hin- und Herbewegung auf das Endmaß brachten, dies erfordert hohe Antriebsenergie zur Beschleunigung bzw. zum Abbremsen bei der Bewegungsumkehr, wurde eine Verbesserung in kontinuierlichen Walzenstraßen erreicht.

Zukünftige Einsparungsmöglichkeiten liegen in der Weiterentwicklung des Stranggußverfahrens. Neben dem Heißverbund zwischen Stranggußanlagen und Walzwerken wird angestrebt, möglichst kleine Querschnitte zu gießen, um beim anschließenden Warmwalzen mit einem Minimum an Verformungsenergie auszukommen. Des Weiteren kann durch programmierten Einsatz der Walzwerkmotoren die Leerlaufarbeit der Antriebe und damit der spezifische Stromverbrauch gesenkt werden /32/.

In der letzten Verarbeitungsstufe, den Schmiede-, Preß- und Hammerwerken, findet sich neben der Bereitstellung von Antriebsenergie ein größeres Einsatzgebiet für Elektrowärmeverfahren.

Zu nennen sind hier in erster Linie die induktiven Schmiedeblockerwärmungsanlagen - mit denen heute über 50 % des Gesenkschmiedematerials erwärmt wird /40/ - und die induktiven Erwärmungseinrichtungen für das Strangpressen. Beide Verfahren lassen sich gut in den Prozeßablauf integrieren und erfüllen die Forderung nach exakter Temperaturführung. Nach /41/ begünstigen insbesondere kleinere Werkstücke und größere Serien hier den Einsatz von Elektrowärmeverfahren.

3.3.4.2.6 Elektrizitätseinsatz zur Reduzierung der Umweltbelastung

Aus ökologischen Gründen kann sich in den technischen Maßnahmen zur Luftreinhaltung ein verstärkter Stromeinsatz bei den verschiedenen Verfahrenslinien ergeben /42/. Die Entwicklung der Luftreinhaltetechnik mittels elektrostatischer Staubabscheider

ist durch drei Stufen gekennzeichnet. Bild 3.10 zeigt hierzu einen exponentiell steigenden Verbrauch an elektrischer Energie bei wachsenden Emissionsanforderungen. Die angedeutete Entwicklung ist vor allem durch die weitergehenden sekundären Maßnahmen zur Luftreinhaltung bestimmt.

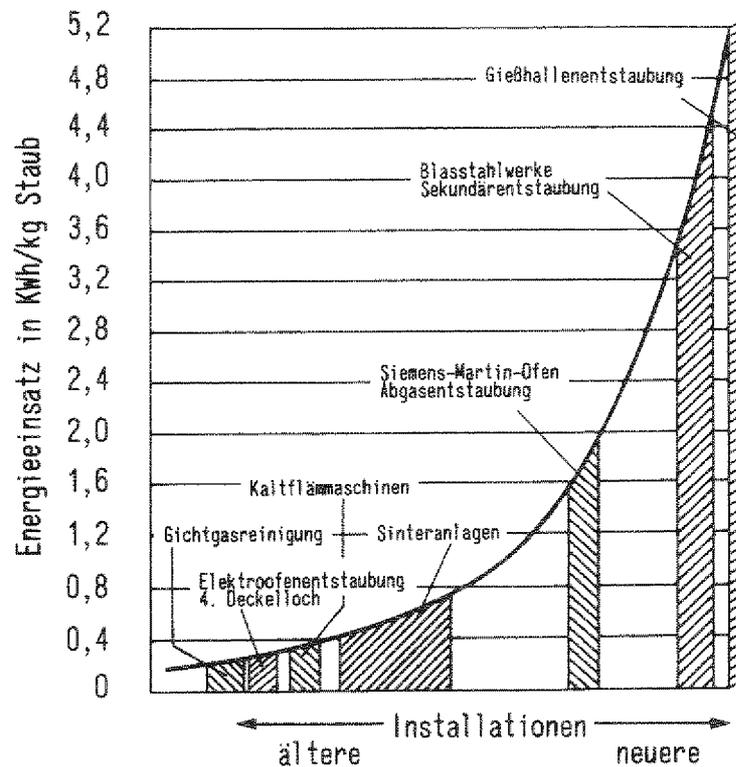


Bild 3.10: Spezifischer Energieeinsatz zur Entstaubung von Anlagen der Roheisen- und Stahlerzeugung /42/

Nach /42/ ergibt eine Hochrechnung über die Stahlindustrie für die Entstaubung der wichtigsten Sekundärquellen bereits einen jährlichen Strommehrverbrauch von über 1 TWh.

3.3.5 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung

Aus Bild 3.11 ist zu entnehmen, daß der Schwerpunkt der Eigenstromerzeugung in der Eisenschaffenden Industrie bei der Kondensationsstromerzeugung liegt. Die Kraft-Wärme-Kopplung in Gegen-

druck- bzw. Entnahmekondenstionsanlagen hat untergeordnete Bedeutung. Dies erklärt sich aus dem hohen Prozeßtemperaturniveau, welches durch direkten Einsatz von Brennstoffen bzw. Strom gedeckt wird. Der Dampfverbrauch in den einzelnen Produktionsstätten ist relativ gering, gleichzeitig bietet sich die Nutzung erheblicher Abwärmemengen zur Dampferzeugung an.

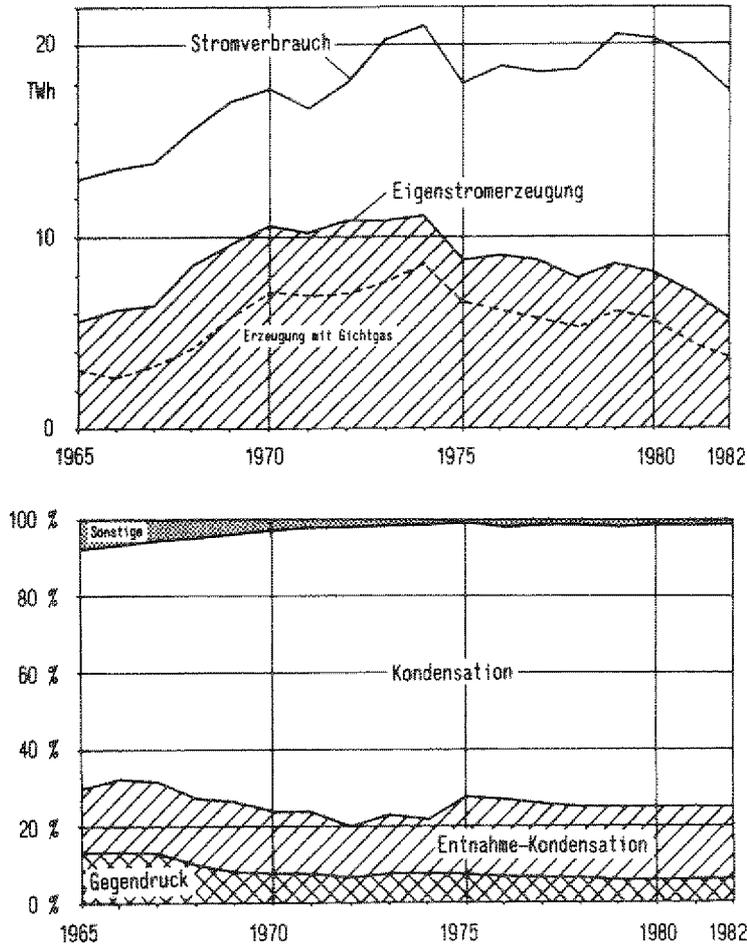


Bild 3.11: Entwicklung der Eigenstromerzeugung und Detaillierung nach Antriebsmaschinen in der Eisenschaffenden Industrie von 1965-1982 /22, 15/

Die Eigenstromerzeugung ist eng mit dem Einsatz der gasförmigen Koppelprodukte verbunden. Nach /43/ kann hiermit eine Verknüpfung von Eigenstromerzeugung und Elektrostahlproduktion vorliegen. Dabei wird so argumentiert, daß die Elektroöfen Verbraucher mit großem Leistungsbedarf sind, die über Stufenschaltung dem Leistungsangebot angepaßt werden können. Dies ermöglicht aufgrund entsprechender Vertragsbedingungen seitens der EVU's

günstige Schmelzstromtarife, so daß die energiewirtschaftlich optimale Elektrostahlerzeugung vom Strombezug des gesamten Hüttenwerkes abhängt. Wird ohne Eigenstromerzeugung entsprechend mehr Fremdstrom bezogen, verändert sich das Optimum des Schmelzstrombezugs zu größeren Mengen, d.h. zu einer höheren Elektrostahlerzeugung.

Bei dieser Betrachtungsweise würde sich die Eigenstromerzeugung (z.B. mit Hochofengas) hemmend auf die Elektrostahlproduktion und somit den Stromeinsatz in den Hüttenwerken auswirken. Insbesondere deshalb, da die Eigenstromerzeugung in der Eisenschaffenden Industrie überwiegend in Kondensationskraftwerken betrieben wird, wobei gegenüber den öffentlichen Versorgungsunternehmen die Vorteile von Großkraftwerken in der Regel nicht genutzt werden können.

Die Entwicklung zeigt aber, daß das Hochofengas im Verlauf der letzten Jahre zunehmend anderen Verwendungszwecken (Einsatz in den Hüttenkokereien, dem Hochofenbereich selbst und in den Walzwerken) zugeführt wurde, was u.a. zu einer Reduzierung der Eigenstromerzeugung und zu einer Zunahme des Fremdstrombezugs geführt hat. Diese Entwicklung könnte sich begünstigend auf die Elektrostahlproduktion ausgewirkt haben.

3.3.6 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Der Elektrizitätsbedarf der Eisenschaffenden Industrie ist durch einen Anstieg der spezifischen Stromverbrauchswerte um über 60 % (bezogen auf 1960) gekennzeichnet. 1982 wurden rund 17,7 TWh in dieser Branche eingesetzt.

Die Entwicklung erklärt sich in erster Linie mit einer Erhöhung der Elektrostahlerzeugung und einem Mehrverbrauch an Antriebsenergie in den Walzwerken. Dies wird den Forderungen der Abnehmer nach erhöhter Stahlqualität und Verarbeitungstiefe gerecht. Während der Stromeinsatz in der Verfahrenslinie der Koksmetallurgie praktisch ausschließlich den Kraftbedarf deckt, kommt in

der Elektrostahlerzeugung mit den Lichtbogenöfen ein klassisches Elektrowärmeverfahren zum Einsatz, dessen Entwicklung größtenteils von den Randbedingungen des Schrotteinsatzes geprägt wird. Die Eigenstromerzeugung der Eisen- und Stahlindustrie - überwiegend in reinen Kondensationsmaschinen - ist rückläufig, dies begründet sich im wesentlichen mit einem geringeren zur Eigenstromerzeugung zur Verfügung stehenden Gichtgasanteil.

Die weitere Entwicklung läßt zukünftig bei beiden vorherrschenden Verfahrenslinien (Oxygenstahl bzw. Elektrostahl) einen verhältnismäßig gleichbleibenden spezifischen Stromverbrauch erwarten. Einsparungen im Hochofenbereich, den Elektrostahlwerken und den Warmwalzwerken steht z.B. ein Mehrverbrauch zur Reduzierung der Umweltbelastung gegenüber.

Dementsprechend wird die Entwicklungstendenz der absoluten Verbrauchswerte in erster Linie von der Rohstahlproduktion und den sich einstellenden Verfahrensanteilen bestimmt. Wenn der Trend der bisherigen Entwicklung weiter anhält, und die Qualitätstahlerzeugung bei den Elektrostahlwerken bleibt, ist ein leichter Stromverbrauchsanstieg bei gleichbleibender Rohstahlproduktion denkbar.

3.4 NICHTEISENMETALLINDUSTRIE

3.4.1 Überblick

Die statistischen Daten weisen 1982 für den NE-Metallsektor einen Endenergieverbrauch von 3,5 Mio t SKE aus. Dies entsprach einem Anteil von rund 4,6 % am gesamten Industrieverbrauch. Mit 16,5 TWh zählte dieser Sektor zu den ausgesprochenen Stromgroßverbrauchern. Der Anteil am industriellen Gesamtstromverbrauch betrug 11,6 %.

Die in der NE-Metallindustrie zusammengefaßten Wirtschaftszweige sind in der nachfolgenden Übersicht mit ihren jeweiligen Anteilen am Endenergieverbrauch im Jahre 1982 dargestellt.

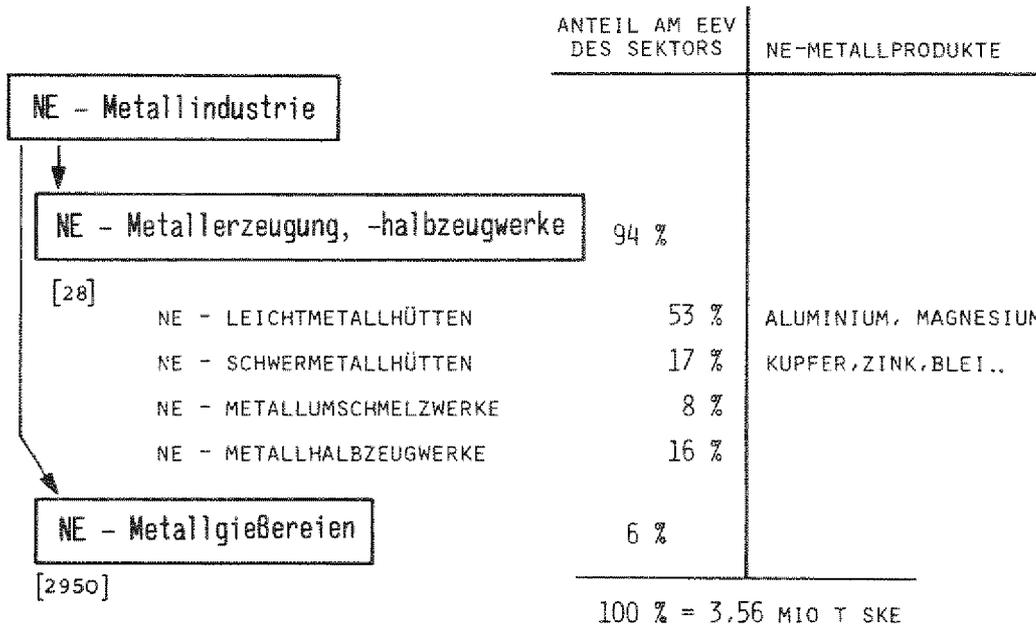


Bild 3.12: Struktur des Sektors NE-Metallindustrie

Mit einem Anteil von 70 % am gesamten Endenergieverbrauch dieses Sektors bildete die Hüttenindustrie im Jahre 1982 den energetischen Schwerpunkt. Den Hauptanteil beanspruchten hier die Herstellungsverfahren für die NE-Metalle Aluminium in den Leichtmetallhütten sowie für Kupfer und Zink in den Schwermetallhütten. Die anderen Wirtschaftszweige stellen weiterverarbeitende Branchen der in den Metallhütten gewonnenen Produkte dar.

3.4.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion

Der fossile Endenergieverbrauch ist im NE-Metallsektor durch eine relative Konstanz über die letzten 30 Jahre gekennzeichnet. Ähnlich wie in anderen Wirtschaftszweigen haben auch hier Strukturverschiebungen stattgefunden (Bild 3.13).

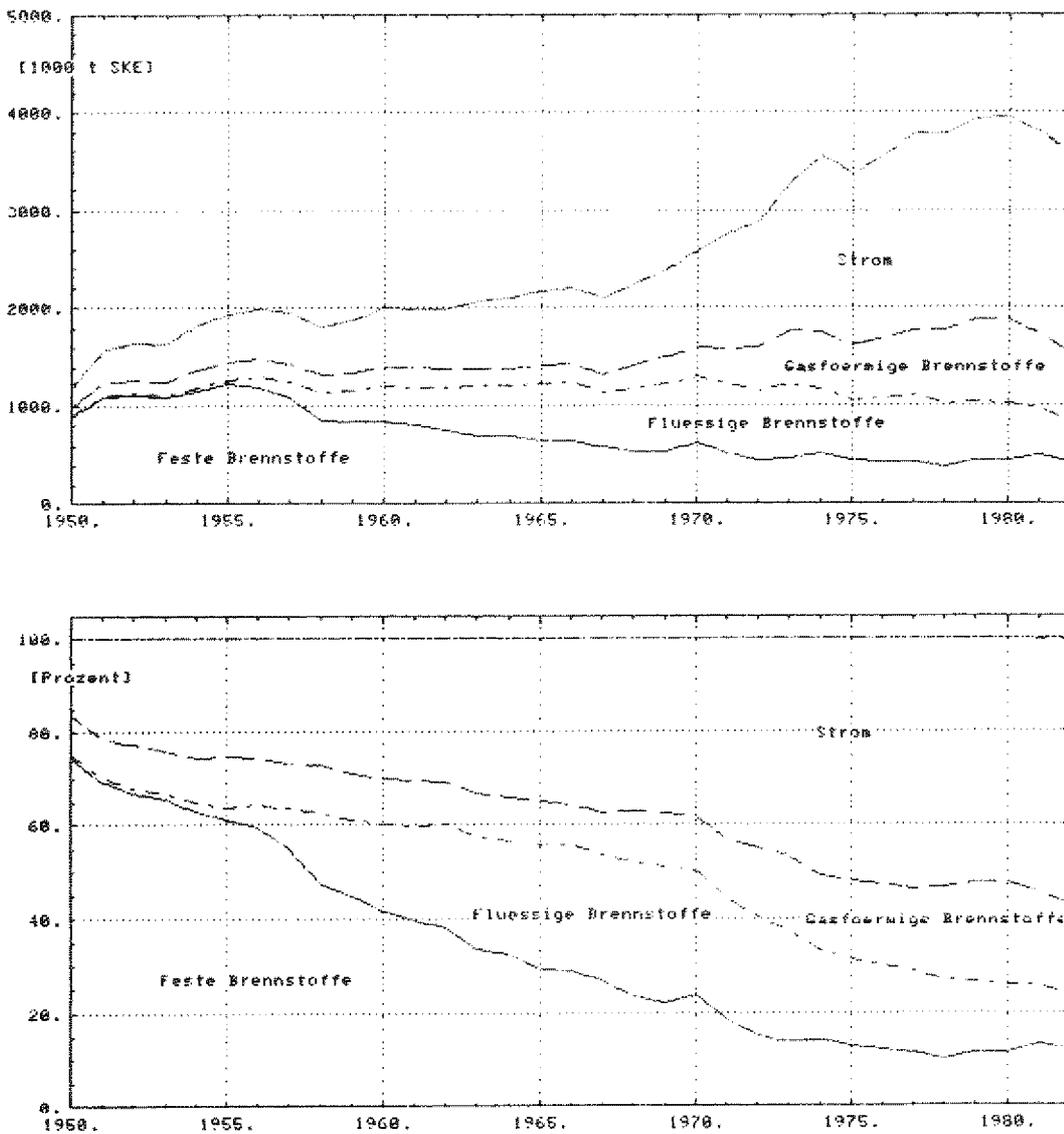


Bild 3.13: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der
Energieträgerstruktur in der NE-Metallindustrie
[28] und [2950] von 1950-1982 /1/

Der Anstieg des gesamten Endenergieverbrauchs ab 1967 ist fast ausschließlich auf die Zunahme des Stromverbrauchs zurückzuführen, der seine Ursache vornehmlich in der stromintensiven Hüttenaluminiumindustrie hat. Im Jahre 1982 trug die Elektrizität zu über 56 % zur Endenergiebedarfsdeckung dieses Sektors bei.

Die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs (Bild 3.14) läßt drei charakteristische Perioden erkennen:

Von 1960 bis 1969 folgt der Kurvenverlauf dem allgemein in der Industrie vorherrschenden Trend: deutliche Abnahme des spezifischen Brennstoffverbrauchs bei leicht steigendem Stromeinsatz.

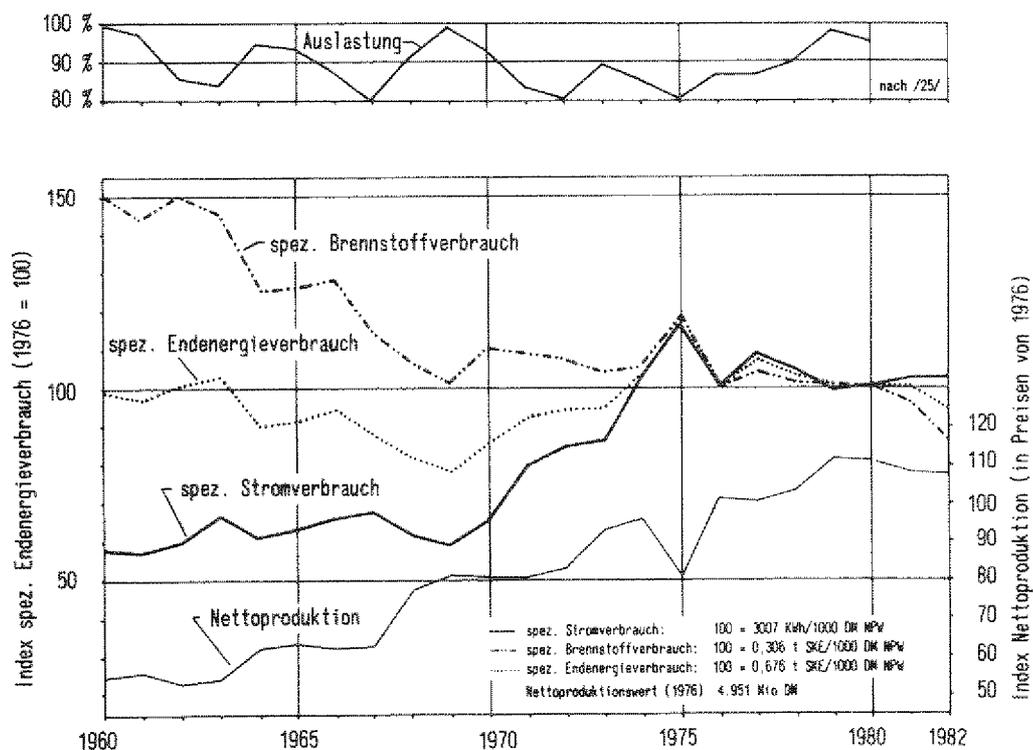


Bild 3.14: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in der NE-Metallindustrie [28] ohne [2950] von 1960-1982 /1, 2/ und eigene Berechnungen

Während der spezifische Brennstoffverbrauch in den folgenden Jahren bis 1976 in etwa konstant bleibt und in erster Linie von Kapazitätsauslastungen beeinflusst wird, steigt der spezifische

Stromverbrauch stark an. Dies erklärt sich mit einer erheblichen Erweiterung der Aluminiumhüttenkapazität zu Beginn der '70er Jahre, so daß sich der Leichtmetallanteil innerhalb der Primärproduktion der NE-Metalle wesentlich erhöhte.

In den letzten sechs Jahren bleiben die spezifischen Verbrauchswerte etwa konstant. Gleichzeitig ist in Bild 3.14 die Entwicklung der Nettoproduktion dargestellt. Auch hier spiegelt sich der Einfluß der Aluminiumindustrie deutlich wieder.

3.4.3 Detailierung des Stromeinsatzes

3.4.3.1 Aspekte zum spezifischen Stromverbrauch

Die dargestellten Zusammenhänge werden mit Bild 3.15 nochmals verdeutlicht. Der Investitionsschub von 1968 bis 1973 zur Erweiterung der Hüttenaluminiumkapazitäten ließ den 'Grundstrombedarf' mit etwas verzögerter Wirkung stark ansteigen, so daß der Sprung zwischen 1970 und 1974 in erster Linie auf die Ausweitung der stromintensiven Aluminiumelektrolyse und nicht auf eine Substitution herkömmlicher Verfahren zurückzuführen ist.

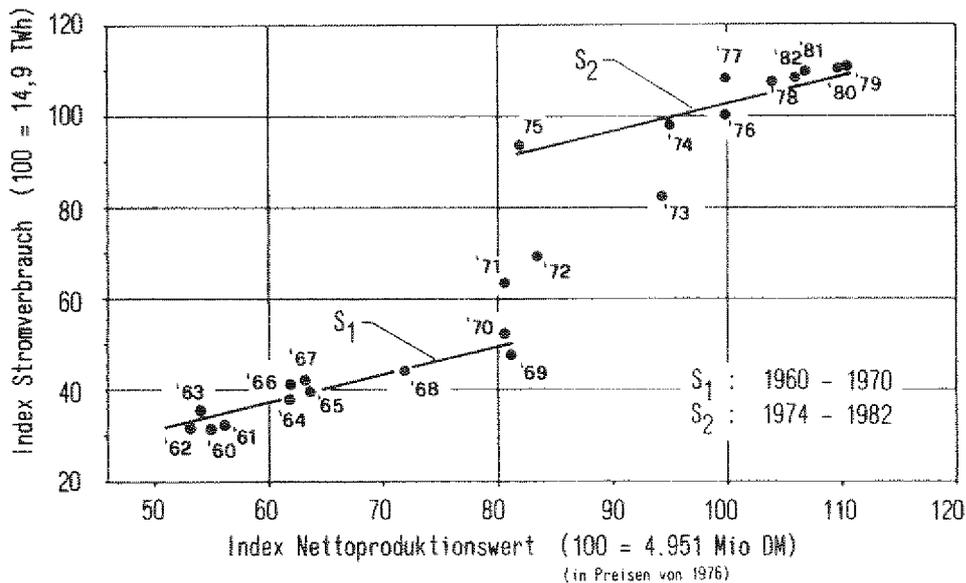


Bild 3.15: Entwicklung der 'Strombedarfscharakteristik' in der NE-Metallindustrie [28] ohne [2950] /1, 2/ und eigene Berechnungen

3.4.3.2 Produktionsstruktur

Der NE-Metallsektor wird aus energetischer Sicht durch die Herstellung von Aluminium, Kupfer und Zink geprägt. Stellvertretend für die verschiedenen NE-Metalle stellt Bild 3.16 den recht verschachtelten Materialfluß in der Aluminiumindustrie vor. Abweichungen gegenüber den anderen Metallen finden sich bei den Verhüttungsprozessen, die Folgeschritte sind analog aufgebaut.

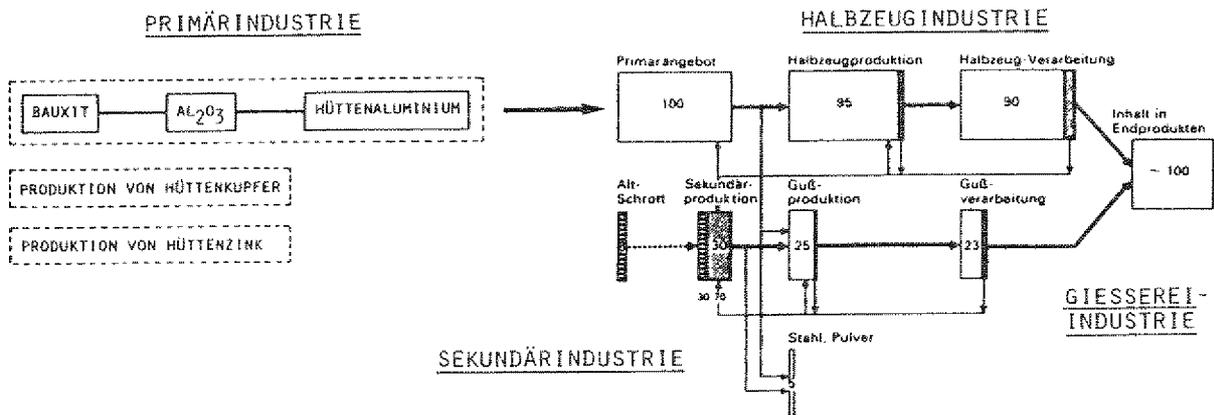


Bild 3.16: Materialfluß in der Aluminiumindustrie,
in Anlehnungen /44/

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Gewinnung der NE-Metalle: einerseits die Verhüttung von Rohstoffen, andererseits das Umschmelzen in der sogenannten Sekundärindustrie. Letzteres umfaßt den Teil an Altschrott und Fabrikationsabfällen, der in den NE-Metallumschmelzwerken verarbeitet wird und ist vom 'direkten Recycling' der Fabrikationsabfälle deutlich abzugrenzen.

3.4.3.3 Elektrizitätseinsatz in den verschiedenen Wirtschaftszweigen

3.4.3.3.1 Gesamtüberblick

In Bild 3.17 ist sowohl die Entwicklung des Gesamtstromverbrauchs als auch eine Unterteilung nach Wirtschaftszweigen für das Jahr 1982 aufgezeigt. Eine weitergehende Unterscheidung nach NE-Metallen innerhalb dieser Wirtschaftszweige ist nur über Rückrechnung mit spezifischen Verbrauchswerten möglich.

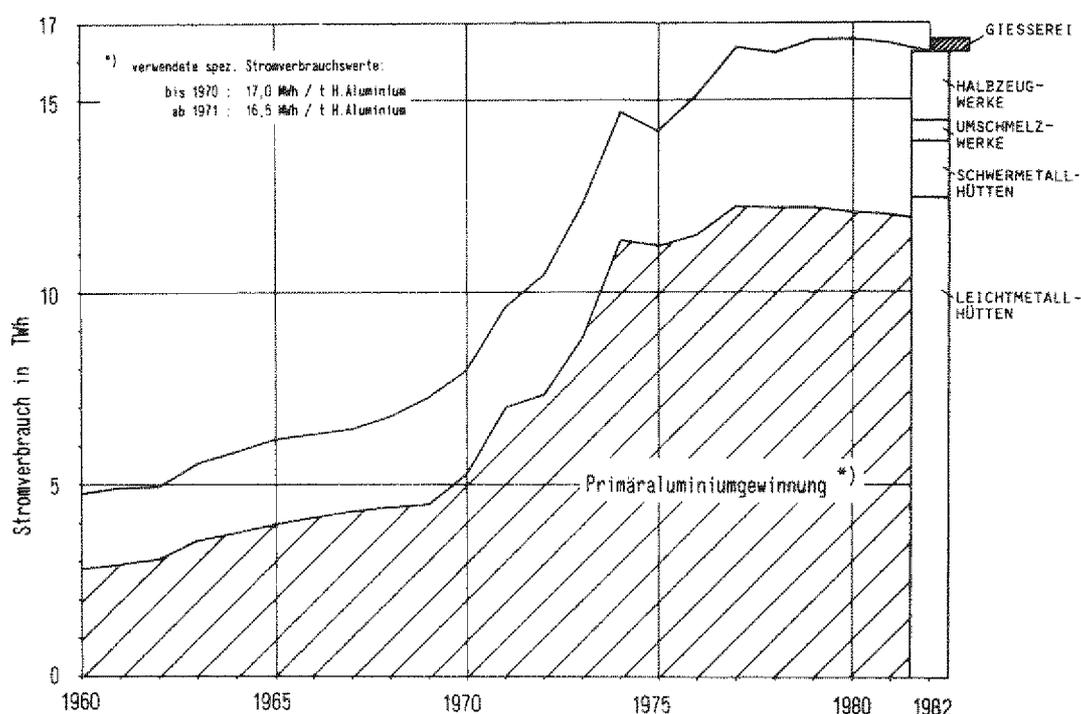


Bild 3.17: Detaillierung des Stromeinsatzes in der NE-Metallindustrie [28] ohne [2950] /22/ und eigene Berechnungen

Bild 3.17 verdeutlicht die überragende Rolle der NE-Leichtmetallhütten. Allein die Produktion von Primäraluminium ohne Weiterverarbeitung beansprucht mehr als 70 % des Stromverbrauchs in dieser Branche. Die Verbrauchswerte zur Herstellung der NE-Schwermetalle und die gesamte Weiterverarbeitung in den Halbzeugwerken haben untergeordnete Bedeutung.

3.4.3.3.2 NE-Metallprimärindustrie

3.4.3.3.2.1 Aluminiumherstellung in den NE-Leichtmetallhütten

Bei der Herstellung des Hüttenaluminiums sind im wesentlichen zwei Verfahrensschritte zu unterscheiden:

- Erzeugung von Aluminiumoxid (Tonerde) aus Bauxit nach dem Bayer-Verfahren

- Reduktion von Aluminiumoxid zu Aluminium nach dem Hall-Heroult-Elektrolyseverfahren.

Ausgangsstoff für die Erzeugung von Aluminiumoxid (Al_2O_3) ist Bauxit, aus dem in der 1. Verfahrensstufe ein möglichst reines Aluminiumoxid gewonnen wird. Dies geschieht überwiegend nach dem Bayer-Verfahren mit wäßriger Natronlauge unter Druck und Nutzung der Wärme von Hochdruckdampf. Aus ca. 4 t Bauxit gewinnt man rund 2 t Tonerde.

In diesem 1. Verfahrensschritt überwiegen die Brennstoffe zur Deckung des Prozeßwärmebedarfs. Elektrische Energie dient hier lediglich zur Bereitstellung von Antriebsenergie für Brecher, Mühlen, Drehrohröfen und den Transport. Spezifische Verbrauchswerte werden in der Literatur mit 250 bis 400 kWh/t Al_2O_3 angegeben /47, 48, 49/.

Nach der Statistik wird der Stromverbrauch dieses Verfahrensabschnittes der chemischen Industrie zugerechnet (vgl. Kap. 3.5). Die vorliegenden Verbrauchswerte stehen aber in keinem nennenswerten Verhältnis zu dem spezifischen Stromverbrauch der 2. Verfahrensstufe.

Die eigentliche Gewinnung von Aluminium aus Aluminiumoxid geschieht nach dem Hall-Heroult-Elektrolyseverfahren. Aus etwa 2 t Tonerde wird rund 1 t Hüttenaluminium gewonnen.

Zwei technische Leistungskriterien zur Bewertung des Aluminium-Elektrolyseprozesses sind:

- Stromausbeute 3,24 - 3,6 MAh/t Aluminium
- spez. Stromverbrauch 12 - 19 MWh/t Aluminium

Eine erhöhte Produktion je aufgewendete Ampèrestunde erlaubt eine zusätzliche Aluminiumproduktion ohne weitere Kosten außer denjenigen für das Al_2O_3 , so daß eine Verbesserung der Stromausbeute gleichzeitig eine Verbesserung der spezifischen Verbrauchszahlen beinhaltet.

Nach /50/ ist die große Streubreite der Betriebszahlen von bestehenden Aluminiumhütten zum Teil durch Unterschiede in der Konstruktion der Elektrolyseöfen und Hilfseinrichtungen bedingt, zum Teil aber auch in der Betriebsführung. Hiermit erklären sich die in der Literatur stark schwankenden Angaben.

Die spezifischen Verbrauchswerte konnten in der Vergangenheit reduziert werden, mittlerweile sind sie verfahrenstechnisch bedingt aber weitgehend fixiert. Die Mehrzahl der älteren bundesdeutschen Anlagen sind in letzter Zeit auf den neuesten technischen Stand gebracht worden, so daß Einsparungen ohne grundlegende Änderung des Produktionsprozesses nach /10/ nur noch in verhältnismäßig engen Grenzen möglich sind.

Die Gründe für den Stromeinsatz in der Vergangenheit lagen darin, daß einerseits bisher kein Substitutionsverfahren zur großtechnischen Betriebsreife entwickelt worden ist und andererseits den Aluminiumhütten günstige Sonderkonditionen beim Strombezug gewährt wurden.

Die Abhängigkeit der Aluminiumhütten von der Elektrizitätswirtschaft zeigt sich auch an der Produktionsentwicklung. Im Gegensatz zu anderen großen Grundstoffindustrien haben die Aluminiumhütten in der Ende der '70er Jahre einsetzenden Rezession zunächst nicht den Weg der Produktionskürzung beschritten. Das nichtabsetzbare Metall wurde eingelagert.

Nach /51/ kann dieses Verhalten unter anderem durch die bestehenden Stromlieferverträge erklärt werden, die bei Abschaltung hohe Beträge für die Vorhaltung der Leistung verlangen. Dies dokumentiert den großen Einfluß der Strompreisstruktur auf die Hüttenaluminiumproduktion.

Die zukünftige Entwicklung der Aluminiumindustrie und damit auch des Stromeinsatzes dieses Sektors wird stark von diesen beiden Einflußgrößen bestimmt.

Von der Energieseite her wird die Zukunft eher skeptisch beurteilt /52/. Der Ablauf der Festpreisperioden für die Ende der '60er Jahre gebauten Hütten in Verbindung mit den geplanten Strompreiserhöhungen für industrielle Abnehmer wird für die NE-Metallindustrie zur starken Belastung werden. Eine Weitergabe der Energiekosten ist nicht möglich, da die Metallpreise der Branche weitgehend vom Weltmarkt unbeeinflußbar vorgegeben sind /10/.

Zukünftig werden auch Substitutionsverfahren stärker zu berücksichtigen sein. So soll der Alcoa-Smelting-Prozeß, der auf Basis von Aluminiumchlorid statt wie bisher mit Aluminiumoxid arbeitet, einen um 30 % niedrigeren Stromverbrauch haben /53/. Die amerikanische Mitsui Alumina hat ein Schmelz- und Raffinationsverfahren entwickelt, bei dem kaum elektrische Energie verbraucht wird. Koks-kohle wird zur Trennung des Sauerstoffs vom metallischen Anteil im Bauxit verwendet, anschließend findet ein Raffinationsprozeß statt /54/. Ein weiteres Konkurrenzverfahren ist die carboelektrische Reduktion im elektrischen Reduktionsofen (PUK-Pechiney).

3.4.3.3.2 Kupfer- und Zinkherstellung in den NE-Schwermetallhütten

In Tab. 3.1 sind die Verfahrensschritte zur Kupferherstellung dargestellt. Neben der Aufbereitung der Erze sind die Schmelz- und Raffinationsprozesse für den Stromverbrauch von Bedeutung. Beim Schmelzen steht der wirtschaftlich günstige Flammofen in

Konkurrenz zum Elektroofen. Nach /48/ wird der Flammprozeß aufgrund seiner stark schwefelhaltigen Abgase aber an Bedeutung verlieren.

Der Kupferstein wird im Konverter zu Rohkupfer verblasen. Der so gewonnene Rohkupfer kann nun entweder durch Feuerraffination oder durch Raffinationselektrolyse weiter gereinigt werden. Der Trend geht zum Elektrolytkupfer, wobei sowohl Umwelt- als auch Qualitätsgesichtspunkte eine Rolle spielen. Für die Wirtschaftlichkeit des Elektrolyseverfahrens spricht auch die Möglichkeit, den 'Anodenschlamm' wiederaufzuarbeiten, und so wertvolle Metalle wie Silber, Gold oder Platin zu gewinnen.

		Anhaltswerte zum Stromverbrauch (KWh/t Cu)		Produktion (1982) (t Kupfer)
		Kraft	Wärme	
Hüttenproduktion	Aufbereiten der Erze	600		150.000
	Rösten des Konzentrats	75		
	Schmelzen zu Kupferstein - Flammofen - Elektroofen	200	400	
	Verblasen im Konverter zu Rohkupfer			
Produktion raff. Kupfer	Raffination des Rohkupfers - Schmelzfluß - Elektrolytisch		250	80.408 313.664

Tab. 3.1: Verfahrensschritte zur Kupferherstellung,
in Anlehnung an /48, 55, 56/

Nach überschlägigen Berechnungen lag der Stromverbrauch für die Kupferherstellung im Jahre 1982 zwischen 0,2 und 0,3 TWh.

Substitutionsverfahren zielen darauf hin, den klassischen Weg über ein Anoden-Rohkupfer einzusparen und das Kupfer aus Laugen unmittelbar elektrolytisch abzuscheiden. Durch Verwendung von

unlöslichen Titananoden anstelle der löslichen Anoden bei der Kupferraffination würde sich der spezifische Stromverbrauch um eine Zehnerpotenz auf einen Wert von 2000 bis 2200 kWh/t Cu erhöhen. Dafür entfielen eine Reihe von Arbeitsgängen und entsprechende Einrichtungen. /55/

Im Hinblick auf den Energieverbrauch dominieren heutzutage zwei grundsätzlich verschiedene Verfahren zur Zinkherstellung:

- Imperial-Smelting (IS)-Verfahren
- Zinkgewinnungselektrolyse.

Aufgrund einiger prozeßtechnischer Vorteile fällt auf das elektrische Verfahren derzeit der größere Teil der Primärmetallerzeugung. Nach /55/ kann mit einem Anteil von etwa 78 % gerechnet werden. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung wird der Trend weiter zur Zinkelektrolyse gehen.

Während der Anteil der elektrischen Energie bei dem IS-Verfahren mit rund 600 kWh/t Zink angegeben wird, benötigt der Stromverbrauch bei der Zinkgewinnungselektrolyse zwischen 4000 und 4500 kWh pro Tonne Zink. Mit den oben angegebenen Anteilen und den spezifischen Verbrauchswerten berechnet sich der Stromverbrauch für die Zinkherstellung im Jahre 1982 zu rund 1 TWh.

3.4.3.3.3 NE-Metallhalbzeugwerke

Dieser Wirtschaftszweig hatte im Jahre 1982 einen Stromverbrauch von rund 1,8 TWh. Aufgrund der mengenmäßigen Bedeutung wird der größte Verbrauchsanteil der Weiterverarbeitung von Aluminium zufallen.

Elektrizität kommt hier in vielfältiger Weise als Antriebsenergie (Walzen, Bearbeitungsmaschinen etc.) und zur Wärmebehandlung in den unterschiedlichsten Ofenbauformen zum Einsatz. Eine weitergehende Untersuchung ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Die Verfahren entsprechen in etwa denen der Investitionsgüterindustrie.

3.4.3.3.4 NE-Metallgießerei

Der Gießereibereich der NE-Metalle zählte mit 0,37 TWh (1982) aufgrund des Produktionsvolumens nicht zu den großen Stromverbrauchern. Ähnlich den Verhältnissen in den Eisen-, Stahl- und Tempergießereien (Kap. 3.8) wird die elektrische Energie zur Deckung des Kraftbedarfs und für Elektrowärmezwecke eingesetzt. Hinsichtlich metallurgischer Bedingungen (insbesondere Abbrandverluste), Ofenbedienung und Umweltfreundlichkeit ist das elektrische Schmelzen sehr günstig zu bewerten.

Unter den Gußwerkstoffen haben die Legierungen auf der Basis von Aluminium und Kupfer die größte Bedeutung. Auch hier dominieren wieder die Leichtmetallprodukte der Aluminiumgießereien. Seit 1978 werden jährlich etwa 300.000 t Aluminiumguß hergestellt. Nach /58/ wird das elektrische Schmelzen im Induktionsofen aus wirtschaftlichen Gründen aber nur teilweise (ca. 30 %) angewendet. Anscheinend wirkten Strompreis und hohe Anschaffungskosten der Schmelzaggregate weiterer Elektrizitätsanwendungen bislang entgegen, obgleich energetische Betrachtungen das elektrische Schmelzen eindeutig im Vorteil sehen. Elektrisches Warmhalten ist aus wirtschaftlichen Gründen dagegen fast die Regel. Große elektrische Warmhalteöfen sind u.a. deshalb notwendig geworden, da die Anlieferung flüssigen Metalls zunehmend an Bedeutung gewinnt.

3.4.3.3.5 NE-Metallsekundärproduktion in den Umschmelzwerken

Die Umschmelzwerke der NE-Metallindustrie stellen entweder eigenständige Unternehmen dar oder sind direkt an die Verarbeitungsbetriebe angegliedert.

Umschmelzaluminium weist gegenüber dem Hüttenaluminium eine drastische Energieeinsparung auf. Nach /44/ läßt es sich mit nur rund 5 % der vorher eingesetzten Energie herstellen. Der Wärmestromverbrauch beschränkt sich hier auf die Einschmelzarbeit im elektrischen Herd- bzw. Induktionsofen, der in Konkurrenz zu verschiedenen brennstoffgefeuerten Ofenvarianten steht. Statistisches Zahlenmaterial über die Aufteilung liegt

nicht vor. Bei spezifischen Stromverbrauchswerten von 500 bis 600 kWh/t Umschmelzaluminium wird der Wärmestromeinsatz im Jahre 1982 in der Größenordnung von 0,1 TWh gelegen haben.

Ferner wird elektrische Antriebsenergie für verschiedene Transport- und Sortierprozesse, Rührwerke etc. gebraucht, so daß sich 1982 schließlich ein Gesamtstromverbrauch von 0,56 TWh einstellte.

Rohstoffquellen der Sekundärindustrie (vgl. Bild 3.16) sind

- Altschrott aus früherem Verbrauch
- Abfälle aus dem Halbzeugkreislauf
- Abfälle aus dem Gießereikreislauf

wobei nur die erste Quelle zusätzlichen Rohstoff für die Produktion zur Verfügung stellt.

Am Beispiel der Aluminiumindustrie läßt sich zeigen, daß ca. 70 % der Rohstoffe der Sekundärindustrie aus der Aluminiumverarbeitung in Form von Abfällen, Spänen etc. kommen. Dieses Material wird seit Jahren zu 100 % zurückgewonnen, so daß dieser Anteil nur im Rahmen des Wachstums der Aluminiumverarbeitung steigen kann (vgl. Bild 3.16). Einer Erhöhung der Recyclingrate von Altschrott kommt bei diesen Überlegungen dann nur noch untergeordnete Bedeutung zu /44/. Mögliche Verlagerungen zu elektrischen Einschmelzverfahren werden sich für den Gesamtstromverbrauch der NE-Metallindustrie nicht gravierend bemerkbar machen.

3.4.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung

Die Entwicklung der Eigenstromerzeugung in der NE-Metallindustrie ist in Bild 3.18 dargestellt. Es zeigt sich, daß die Eigenstromerzeugung in den '70er Jahren nicht dem wachsenden Stromverbrauch angepaßt wurde. Dies dokumentiert die Bedeutung der öffentlichen Stromversorgung für die NE-Metallwirtschaft.

Von den im Jahre 1982 selbsterzeugten 2,2 TWh entfielen rund 2 TWh auf reine Kondensationsstromerzeugung überwiegend im Sektor NE-Leichtmetallhütten. Kraft-Wärme-Kopplung in Gegen-druckmaschinen wird erst seit Beginn der '70er Jahre betrieben, dies ist wohl auf die Errichtung der neuen Aluminiumhüttenkapazitäten zurückzuführen. Mit rd. 70 GWh/a handelt es sich aber derzeit um recht geringe Werte. Ebenso vernachlässigbar gering ist der Entnahmekondensationsanteil.

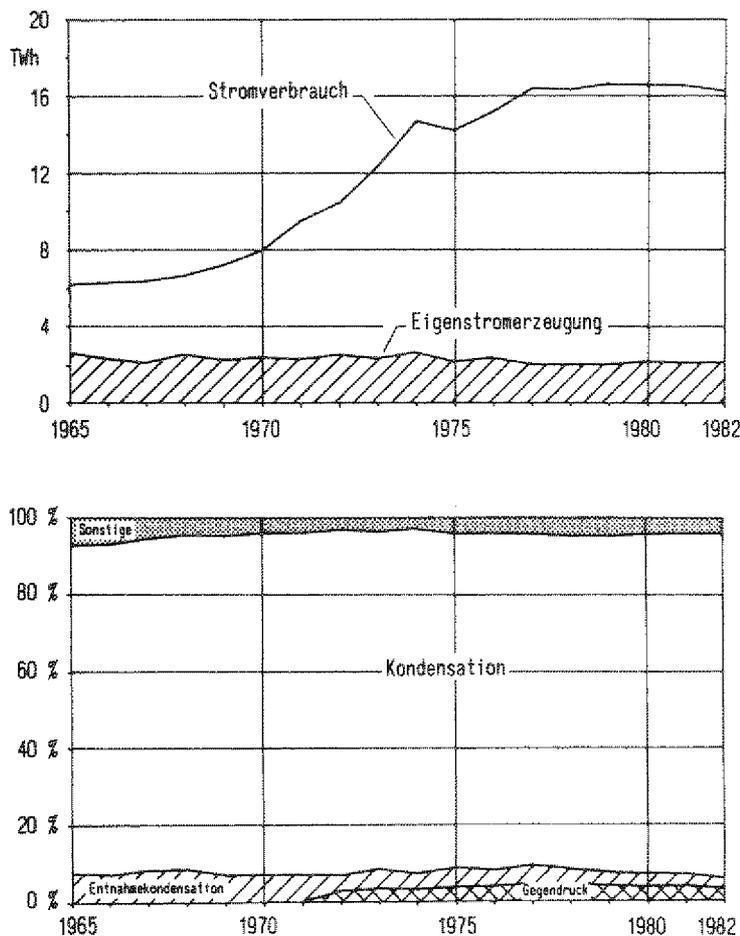


Bild 3.18: Entwicklung der Eigenstromerzeugung und Detaillierung nach Antriebsmaschinen in der NE-Metallindustrie [28] von 1965-1982 /22, 15/

Ein Zusammenhang zwischen Eigenstromerzeugung und Anwendung elektrischer Verfahren ist in dem NE-Metallsektor nicht festzustellen. Die Aluminiumelektrolyse ist verfahrenstechnisch derzeit an den Elektrizitätseinsatz gebunden.

3.4.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Im Jahre 1982 trug die elektrische Energie mit über 56 % (16,5 TWh) zur Endenergiebedarfsdeckung der NE-Metallindustrie bei und war damit der bedeutendste Endenergieträger.

Die Entwicklung des Stromverbrauchs zeigt einen deutlichen Anstieg zwischen den Jahren 1967 und 1974, dies erklärt sich mit einer erheblichen Ausweitung der stromintensiven Hüttenaluminiumproduktion, die Ende der '60er Jahre einsetzte. So entfielen im Jahre 1982 ca. drei Viertel des gesamten Stromverbrauchs dieses Sektors auf die Aluminium-Schmelzflußelektrolyse.

Die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs im NE-Metallsektor wird in erster Linie von der Entwicklung der Hüttenaluminiumproduktion bestimmt. Hierbei kommt aufgrund des hohen Stromkostenanteils bei den Fertigungskosten (29 - 36 %) der zukünftigen Strompreisentwicklung im Hinblick auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit entscheidende Bedeutung zu. Eine Verfahrenssubstitution und Übergang auf andere Energieträger ist derzeit nicht erkennbar.

Aufgrund der unsicheren Strompreisentwicklung dürfte in naher Zukunft keine Kapazitätserweiterung und damit keine Erhöhung des Stromverbrauchs bei der Hüttenaluminiumproduktion zu erwarten sein.

In den übrigen Wirtschaftszweigen der NE-Metallindustrie ist ein leichter Anstieg des Stromverbrauchs möglich, dies gilt insbesondere für die verstärkte Anwendung des elektrischen Schmelzens, wobei Qualitätsanforderungen und Umweltbelastung den Stromeinsatz begünstigen.

3.5 CHEMISCHE INDUSTRIE

3.5.1 Überblick

Die chemische Industrie war nach der Eisenschaffenden Industrie mit 14,8 Mio t SKE im Jahre 1982 der zweitgrößte Endenergieverbraucher und mit weitem Abstand der größte industrielle Stromverbraucher. Mit über 38 TWh war die Chemie zu gut einem Viertel am industriellen Gesamtstromverbrauch beteiligt. In der Chemiewirtschaft spielen die Großunternehmen eine beherrschende Rolle.

Die Statistik /22/ weist für den chemischen Sektor 6 Wirtschaftszweige aus. Die Herstellung von chemischen Grundstoffen [4031] war im Jahre 1982 der herausragende Stromverbraucher (32 TWh). Aufgrund der Produktvielfalt sind Einzelbetrachtungen zum Stromverbrauch in der vorliegenden Arbeit nur im Bereich der Grundchemikalien und für ausgewählte Produkte möglich. Es wurden folgende chemische Erzeugnisse ausgewählt: Chlor - Natronlauge, Phosphor, Calciumcarbid, Sauerstoff, Aluminiumoxid, Acetylen, Ethylen, Butylen/Butadien, Methanol und Ammoniak.

3.5.2 Entwicklung des Energieverbrauchs, des Rohstoffeinsatzes und der Nettoproduktion

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs ist in Bild 3.19 dargestellt. Sie zeigt, daß auch in der chemischen Industrie der für andere Wirtschaftszweige typische Substitutionsverlauf der fossilen Energieträger vorliegt. Der Brennstoffverbrauch wird größtenteils durch Steinkohle, schweres Heizöl und Erdgas bestimmt. Auffallend ist der hohe Verbrauchsanteil des elektrischen Stroms von 31 % (1982) am Endenergieverbrauch dieser Branche.

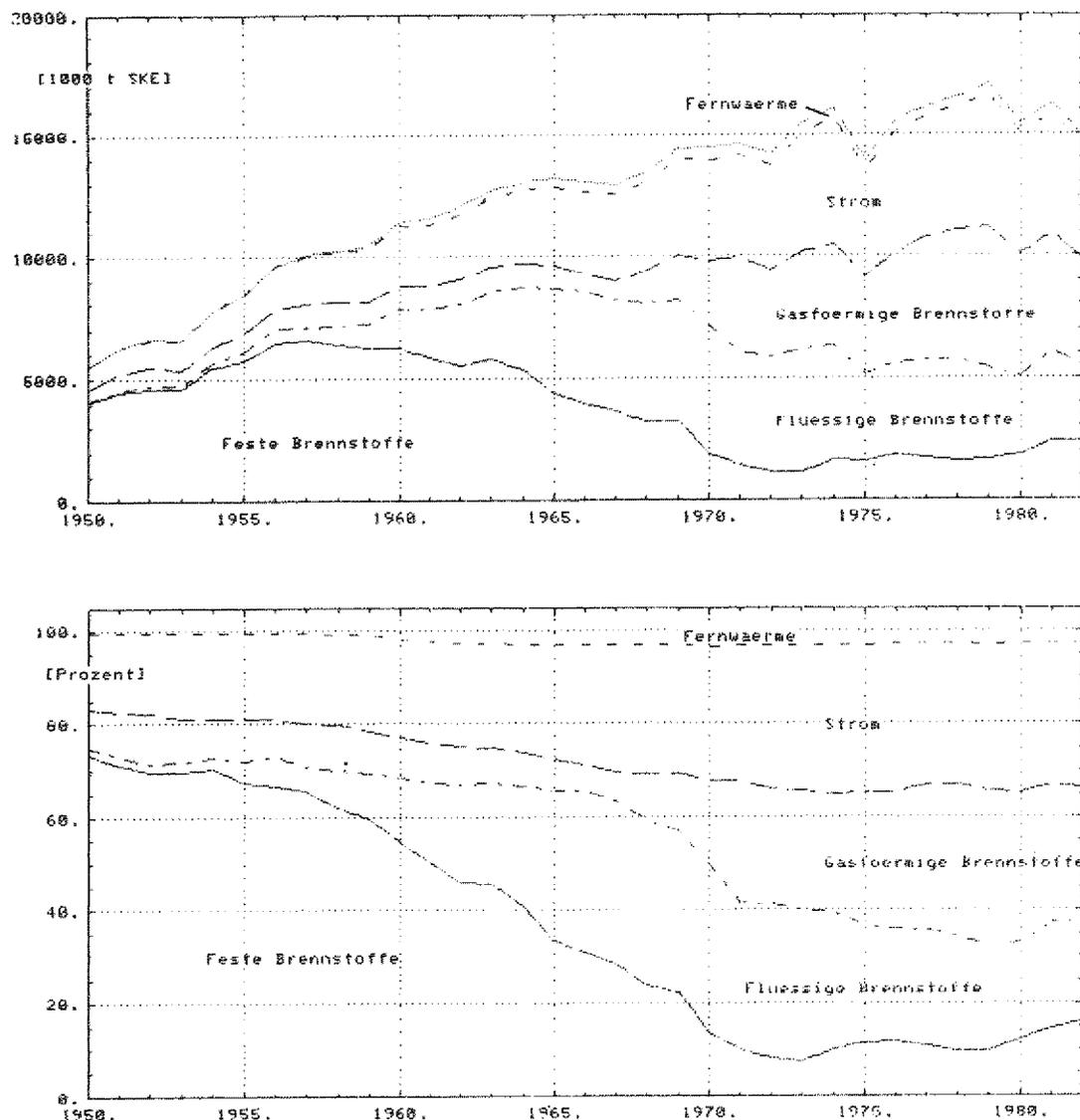


Bild 3.19: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der chemischen Industrie von 1950-1982 /1/

Eine Besonderheit dieses Industriezweiges ist die Verwendung von Energieträgern als Rohstoff, deren Anteil in Bild 3.19 nicht enthalten ist. Die Entwicklung der Rohstoffverbrauchsstruktur verlief bisher in Anlehnung an die der energetischen Brennstoffstruktur. Mit dem Übergang von der Kohlechemie zur Petrochemie gingen deutliche Impulse auf die chemische Verfahrenstechnik aus, so daß zwangsläufig auch der Endenergie-trägereinsatz wieder beeinflusst wurde.

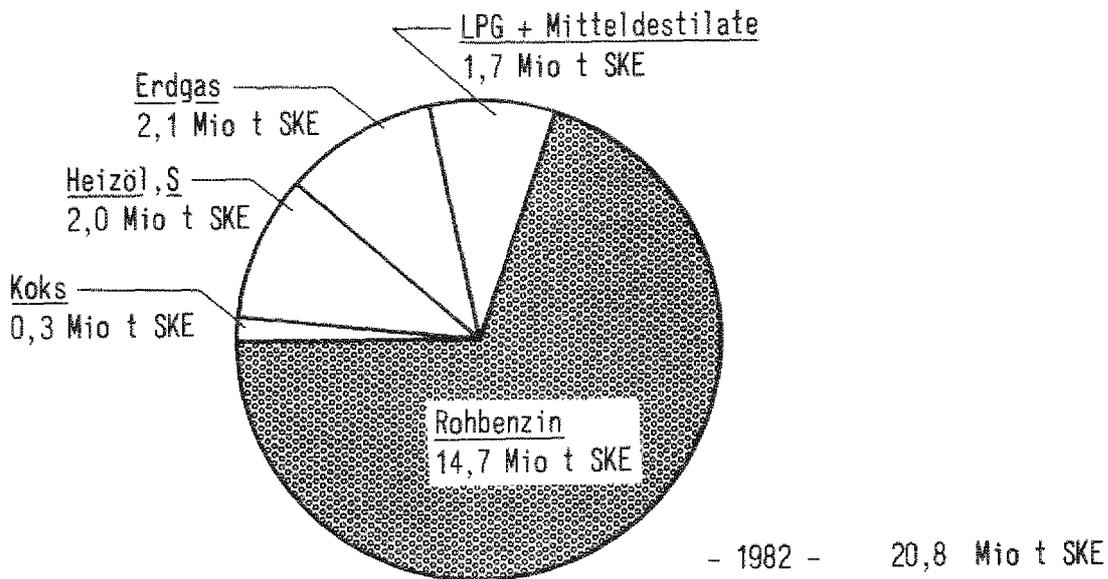


Bild 3.20: Rohstoffverbrauchsstruktur der chemischen Industrie im Jahre 1982 /20/

Aufgrund der großen Produktpalette läßt sich die Produktionsentwicklung sowie der spezifische Endenergieverbrauch nur auf dem Aggregationsniveau der Gesamtbranche darstellen. Die Auswirkungen von Strukturverschiebungen sind hierbei nicht zu erkennen.

Im Gegensatz zu anderen Industriezweigen zeigt die chemische Industrie einen Rückgang der spezifischen Verbrauchswerte sowohl für Brennstoffe als auch für Strom. Die Entwicklung der Nettoproduktion läßt einen relativ kontinuierlichen Anstieg im Verlauf der letzten 20 Jahre erkennen.

Von 1960-1972 begründet sich die starke Abnahme der spezifischen Verbrauchswerte in erster Linie im technischen Fortschritt verbunden mit Energieeinsparungen, Zunahme der Produktionseinheitengröße sowie dem Übergang von der Kohle- zur Petrochemie. Die Rohstoffe können leichter und weniger energie-

intensiv aus den Spaltprodukten der Erdöl-Kohlenwasserstoffe gewonnen werden. Darüber hinaus wurde diese Periode noch durch eine Verschiebung der Produktionsstruktur zugunsten weniger energieintensiver Produkte begleitet.

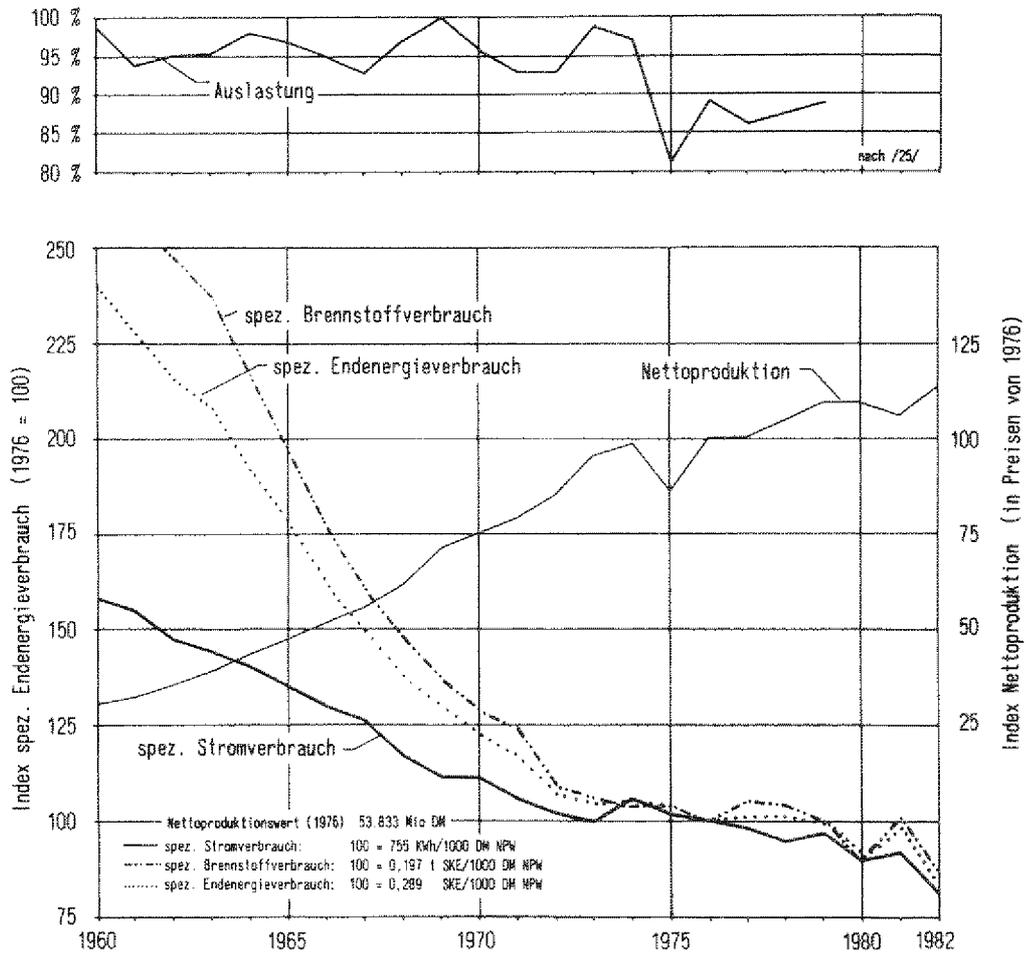


Bild 3.21: Entwicklung der Nettoproduktion und des spezifischen Endenergieverbrauchs in der chemischen Industrie von 1960-1982 /1, 2/

Die zweite erkennbare Periode von 1973-1979 ist durch etwa gleichbleibende spezifische Verbrauchswerte gekennzeichnet. Auch diese Entwicklung steht deutlich im Gegensatz zu anderen Branchen. Nach /10/ ist mittlerweile der spezifische Verbrauch sehr oft verfahrenstechnisch fixiert, so daß weiteren Einsparungen sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Grenzen gesetzt sind.

Bild 3.22 ergänzt die geschilderte Entwicklung für den Stromverbrauch. Der Rückgang des 'Grundstrombedarfs' läßt auf Strukturverschiebungen zu weniger stromintensiven Produktionsverfahren schließen. Inwieweit diese Darstellung durch Veränderung der Produktionsstruktur (z.B. Erhöhung des Nettoproduktionswertes bei konstantem Stromverbrauch) beeinflußt wird, läßt sich nicht entnehmen. Die letzten drei Jahre lassen keine schlüssige statistische Interpretation zu, der beschriebene Trend scheint sich aber fortzusetzen.

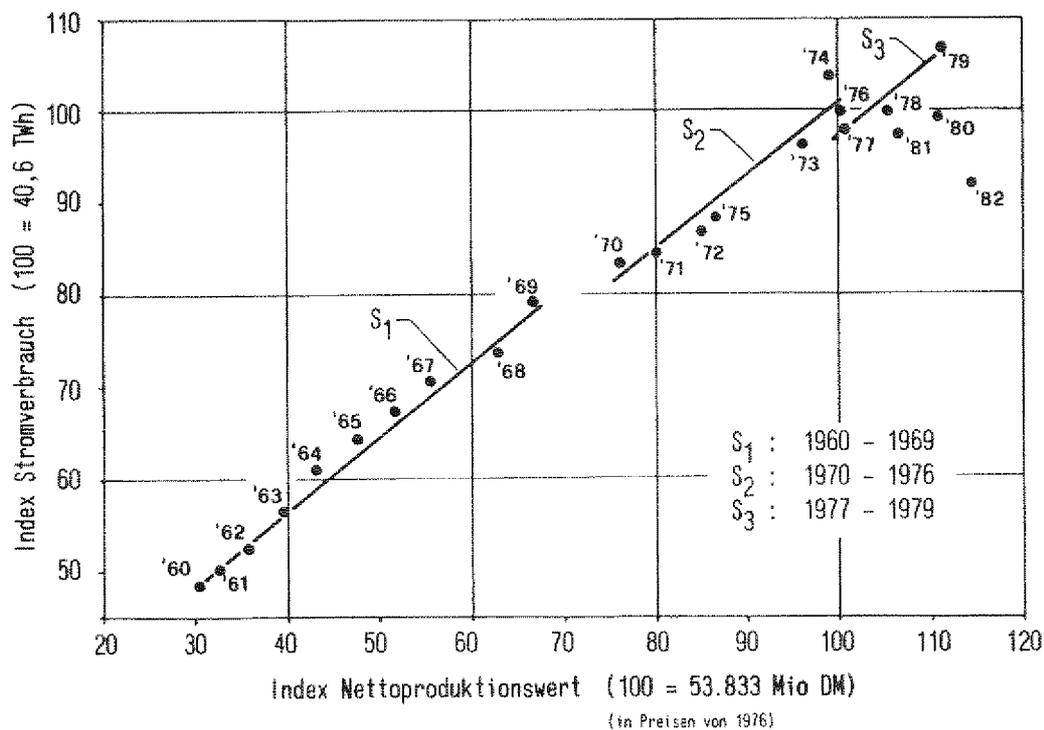


Bild 3.22: Entwicklung der 'Strombedarfscharakteristik' der chemischen Industrie /1, 2/

3.5.3 Detaillierung des Stromeinsatzes

Aus dem umfangreichen Produktspektrum der chemischen Industrie wurden für die Beschreibung der Stromverbrauchsentwicklung folgende Grundchemikalien ausgewählt:

- Anorganische Chemikalien (Chlor-Natronlauge, Phosphor, Calciumcarbid, Sauerstoff, Aluminiumoxid)

- Organische Chemikalien (Acetylen, Ethylen, Butylen/
Butadien, Methanol)
- Ammoniakherstellung

Über Rückrechnung mit den sich jeweils unterschiedlich entwickelnden spezifischen Stromverbrauchswerten sollen die derzeit vorherrschenden Größenverhältnisse aufgezeigt werden. Bild 3.23 zeigt hierzu die Produktionsentwicklung ausgewählter Grundchemikalien.

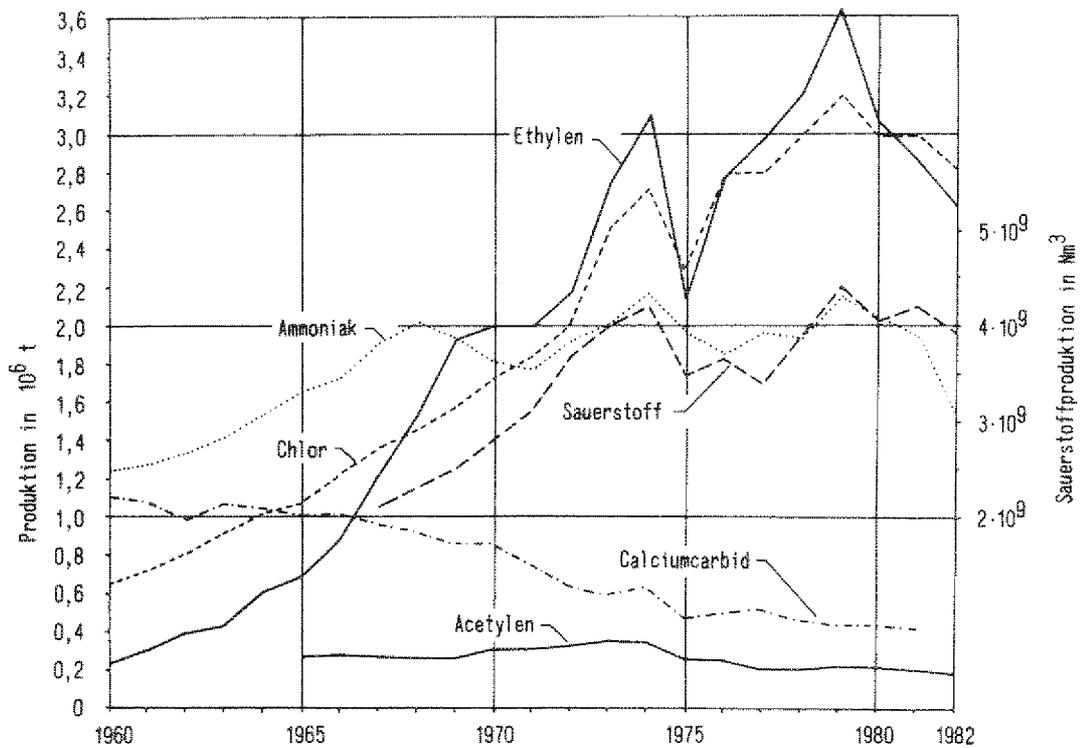


Bild 3.23: Produktionsentwicklung ausgewählter chemischer Grundstoffe /59/

3.5.3.1 Chlor - Natronlauge (Cl_2 - NaOH)

3.5.3.1.1 Übersicht

Als Ausgangsprodukt für eine Vielzahl von Zwischen- und Endprodukten kommt der Chlorherstellung eine bedeutende Stellung unter den chemischen Grundprodukten zu. Aufgrund der mengenmäßigen Bedeutung und derzeit konkurrenzloser elektrischer Verfahrenstechnologie, die mit hohen spezifischen Verbrauchswerten verbunden ist, ist die Chlorproduktion der größte Stromverbraucher im Bereich der chemischen Industrie.

Die Produktionskurve hat sich deutlich abgeflacht und pendelte in den vergangenen sieben Jahren um die 3 Mio t. 1982 wurden rund 2,8 Mio t Chlor gewonnen (vgl. Bild 3.23).

Chlor wird in großen Mengen zur Herstellung von Kunststoffen (VC, PVC) sowie von Lösungsmitteln und vielen weiteren anorganischen Grundchemikalien verwendet. Die gleichzeitig anfallende Natronlauge wird in der Textil-, der Papier- und Waschmittelindustrie benötigt. Seit Beginn der 70'er Jahre wird sie desweiteren für den Bauxitaufschluß zu Al_2O_3 eingesetzt.

3.5.3.1.2 Herstellungsverfahren

Grundsätzlich kann man zwischen chemischen und elektrochemischen Verfahren der Chlorherstellung unterscheiden, wobei in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund energetischer Vorteile und Rohstoffsituation praktisch ausschließlich letztere Verwendung finden.

Als Ausgangsprodukt dienen verschiedene Salzsorten, so daß Chlor aus der Chloralkali-Elektrolyse immer mit dem Koppelprodukt Natronlauge anfällt. Der NaOH-Markt ist somit auch von Bedeutung für die Entwicklung der Chlorproduktion und der eingesetzten Elektrolyseverfahren.

Derzeit stellen das Amalgam- und das Diaphragmaverfahren mit 80 - 85 % bzw. 10 - 15 % Marktanteilen die bestimmenden Technologien der Chloralkali-Elektrolyse dar. Zukünftig ist auch mit der verstärkten Markteinführung einer neuen Entwicklung, dem Membranverfahren, zu rechnen.

Die Salzsäure-Elektrolyse hat mit derzeit 4 - 5 % Marktanteilen keine überragende Bedeutung, ist aber aus energiewirtschaftlicher Sicht aufgrund des wesentlich geringeren spezifischen Stromverbrauchs interessant.

Tab. 3.2 zeigt einige für die Chlorherstellung repräsentative Kenngrößen bei verschiedenen Technologien. Für die spezifischen Verbrauchswerte können nur grundsätzliche Größenordnungen angegeben werden. Je nach Anlagenhersteller, Alter der Anlagen und eventuellen Umrüstungen sind Abweichungen möglich.

Eine sehr detaillierte Arbeit über die spezifischen Verbrauchswerte findet sich in /60/, auch später erschienene Veröffentlichungen /30, 48, 61/ greifen auf diese Anhaltswerte zurück.

	Diaphragma- verfahren	Amalgam- verfahren	Salzsäure- elektrolyse	Membran- verfahren
Rohstoffeinsatz	Siede-, Stein-, *) Meer-, Natursalz	Steinsalz	Salzsäure	siehe *)
Verfahrens- -technologie	$(2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{Strom} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2)$ *)		$(2\text{HCl} + \text{Strom} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2)$	siehe *)
Stromeinsatz	3200 kWh/Cl ₂	3600 kWh/Cl ₂	1600 kWh/Cl ₂	3300 kWh/Cl ₂
weiterer Energieeinsatz	rd. 3,1 t Dampf	/	/	rd. 1,5 t Dampf

Tab. 3.2: Kenngrößen der Chlorherstellung bei verschiedenen Technologien, in Anlehnung an /60/

Das Amalgamverfahren verwendet eine am Zellenboden befindliche Quecksilberschicht als Kathode, die mit dem abgeschiedenen Natrium ein flüssiges Amalgam bildet. In einer weiteren Zelle wird das Amalgam mit Wasser unter Wasserstoffentwicklung zu

einer sehr reinen, hochprozentigen Natronlauge zersetzt. Chlor bildet sich an der bisher überwiegend aus Elektrographit bestehenden Anode und wird anschließend verflüssigt.

Der spezifische Stromverbrauch des Amalgamverfahrens errechnet sich über den Gleichstromverbrauch der Elektrolyse (rund 3420 kWh/t Cl₂), den Verbrauch für Schienen-, Gleichrichter- und Transformationsverluste sowie den spezifischen Drehstromverbrauch der Nebenbetriebe zu rund 3730 kWh/t Cl₂.

Unter Berücksichtigung, daß derzeit etwa 15 % aller Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland mit sogenannten dimensionsstabilen Titananoden (DSA) ausgerüstet sind /61/, die eine Senkung des spezifischen Stromverbrauchs von ca. 300 kWh/t Cl₂ ermöglichen, läßt sich mit /30, 60, 62/ für das Amalgamverfahren ein durchschnittlicher spezifischer Gesamtstromverbrauch von 3600 kWh/t Cl₂ errechnen.

Beim Diaphragmaverfahren wird die Elektrolysezelle durch eine poröse Wand in Anoden- und Kathodenraum getrennt, dies verhindert eine Rückreaktion der an den Elektroden abgeschiedenen Produkte.

Im Vergleich mit dem Amalgamverfahren liegt der spezifische Stromverbrauch beim Diaphragmaverfahren um 10 - 15 % niedriger, so daß derzeit ein Gesamtstromverbrauch von 3200 kWh/t Cl₂ veranschlagt werden kann.

Dennoch liegt der Gesamtenergieverbrauch beim Diaphragmaverfahren höher, da zusätzlich etwa 3 Tonnen Dampf pro Tonne Chlor (rd. 9300 MJ) zum Eindampfen der mit Kochsalz verunreinigten Natronlauge erforderlich sind. Soweit der Dampf nicht als 'Abfalldampf' zur Verfügung steht, wird der geringere Stromverbrauch durch die erhöhten Dampfkosten überkompensiert.

Eine Weiterentwicklung der Diaphragmaverfahren ist das Membranverfahren. Unter Verwendung von Ionenaustauscher-Membranen versucht man in erster Linie durch erhöhte Laugenkonzentration die Energiekosten bei der Laugeneindampfung stark herabzusetzen. Die Entwicklung dieses Verfahrens und weiterer Varianten ist noch nicht abgeschlossen /62/. Bei einem spezifischen Gesamtstromverbrauch von ca. 3300 kWh/t Cl_2 erwartet /61/ bis zum Jahr 2000 in der Bundesrepublik Deutschland Marktanteile um 5 %. Welches der drei Chloralkali-Elektrolyseverfahren jeweils eingesetzt wird, hängt von unterschiedlichen Randbedingungen, wie z.B. Kapazität der Anlage, Standort, Salzsituation, gewünschte Laugenkonzentration, Umweltbelastung etc. ab.

Bei vielen organischen Chlorierungen besteht der Primärschritt in der substituierenden Chlorierung eines Kohlenwasserstoffs. Dabei verbleibt die Hälfte des Chlors im gewünschten Produkt, während die andere Hälfte als Chlorwasserstoff oder Salzsäure anfällt. Der Marktanteil für die Folgeprodukte der Chlorindustrie (Natronlauge und Salzsäure) verhält sich nicht gleichmäßig, die Chlornachfrage ist ungleich größer. Eine Möglichkeit dieser Tendenz mit technischen Mitteln zu begegnen, bietet sich mit der Salzsäureelektrolyse.

Der spezifische Stromverbrauch kann zu 1600 kWh/t Cl_2 angenommen werden. Die HCl-Elektrolyse leistet keinen Beitrag zur Primärproduktion des Chlors und ist gegenüber der Chloralkali-Elektrolyse nur dann wirtschaftlich, wenn die eingesetzte Salzsäure auf dem Markt keinen kommerziellen Wert hat /60, 61/.

3.5.3.1.3 Stromverbrauch

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen spezifischen Verbrauchswerte und der jeweiligen Marktanteile der Verfahren (Tab. 3.2) läßt sich im Jahre 1982 für die Chlorproduktion ein Wert von rund 9,8 TWh errechnen. Dies entsprach etwa einem Viertel der in der chemischen Industrie verbrauchten Elektrizität bzw. rund 7 % des industriellen Gesamtstromverbrauchs.

3.5.3.1.4 Entwicklungstendenzen

Nach /61/ ist in den nächsten 15 Jahren mit einer Verschiebung der Verfahrensanteile zugunsten des Diaphragmaverfahrens zu rechnen. Für das Membranverfahren werden Marktanteile bis zu 5 % erwartet. Im Zusammenhang mit weiteren technischen Verbesserungen ist somit ein leichter Rückgang der spezifischen Verbrauchswerte denkbar. Für die Entwicklung des Stromverbrauchs wird aber in erster Linie die Produktionsentwicklung maßgeblich sein, da bei den hier vorliegenden Größenordnungen schon Veränderungen um 300.000 t Cl_2 /a rund 1 TWh Mehr- oder Minderverbrauch bedeuten.

3.5.3.2 Phosphor (P)

3.5.3.2.1 Übersicht

Der industrielle Bedarf an reiner Phosphorsäure wird aus Phosphaten gedeckt, wobei man erst durch einen Reduktionsprozeß elementaren Phosphor herstellt und diesen wieder durch Oxidation mittels Luftsauerstoff und Behandlung mit Wasser zu Phosphorsäure und phosphorsauren Salzen umsetzt. Für den Bereich der Bundesrepublik wird die Phosphorerzeugung auf ca. 80.000-90.000 t geschätzt /60, 61, 63/.

Die Phosphorproduktion wird überwiegend zur Herstellung von Waschmitteln, Dünge- und Futtermitteln sowie Additiven für Lebensmittel verwendet.

3.5.3.2.2 Herstellungsverfahren

In der Bundesrepublik Deutschland wird Phosphor ausschließlich elektrothermisch durch Reduktion von Tricalciumphosphat mit Koks und Quarzsand zu Calciumsilikat, Kohlenmonoxid und Phosphor hergestellt. Der zusammen mit dem CO gasförmig anfallende Phosphor wird nach einer elektrostatischen Gasreinigung abgeschieden und in flüssiger Form unter Wasser gelagert. Wegen

Unwirtschaftlichkeit und technischer Schwierigkeiten kommt das Konkurrenzverfahren nach dem Schachtofen-Prinzip nicht zum Einsatz.

Der spezifische Drehstromverbrauch der Reduktionsöfen wird in erster Linie durch die Zusammensetzung der Rohstoffe bestimmt /60/. Bei großen Ofeneinheiten kann man mit einem spezifischen Verbrauchswert von rund 13.000 kWh/t gelben Phosphors rechnen. Man setzt hier voraus, daß das Rohphosphat eine geeignete Zusammensetzung hat, calciniert ist und der Elektrofilterstaub über die Rohstoffaufbereitung zirkuliert. Zusätzlich ist mit einem relativ hohen Stromverbrauch für die Nebenbetriebe von rund 1100 kWh zu rechnen, so daß sich ein spezifischer Gesamtstromverbrauch von ca. 14.100 kWh/t gelben Phosphors ergibt.

3.5.3.2.3 Stromverbrauch und Entwicklungstendenzen

Aufgrund des sehr hohen spezifischen Gesamtstromverbrauchs von 14.100 kWh/t gelben Phosphors errechnet sich für die ansonsten mengenmäßig relativ geringe Phosphorherstellung (1982 zu 80.000 t geschätzt) ein Stromverbrauch von rund 1,13 TWh. Nach /61/ ist weder mit erheblichen Energieeinsparungen noch mit einer verbrauchssteigernden Entwicklung zu rechnen.

3.5.3.3 Calciumcarbid (CaC_2)

3.5.3.3.1 Übersicht

Seit über 20 Jahren befindet sich die Carbid-Industrie in einem Strukturwandel mit dem Ergebnis, daß die Carbidproduktion in der Bundesrepublik Deutschland kontinuierlich abgenommen hat (Bild 3.23). Die rückläufige Produktion ist größtenteils auf die Umstellung acetylenabhängiger Verfahren auf Prozesse mit Ethylen als Ausgangsstoff zurückzuführen.

Hauptanwendungsgebiete sind die autogene Metallbearbeitung (Carbid-Acetylen), die Herstellung von Kalkstickstoff-Düngemitteln und die organische Synthese. Bei der organischen Synthese ist das Carbid-Acetylen in den letzten Jahrzehnten nicht nur der Konkurrenz des billigeren Petro-Acethylens, sondern auch der des Ethylens ausgesetzt. Gleichzeitig erfolgte die Ablösung des Massendüngemittels Kalkstickstoff durch synthetische Volldünger. Aufgrund dieser ungünstigen Marktlage reduzierte sich die Calciumcarbidproduktion deutlich auf 432.117 t im Jahre 1981. Neuere Produktionszahlen liegen derzeit nicht vor, so daß die CaC_2 -Produktion für 1982 zu 400.000 t geschätzt wird.

3.5.3.3.2 Herstellungsverfahren

Calciumcarbid kann großtechnisch sowohl über ein sauerstoffthermisches Verfahren (Schachtofen) als auch elektrochemisch im Lichtbogen-Reduktionsofen hergestellt werden, wobei in der Bundesrepublik Deutschland ausschließlich letzteres Verfahren zum Einsatz kommt.

Die heutzutage verwendeten Reduktionsöfen unterscheiden sich sowohl in der elektrischen Ausrüstung als auch in der Anordnung der Elektroden. Nach /60/ liegt der spezifische Stromverbrauch moderner Drehstromöfen zwischen 2900 und 3000 kWh/t Handels-carbid. Je nach angestrebtem Reinheitsgrad und möglicher Fahrweise nach 'Stromfahrplan' können sich die spezifischen Verbrauchswerte um 100 - 200 kWh/t CaC_2 erhöhen.

Verbrauchsmindernd wirkt sich dagegen der Einbau von Hohlelektroden aus, so daß schließlich mit einem spezifischen Gesamtstromverbrauch (incl. 250 kWh/t CaC_2 für Nebenbetriebe) von rund 3200 kWh/t Handels-carbid gerechnet werden kann. Zukünftige Entwicklungstendenzen, insbesondere bei der Errichtung neuer Kapazitäten, lassen eine Reduzierung im Bereich von 100 bis 300 kWh/t CaC_2 möglich erscheinen /61, 64/.

3.5.3.3.3 Stromverbrauch

Bei einem spezifischen Gesamtstromverbrauch von 3200 kWh/t Handelskarbid und der zu 400.000 t geschätzten Produktion errechnet sich für das Jahr 1982 der Stromverbrauch zu rund 1,28 TWh. Betrachtet man hierzu die Produktionszahlen der 60'er Jahre (im Durchschnitt 1 Mio t CaC_2 entsprechend ca. 3,2 TWh), so zeigt sich deutlich der eingangs beschriebene Struktur-effekt.

3.5.3.3.4 Entwicklungstendenzen

Die Meinungen zur zukünftigen Entwicklung sind in der Literatur nicht einheitlich. Nach /60, 61/ wird der Verbrauch an Karbid im Bereich der autogenen Metallverarbeitung etwa konstant bleiben, dagegen rechnet man mit einem stetigen Rückgang an Kalkstickstoff und Karbid-Acetylen. Aufgrund veränderter Marktsituation ist es nach /64/ aber durchaus möglich, daß der Karbid-Acetylen-Sektor bei günstigen Voraussetzungen wieder an Bedeutung gewinnt.

3.5.3.4 Sauerstoff (O_2)

3.5.3.4.1 Überblick

Während bei den bisher beschriebenen anorganischen Produkten Strom überwiegend für Elektroöfen bzw. Elektrolyseprozesse Verwendung findet, ist der Elektrizitätseinsatz zur Sauerstoff-erzeugung den großmotorischen Antrieben zuzuordnen.

Die Entwicklung der O_2 -Produktion ist in Bild 3.23 dargestellt. Im Jahre 1982 wurden $3,9 \cdot 10^9$ Nm³ erzeugt. Als größter Sauerstoffverbraucher ist die Stahlindustrie und die Chemie selbst zu nennen. Während bei der Eisenschaffenden Industrie in erster Linie nur der Sauerstoff zur Stahlherstellung und zur Anreicherung des Hochofenwindes Verwendung findet, benötigt die

chemische Industrie beide Luftzerlegungsprodukte in großen Mengen als Basisstoffe. Ein bislang noch kleines Einsatzgebiet findet sich in der Abwasserreinigung von organisch belasteten Gewässern.

3.5.3.4.2 Herstellungsverfahren

Durch den wachsenden Bedarf an reinem Sauerstoff hat das von LINDE entwickelte Luftverflüssigungsverfahren große industrielle Verbreitung gefunden. Trotz seiner Energieintensität scheint dieses Verfahren bisher am günstigsten zu sein. Das LINDE-Verfahren zur Luftzerlegung beruht darauf, daß aufgrund der unterschiedlichen Siedepunkte der Komponenten die bei hinreichender Abkühlung sich bildende flüssige Phase eine andere Zusammensetzung aufweist als das Ausgangsgemisch. Für die Kälteerzeugung wird der Joule-Thomson-Effekt ausgenutzt. Die hierfür notwendige Kompressionsarbeit wird durch Kolbenverdichter, bzw. ab einer Anlagengröße von 10.000 - 15.000 Nm³/h durch Turbomaschinen verrichtet /65/. Der Gesamtstrombedarf liegt je nach Anlagengröße und Auslastungsgrad zwischen 0,55 und 0,77 kWh/Nm³ O₂ (Reinheit 99,5 %) /61/. Zur Verflüssigung des erzeugten Sauerstoffs wird nochmals etwa eine Energiemenge wie zur Erzeugung benötigt.

3.5.3.4.3 Stromverbrauch und Entwicklungstendenzen

Berücksichtigt man bei einer Sauerstofferzeugung von $3,9 \cdot 10^9$ Nm³ im Jahre 1982, daß rund 15 % mit entsprechend höherem Stromverbrauch verflüssigt werden, so liegt der Kraftstrombedarf bei rund 3,18 TWh. Es wird hierbei ein spezifischer Stromverbrauch von 0,7 kWh/Nm³ O₂ zugrunde gelegt.

Nach /61/ wird der Stromverbrauch zur Sauerstofferzeugung zumindest bis zur Jahrhundertwende im wesentlichen von den Lufttrennanlagen bestimmt, obwohl eine Vielzahl anderer Verfahren weiterentwickelt werden. Große Änderungen der spezifischen Verbrauchswerte sind nicht zu erwarten, so daß der Stromverbrauch durch die Produktionsmenge bestimmt wird.

3.5.3.5 Acetylen (C₂H₂)

3.5.3.5.1 Überblick

Anfang der 60'er Jahre setzte mit dem Erdöleinsatz als damals billige Rohstoffquelle die Entwicklung zur Acetylenherzeugung aus petrochemischen Produkten (Petro-Acetylen) ein, so daß die Herstellung von sehr reinem Acetylen aus Calciumcarbid und Wasser (vgl. Kap. 3.5.3.3) immer mehr an Bedeutung verlor. Nach /60, 61/ dürften die Anteile mittlerweile unter 5 % liegen. Der Stromverbrauch für die Carbid-Acetylen-Herstellung ist in der CaC₂-Herstellung bereits enthalten und braucht somit hier nicht weiter berücksichtigt werden.

Als Grundstoff zur Weiterverarbeitung zu Vinylchlorid, Vinylacetat, Acetaldehyd etc. steht Petro-Acetylen in starker Konkurrenz zu Ethylen. Seit Mitte der '70er Jahre ist ein Rückgang der Petro-Acetylen-Produktion festzustellen (vgl. Bild 3.23).

3.5.3.5.2 Herstellungsverfahren

Desweiteren müssen also nur die petrochemischen Verfahren diskutiert werden. Eine entsprechende Übersicht findet sich in Tab. 3.3.

Verfahren	Rohstoff	Stromverbrauch	verwendeter Stromverbrauch	geschätzte Marktanteile 1982 ^{d/}	resultierender Gesamtstromverbrauch ^{d/}
CWH - Gleichstrom Lichtbogenofen	Flüssiggas Methan	12400-13100 kWh/t C ₂ H ₂	12400 kWh/t C ₂ H ₂	50 %	1,09 TWh
Partielle Verbrennung	Leichtbenzin Methan	3600-4000 kWh/t C ₂ H ₂ ^{b/}	2200 kWh/t C ₂ H ₂ ^{b/}	15 %	0,06 TWh ^{b/}
Hochtemperatur-Pyrolyse	Leichtbenzin	3850 kWh/t C ₂ H ₂ ^{a/}	2400 kWh/t C ₂ H ₂ ^{b/}	15 %	0,06 TWh ^{b/}
Tauchflamverfahren	Rohöl	2800 kWh/t C ₂ H ₂ ^{b/}	2800 kWh/t C ₂ H ₂ ^{b/}	5 %	0,03 TWh ^{b/}
Wulff - Prozeß	Leichtbenzin	300-2250 kWh/t C ₂ H ₂	1400 kWh/t C ₂ H ₂ ^{c/}	15 %	0,04 TWh ^{c/}

^{a/} incl. 1500 kWh/t C₂H₂ für O₂-Erzeugung, ^{b/} ohne Sauerstoffherzeugung, ^{c/} geschätzter Wert, ^{d/} bezogen auf 176.700 t Petro-Acetylen)

Tab. 3.3: Kenngrößen der Petro-Acetylen-Herstellung bei verschiedenen Technologien, in Anlehnung an /60, 61/

Die spezifischen und absoluten Energieverbrauchswerte lassen sich nur mit Unsicherheit darstellen, da die derzeitigen Marktanteile der verschiedenen Verfahren nicht genau bekannt sind. Vorhandenes Material bezieht sich auf die Jahre 1970 bzw. 1975.

Außer beim Lichtbogenverfahren, hier wird die Energie zur Aufheizung der Kohlenwasserstoffe aus dem elektrischen Strom des in den Kohlenwasserstoffen brennenden Lichtbogens bezogen, wird bei allen anderen Petro-Acetylen-Herstellungsverfahren die elektrische Energie im wesentlichen für Kompressionszwecke und als Pumpenergie benötigt.

3.5.3.5.3 Stromverbrauch und Entwicklungstendenzen

Aufgrund der sehr hohen Energieintensität (12.400 kWh/t C_2H_2) ist für den absoluten Stromverbrauch der Petro-Acetylen-Herstellung der Marktanteil des CWH-Gleichstrom-Lichtbogenofens entscheidend. Dieses elektrische Verfahren war im Jahre 1982 mit rund 90.000 t zu 50 % an der Acetylenherstellung beteiligt /66/. Nach /61/ soll das Verfahren wegen seiner hohen spezifischen Stromverbrauchswerte langfristig an Bedeutung verlieren. Mit den in Tab. 3.3 zusammengefaßten Annahmen errechnet sich für die Acetylen-Herstellung im Jahre 1982 ein Gesamtstromverbrauch von rund 1,3 TWh.

Die Weiterentwicklung sowohl der Acetylenproduktion als auch der unterschiedlichen Herstellungsverfahren ist sehr schwer abzuschätzen. Vorsichtige Prognosen sehen bei einer stagnierenden Produktion einen relativ konstanten absoluten Stromverbrauch bis zur Jahrhundertwende /60, 61/.

3.5.3.6 Ethylen (C_2H_4)

3.5.3.6.1 Überblick

Ethylen ist heutzutage das in relativ größten Mengen erzeugte Produkt im Bereich der organischen Chemie. Die im Vergleich zum Acetylen niedrigeren Herstellkosten und die Möglichkeit über Pipeline-Verbundsysteme das gasförmige Ethylen wirtschaftlich zu transportieren sind Gründe für die hohen Produktionssteigerungsraten in den vergangenen 20 Jahren (vgl. Bild 3.23). Als Rohstoffbasis für die meisten organischen Verbindungen (verschiedene Polymeren, Äthanol, Acetaldehyd etc.) ist Ethylen das wichtigste Produkt der petrochemischen Industrie.

3.5.3.6.2 Herstellungsverfahren

Die Erzeugung von Ethylen und anderen Olefinen findet in der Bundesrepublik fast ausschließlich nach dem Verfahren der Leichtbenzinspaltung im Röhrenspaltofen statt. Hiermit ist gleichzeitig die Herstellung einer Reihe von Kuppelprodukten (Pyrolysebenzin, Propylen, Butylen, Butadien etc.) verbunden.

Bei der Hochtemperaturpyrolyse in Röhrenöfen werden gesättigte Kohlenwasserstoffe unter Zusatz von Wasserdampf durch Rohre geleitet, die von außen durch Gasbrenner oder ölbefeuerte Bodenbrenner beheizt werden. Das dabei entstehende Crackgas wird beim Verlassen des Ofens sofort durch indirekte Kühlung mit Speisewasser in den sogenannten Quenchkühlern abgekühlt und das Crackgasgleichgewicht am Ofenausgang dadurch eingefroren.

Strom wird in erster Linie für Kompressionsarbeit (Rohgas-, Ethylenkältekreislauf- und Propylenkältekreislauf-Kompressor) und für Pumparbeit (Quenchöl, Quenchwasser, Kesselspeisewasser) benötigt. Hierbei ist die Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs ganz entscheidend von der verwendeten Antriebsart abhängig. Während der spezifische Stromverbrauch alter, teilweise noch mit Kolbenkompressoren ausgestatteter Olefin-Cracker

bis zu 1800 kWh/t C₂H₄ betrug, konnte mit dem Übergang zu Dampfturbinenantrieben der spezifische Verbrauchswert drastisch gesenkt werden (Bild 3.24).

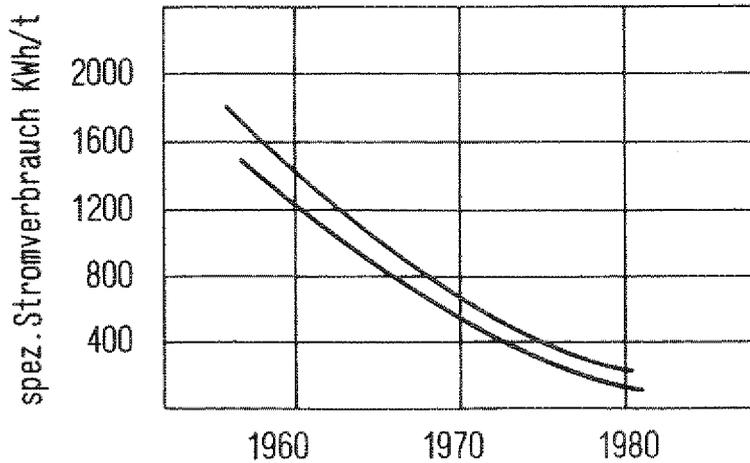


Bild 3.24: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs bei Ethylenanlagen /61/

Bedingt durch den starken Zubau von dampfintegrierten Anlagen mit einem 'Reststromverbrauch' von 50 - 150 kWh/t C₂H₂ (der Antrieb erfolgt über Abhitzeverwertung der Spaltgase in den Quenchkühlern und der Rauchgase zur Erzeugung von hochgespanntem und überhitztem Turbinendampf) verringerten sich die spezifischen Stromverbrauchswerte deutlich. Nach /60/ kann derzeit mit einem durchschnittlichen Wert von 100 kWh/t C₂H₄ gerechnet werden.

3.5.3.6.3 Stromverbrauch

Ein Teil der Ethylen-Produktion (1982 ca. 115.000 t C₂H₄) fällt als Kuppelprodukt in den Petro-Acetylen-Erzeugungsanlagen an. Diese Teilmenge wird nicht der Ethylen-Produktion zugerechnet, so daß nach entsprechendem Abzug für die Ethylen-Produktion 1982 ein relativ geringer Gesamtstromverbrauch von rd. 0,25 TWh veranschlagt werden kann. Hier zeigt sich deutlich, wie Substitutionsvorgänge innerhalb der organischen Grundstoffe in Verbindung mit rationeller Energierückgewinnung den absoluten und spezifischen Stromverbrauch in der chemischen Industrie beeinflusst haben.

3.5.3.6.4 Entwicklungstendenzen

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, daß der Trend, Zwischenprodukte der organischen Chemie vornehmlich auf Ethylen-Basis herzustellen, in den nächsten Jahren weiter anhalten wird. Aufgrund des relativ geringen spezifischen Stromverbrauchs werden sich auch größere Verschiebungen der Produktionsmenge nicht wesentlich auf den Gesamtstromverbrauch in der chemischen Industrie auswirken.

3.5.3.7 Syntheseammoniak (NH_3)

3.5.3.7.1 Überblick

Als wirtschaftlicher Stickstoffträger wird Ammoniak fast ausschließlich auf chemische Folgeprodukte (Düngemittel, Salpetersäure, Harnstoff etc.) weiterverarbeitet. Viele NH_3 -Herstellungsprozesse sind petrochemischen Komplexen angeschlossen, dort sind die Ausgangsprodukte der in Richtung H_2 -Erzeugung geeigneten Produkte zur Verfügung.

Während die Produktionsentwicklung im Verlauf der '70er Jahre bei durchschnittlich 2 Mio t NH_3 lag, war 1982 ein deutlicher Rückgang auf 1,57 Mio t NH_3 zu verzeichnen (vgl. Bild 3.23).

3.5.3.7.2 Herstellungsverfahren

Die Synthese aus den Elementen nach HABER-BOSCH ist derzeit das bedeutendste Verfahren, wobei die Ammoniaksynthese in drei Schritte unterteilt werden kann: Erzeugung und Reinigung des Syntheserohgases, Kompression des Wasserstoff-Stickstoff-Gemisches und schließlich die Synthesestufe. Verfahrensvarianten unterscheiden sich hauptsächlich in der ersten Stufe, hier sind verschiedene Grundprozesse zur Synthesegaserzeugung möglich. In der Bundesrepublik überwiegt das Steam-Reforming-Verfahren, Ausgangsstoffe sind Erdgas oder Naphtha, Luft und Wasserdampf /30/. Beim Verfahren der partiellen Oxidation wird schweres Heizöl eingesetzt.

Bei der Ammoniaksynthese wird überwiegend Energie zum Antrieb für Kreislauf- und Synthesegasverdichter benötigt. Nachdem zunächst überwiegend elektromotorische Antriebe mit hohem spezifischen Stromverbrauch (1900 - 2200 kWh/t NH₃) zum Einsatz kamen, ging man dazu über, als Antrieb für Synthesegas- und Kreislaufverdichter sowie Kühlungs- und Prozeßluftverdichter, Dampfturbinen zu verwenden. Der erforderliche Dampf wird beim Steam-Reforming-Prozeß durch die Wärmeabgabe der Rauchgase des Spaltofens, der Verbrennung des Rest-Methans im Sekundär-Reformer sowie der NH₃-Synthese selbst erzeugt.

Die Entwicklung der Ammoniaksynthese-Anlagen zu dampfintegrierten Anlagen hat den spezifischen Gesamtstromverbrauch drastisch gesenkt. Nach /60/ kann man derzeit mit einem 'Reststromverbrauch' von etwa 50 kWh/t NH₃ für den Betrieb von Nebenaggregaten rechnen.

3.5.3.7.3 Stromverbrauch

Während der Stromverbrauch für die Ammoniaksynthese im Verlauf der '60er Jahre noch auf einem Niveau von rund 2,5 TWh/a lag, ist der Verbrauch 1982 auf einen relativ bescheidenen Wert von ca. 60 GWh abgefallen. Diese Entwicklung ist weniger dem stagnierenden Produktabsatz als der starken Reduzierung der spezifischen Stromverbrauchswerten zuzuschreiben.

3.5.3.8 Aluminiumoxid, Butylen/Butadien, Methanol

Die produktbezogene Darstellung läßt sich für eine Vielzahl anderer Grundstoffe fortsetzen, an dieser Stelle sollen nur noch drei weitere Produkte angesprochen werden. Eine weitere Aufteilung ist im Rahmen der Arbeit nicht möglich.

Die Aufbereitung des Rohstoffs Bauxit zu Aluminiumoxid ist dem Bereich der chemischen Industrie, die anschließende Verhüttung dem NE-Metallsektor zugeordnet. Für den 1. Verfahrensschritt wird elektrische Energie zur Bereitstellung von Antriebskraft

benötigt (vgl. Kap. 3.4). Bei einem durchschnittlichen spezifischen Stromverbrauch von 300 kWh/t Al_2O_3 liegt der Gesamtstrom im Jahre 1982 bei rund 0,45 TWh.

Zur Herstellung der chemischen Grundstoffe Butylen und Butadien wird Elektrizität ebenfalls überwiegend als Antriebsenergie (Pumpen und Verdichter) benötigt. Nach /61/ liegt der spezifische Verbrauch zwischen 350 und 500 kWh/t Produkt, so daß sich bei einer Produktionsmenge von 1,14 Mio t für das Jahr 1982 ein Stromverbrauch von rund 0,45 TWh errechnet.

Auch die Methanolherstellung ist gekennzeichnet durch die Abkehr von stromintensiven Verfahrenstechniken. Mit dem Übergang von Hochdruckanlagen (450 - 1080 kWh/t CH_3OH) zu Niederdruckanlagen (ca. 75 kWh/t CH_3OH) durch Verwendung kupferhaltiger Katalysatoren ist eine deutliche Reduzierung des Kraftbedarfs verbunden. Die Abwärme des Steam Reformers wird u.a. zur Erzeugung und Überhitzung von Wasserdampf verwendet. Der Heißdampf wird zum Antrieb des Synthesegas- und Kreislaufgasverdichters, für Rauchgasgebläse, Luftgebläse und Speisewasserpumpe eingesetzt, so daß auch hier elektrische Antriebsenergie eingespart wird. Der Gesamtstromverbrauch der Methanolerzeugung errechnet sich für das Jahr 1982 zu rund 70 GWh und hat somit nur noch untergeordnete Bedeutung /61/.

3.5.3.9 Zusammenfassende Übersicht

In der nachstehenden Tab. 3.4 sind die oben erörterten Grundstoffe der chemischen Industrie mit spezifischen Stromverbrauchswerten, Produktionsziffern und dem überschlägigen Gesamtstromverbrauch für das Jahr 1982 dargestellt. Parallel zu Tab.3.4 zeigt Bild 3.25 in welchem Umfang die behandelten Grundstoffe den Strombedarf der chemischen Industrie erklären.

Produkte	spez. Stromverbrauch	Produktion in t (1982)	result. Stromverbrauch	Prozeß- wärme- anteil
ANORGANICA				
Chlor	1600-3600 KWh/t Cl ₂	2.842.262	9,80 TWh**	97 %
Phosphor	14100 KWh/t gelb.P	80.000*	1,13 TWh	90 %
Calciumcarbid	3200 KWh/t CaC ₂	400.000*	1,28 TWh	92 %
Sauerstoff	0,55-0,77 KWh/Nm ³ O ₂	3,95 · 10 ⁹ Nm ³	3,18 TWh	/
Aluminiumoxid	250-400 KWh/t Al ₂ O ₃	1.509.866	0,45 TWh	/
ZWISCHENSUMME 1			15,84 TWh	
ORGANICA				
Acetylen	300-13100 KWh/t C ₂ H ₂	186.999	1,30 TWh**	64 %
Ethylen	ca. 100 KWh/t C ₂ H ₄	2.640.158	0,25 TWh**	/
Butadien/Buthylen	350-500 KWh/t Produkt	1.145.174	0,45 TWh	/
Methanol	60-600 KWh/t Produkt	708.787	0,07 TWh	/
ZWISCHENSUMME 2			2,07 TWh	
Syntheseammoniak	ca. 50 KWh/t NH ₃	1.570.086	0,07 TWh	
Produktbezogene GESAMTSUMME			17,98 TWh	ca. 12,5 TWh

*) Schätzwert **) unter Berücksichtigung versch. Verfahrensanteile bzw. Koppelprodukte

Tab. 3.4: Spezifischer Stromverbrauch, Produktionsziffern und überschlägiger Gesamtstromverbrauch wichtiger Chemiegrundprodukte im Jahre 1982

Herausragende Bedeutung für den Stromverbrauch haben praktisch die vier anorganischen Grundprodukte, wobei in erster Linie die Chloralkali-Elektrolyse zu nennen ist. Im Bereich der Anorganica findet sich auch der wesentliche Anteil des Prozeßwärme- bzw. Elektrolysestroms. Die Differenz zwischen produktbezogenem Stromverbrauch und Gesamtverbrauch zur Herstellung von chemischen Grundstoffen (Sypro-Nr. 4031) von rund 14 TWh dürfte überwiegend der Bereitstellung von Antriebskraft dienen.

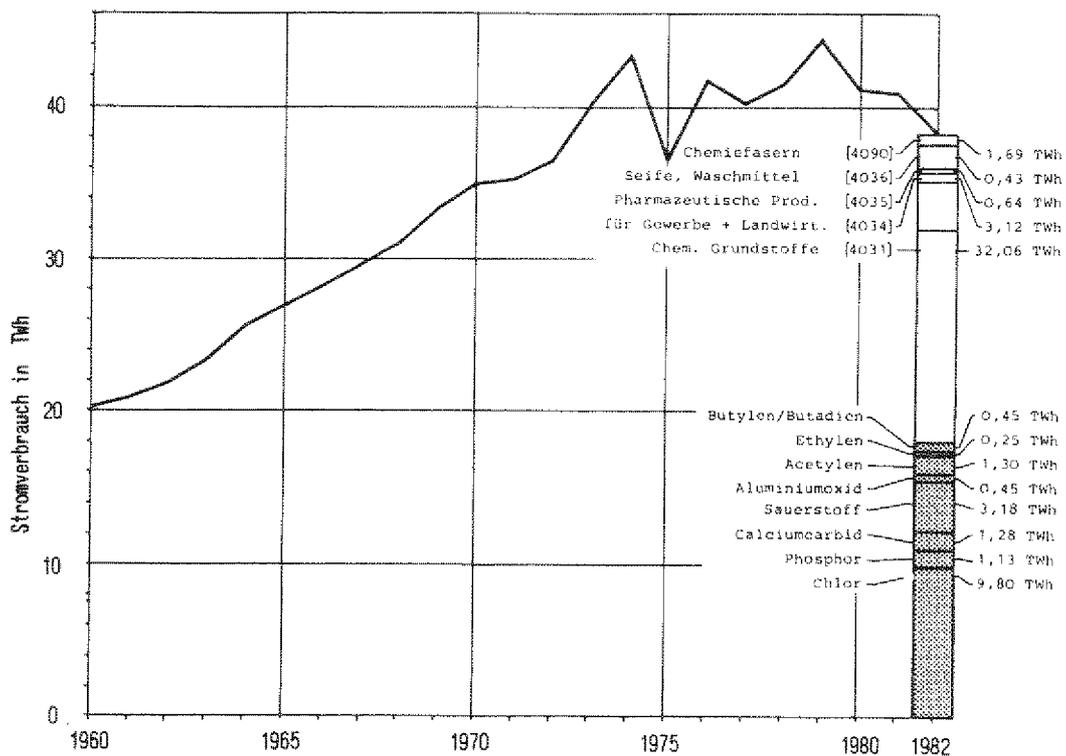


Bild 3.25: Detaillierung des Stromeinsatzes in der chemischen Industrie /22/ und eigene Berechnung

3.5.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung

Im Jahre 1982 wurden trotz rückläufiger Tendenz noch gut 40 % (15,5 TWh) des benötigten Stromeinsatzes selbst erzeugt (Bild 3.26). Dies dokumentiert die Bedeutung der Eigenstromerzeugung in der chemischen Industrie.

Der in zahlreichen chemischen Produktionsanlagen gleichzeitig vorhandene Dampf- und Strombedarf, hohe Benutzungsdauer und eine starke räumliche Konzentration der Betriebe haben zu einer bevorzugten Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung mit Gegendruck- und Entnahme-Kondensationsanlagen geführt. Auch die Gasturbinenanlagen werden überwiegend mit Abhitzeessel zur kombinierten Strom- und Dampferzeugung eingesetzt. Um die betriebliche

Energieversorgung variabler zu gestalten, wurde zu Beginn der '70er Jahre eine Umstellung von reinen Kondensationsanlagen auf Entnahmekondensationsanlagen durchgeführt.

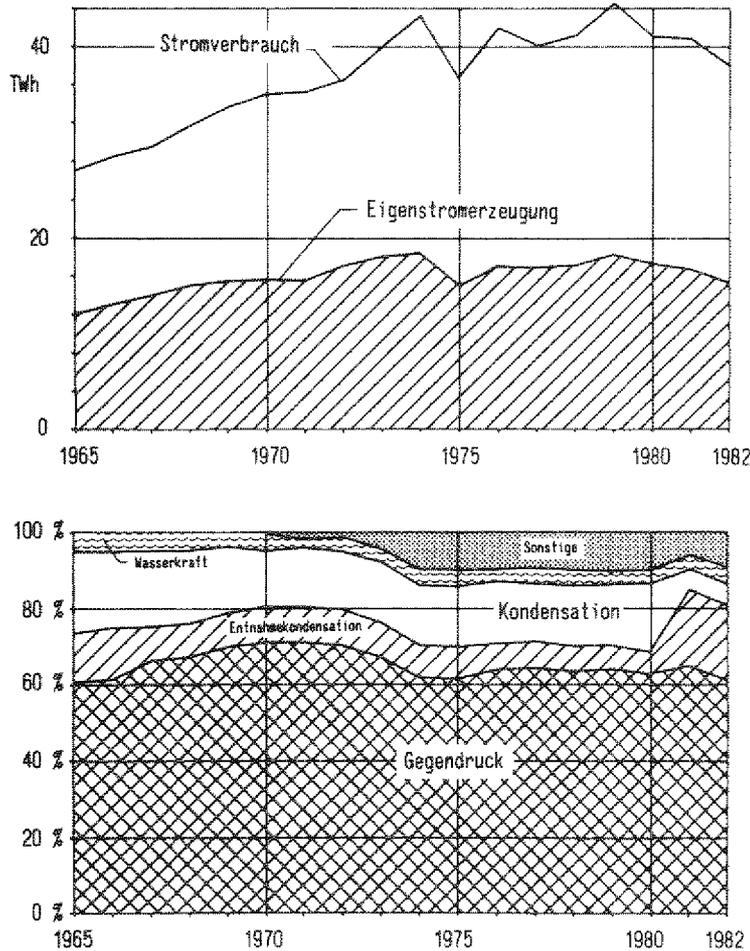


Bild 3.26: Entwicklung der Eigenstromerzeugung und
Detaillierung nach Antriebsmaschinen in
der chemischen Industrie von 1965-1982
/15, 22, 67/

Die in der Chemie durchgeführten Wärmesparmaßnahmen (Dampfeinsparungen) und die verstärkte Abwärmenutzung zur Dampferzeugung blieben nicht ohne Einfluß auf die Kraft-Wärme-Kopplung. Aufgrund des verminderten Dampfbedarfs bei erhöhtem Dampfangebot geht die Eigenstromerzeugung auf KWK-Basis zurück. Nach /68, 69/ führen die Dampfeinsparungen zwangsläufig zu einem höheren Fremdstrombezug, so daß der verringerte Brennstoffeinsatz

teilweise durch den eingekauften Fremdstrom preislich überkompensiert wird. Diese Entwicklung wurde noch durch den bis 1974 stetig ansteigenden Stromverbrauch verstärkt. Es liegt nahe, daß von dieser Entwicklung hemmende Impulse auf den Elektrizitätseinsatz in der chemischen Industrie ausgehen.

Um den Verlust aus KWK-Stromerzeugung aufgrund verbesserter Abwärmenutzung auszugleichen, bieten sich der chemischen Industrie verschiedene Möglichkeiten. Zunächst ist man grundsätzlich bemüht, den Stromverbrauch durch veränderte Prozeßführung und technische Verbesserungen zu reduzieren. Z.B. werden Verfahren mit hohem Druckniveau durch Verfahren mit niedrigem Druckniveau ersetzt, oder man wählt dampfangetriebene Arbeitsmaschinen anstelle von elektrischen Großmotoren. Weitere Möglichkeiten liegen in dem Einsatz von KWK-Anlagen mit größerer bzw. variabler Stromkennzahl, in Bild 3.26 ist die deutliche Zunahme der Gasturbinenanlagen (unter 'Sonstige') zu erkennen.

3.5.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Die chemische Industrie war im Jahre 1982 mit 38 TWh der größte industrielle Stromverbraucher. Bis zum ersten Ölpreissprung 1973/74 konnte dieser Sektor einen fast linearen Anstieg des Stromverbrauchs um insgesamt 115 % (bezogen auf 1960) verzeichnen. Dies begründete sich in dem gestiegenen Automatisierungsgrad der Produktion und dem Nachfrageanstieg für chemische Grundstoffe, die z.T. mit stromintensiven Verfahren hergestellt werden.

Die seit 1974 recht zurückhaltende Entwicklung des Stromverbrauchs ist neben einer stagnierenden Nachfrage für chemische Grundprodukte sowohl auf Strukturverschiebungen zu weniger energie- bzw. stromintensiven Produkten, als auch auf einen deutlichen Trend zu Stromeinsparungen zurückzuführen. Dies dokumentiert sich in einem rückläufigen spezifischen Stromverbrauch von 1190 kWh im Jahre 1960, 838 kWh im Jahre 1970 auf schließlich 604 kWh im Jahre 1982, jeweils bezogen auf 1000 DM Nettoproduktionswert (in const. Preisen von 1976).

Die zukünftige Entwicklung wird besonders von den stromintensiven Basisprodukten (Chlor, Phosphor, Calciumcarbid, Sauerstoff und Acetylen) bestimmt. Diese 5 Produkte erklärten 1982 rund 44 % (16,7 TWh) des Stromeinsatzes in der Chemie. Im einzelnen lassen sich hier folgende Aussagen machen:

Chlor wird derzeit mit konkurrenzloser elektrischer Verfahrenstechnik gewonnen. Innerhalb der alternativen elektrischen Verfahren werden sich Verschiebungen der Verfahrensanteile auf den spezifischen Stromverbrauch pro t Chlor nicht wesentlich auswirken, so daß die zukünftige Entwicklung in erster Linie durch die Produktion bestimmt wird. Hierbei ist zu beachten, daß Veränderungen von 300.000 t (Gesamtproduktion 1982 rd. 2,8 Mio t Chlor) schon einen Mehr- bzw. Minderverbrauch von 1 TWh bedeuten.

Phosphor wird in der Bundesrepublik ebenfalls mit einem elektrotechnologischen Verfahren hergestellt, Konkurrenzverfahren kamen bislang aufgrund technischer Schwierigkeiten und fehlender Wirtschaftlichkeit nicht zum Einsatz. Die spezifischen Verbrauchswerte der elektrischen Reduktionsöfen sind verfahrenstechnisch relativ fixiert, so daß sich der zukünftige Stromverbrauch an der Phosphorproduktion orientieren wird.

Calciumcarbid wird ausschließlich im Lichtbogen-Reduktionsofen hergestellt. Der spezifische Stromverbrauch von 3200 kWh/t CaC_2 könnte zukünftig um bis zu 10 % reduziert werden. Die Produktionsentwicklung ist davon abhängig, wie sich die in der Vergangenheit abzeichnende Substitution carbid-acetylenabhängiger Verfahren gestalten wird. Darüber hinaus ist ein möglicher Einsatz anderer Verfahrenstechnologien (z.B. sauerstoffthermisches Schachtofenverfahren) zu berücksichtigen.

Für die Sauerstofferzeugung gibt es eine Vielzahl von Verfahren, wobei sich die LINDE-Luftverflüssigung durchgesetzt hat. Änderungen in der Verfahrenstechnik sind vorerst nicht zu erwarten. Bei weitestgehend fixierten spezifischen Stromverbrauchswerten ist der absolute Stromverbrauch somit auch hier von der zukünftigen Sauerstoffproduktion abhängig.

Im Gegensatz zu den bisher angesprochenen Produkten geschieht die Acetylenproduktion nach verschiedenen Verfahrenswegen. Aufgrund der hohen Stromintensität ist für den zukünftigen Stromverbrauch der Marktanteil des CWH-Lichtbogenofens entscheidend. Es wird davon ausgegangen, daß dieses Verfahren langfristig an Bedeutung verlieren wird. Auch dürfte sich die bislang abzeichnende Substitution von Acetylen durch Ethylen weiter fortsetzen.

Mit Ausnahme der Sauerstofferzeugung ist mit diesen Produkten gleichzeitig der wesentliche Anteil des Stromeinsatzes für Prozeßwärmezwecke in der chemischen Industrie aufgezeigt.

Der restliche Anteil des Stromeinsatzes wird im wesentlichen zur Deckung des Kraftbedarfs eingesetzt. Die bisherige Entwicklung läßt insbesondere bei großtechnischen Verfahren Tendenzen erkennen, elektrische Antriebsenergie durch den Einsatz von Dampfturbinenantrieben über prozeßinterne Abhitzeverwertung zur Erzeugung von hochgespanntem und überhitztem Turbinendampf zu substituieren. Markante Beispiele sind hier die Ethylen- und Ammoniakherzeugung.

Als leicht gegenläufige Tendenz deutet sich ein Mehrverbrauch der elektrischen Antriebsenergie für Maßnahmen des Umweltschutzes (Kläranlagen, Schlamm-aufbereitungsanlagen etc.) und des Produktrecyclings an.

Ein zusätzliches Hemmnis für die verstärkte Elektrizitätsnutzung in der chemischen Industrie ist in den Wärmesparmaßnahmen (größtenteils Dampfeinsparungen im Produktionsprozeß) und der verstärkten Abwärmenutzung zur Dampferzeugung zu finden. Aufgrund des verminderten Dampfbedarfs bei erhöhtem Dampfangebot ging die Eigenstromerzeugung auf KWK-Basis zurück. Dies führte zu einem höheren Fremdstrombezug mit teilweise höheren Kosten als bei gekoppelter Dampf- und Stromproduktion.

Der bisherige Trend zu Stromeinsparungen dürfte somit auch zukünftig vorherrschend sein, so daß insgesamt eine eher zurückhaltende Entwicklung der absoluten Stromverbrauchswerte möglich erscheint.

3.6 INDUSTRIE STEINE UND ERDEN

3.6.1 Überblick

Die Industrie Steine und Erden gehörte im Jahre 1982 mit 6,9 Mio t SKE, das entsprach 9 % des industriellen Endenergieverbrauchs, zu den energieintensivsten Sektoren im Verarbeitenden Gewerbe. Mit einem Stromverbrauch von 6,4 TWh war sie auch zu den industriellen Stromgroßverbrauchern zu zählen.

Statistisch wird die Branche Steine und Erden in 22 Wirtschaftszweige mit heterogener Betriebsstruktur und einer Vielzahl unterschiedlicher Produkte unterteilt. Die für eine energetische Betrachtung wichtigsten Zweige sind in nachstehender Tab. 3.5 aufgezeigt.

	Anteil am EEV des Sektors	Anteil am Stromverbrauch des Sektors
H.v.Zement [2531]	49,9 %	48,2 %
H.v.Kalk [2535]	12,3 %	7,6 %
Ziegelei [2541]	14,1 %	9,0 %
Σ	76,3 %	64,8 %

Tab. 3.5: Energieintensive Wirtschaftszweige der Industrie
Steine und Erden im Jahre 1982
/22/ und eigene Berechnung

Diese drei Wirtschaftszweige haben am gesamten Endenergieverbrauch dieses Sektors einen Anteil von mehr als 75 %. Es werden hier große Energiemengen in Form von Prozeßwärme unmittelbar in der Produktion benötigt. Ihr Anteil am Gesamtstromverbrauch der Industrie Steine und Erden beträgt knapp 65 %. Der verbleibende Anteil von 35 % entfällt auf die übrigen 19 Wirtschaftszweige.

Die Eigenstromerzeugung bzw. Kraft-Wärme-Kopplung ist in diesem Sektor relativ bedeutungslos, so daß auf eine Erörterung verzichtet wird.

3.6.2 Produktionsentwicklung und vorherrschende Verfahrenstechnik

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Wirtschaftszweige und der Heterogenität der Produkte kann im Rahmen der Arbeit nur der Nettoproduktionswert als Ausdruck für die wirtschaftliche Aktivität dieses Sektors herangezogen werden. In Bild 3.27 ist die Entwicklung des Nettoproduktionswertes seit 1960 dargestellt. Es zeigt sich deutlich die starke Bindung an einen Marktpartner (etwa 90 % der Produktion werden an die Bauwirtschaft abgesetzt), so daß die wirtschaftliche Entwicklung der Industrie Steine und Erden in Anlehnung an die des Baugewerbes erfolgt.

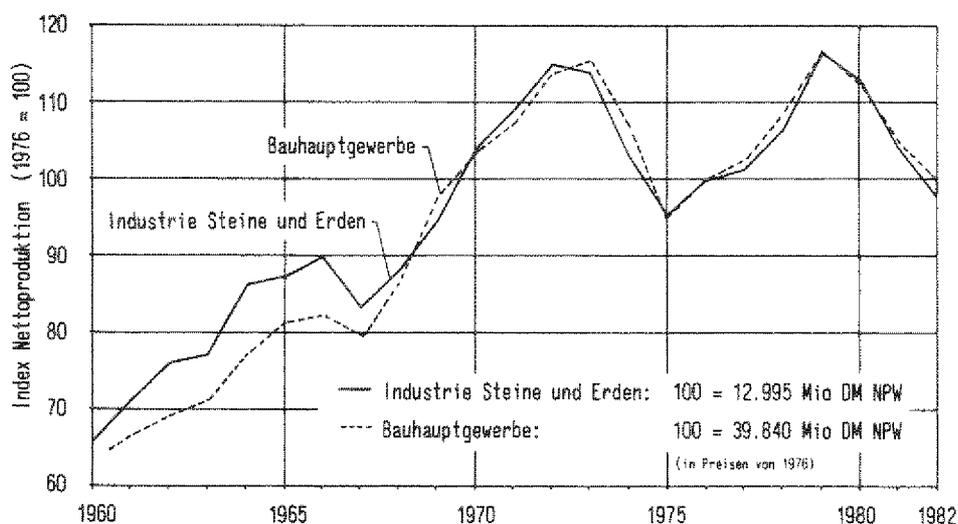


Bild 3.27: Entwicklung des Nettoproduktionswertes der Industrie Steine und Erden und des Bauhauptgewerbes von 1960-1982 /2/

Die wichtigsten Arbeitsgänge bei der Herstellung von Zement, Kalk und Ziegelprodukten sind Rohstoffaufbereitung, Mahlen und Mischen, Brennen und Transportieren. Bis auf den Brennvorgang wird für die anderen Arbeitsgänge in erster Linie mechanische

Antriebsenergie benötigt. Das Brennen ist der energieintensivste Prozeß, wobei der Wärmebedarf für die Stoffumwandlungen je nach Produkt zwischen einem Temperaturniveau von 1100 bis 1400 °C schwankt. Er wird überwiegend in Schacht-, Drehrohr- und Tunnelöfen durch direkte Befuerung gedeckt.

3.6.3 Entwicklung des Energieverbrauchs

Der Produktionstechnik entsprechend zeigt Bild 3.28 die überragende Bedeutung der festen, flüssigen und gasförmigen Energieträger.

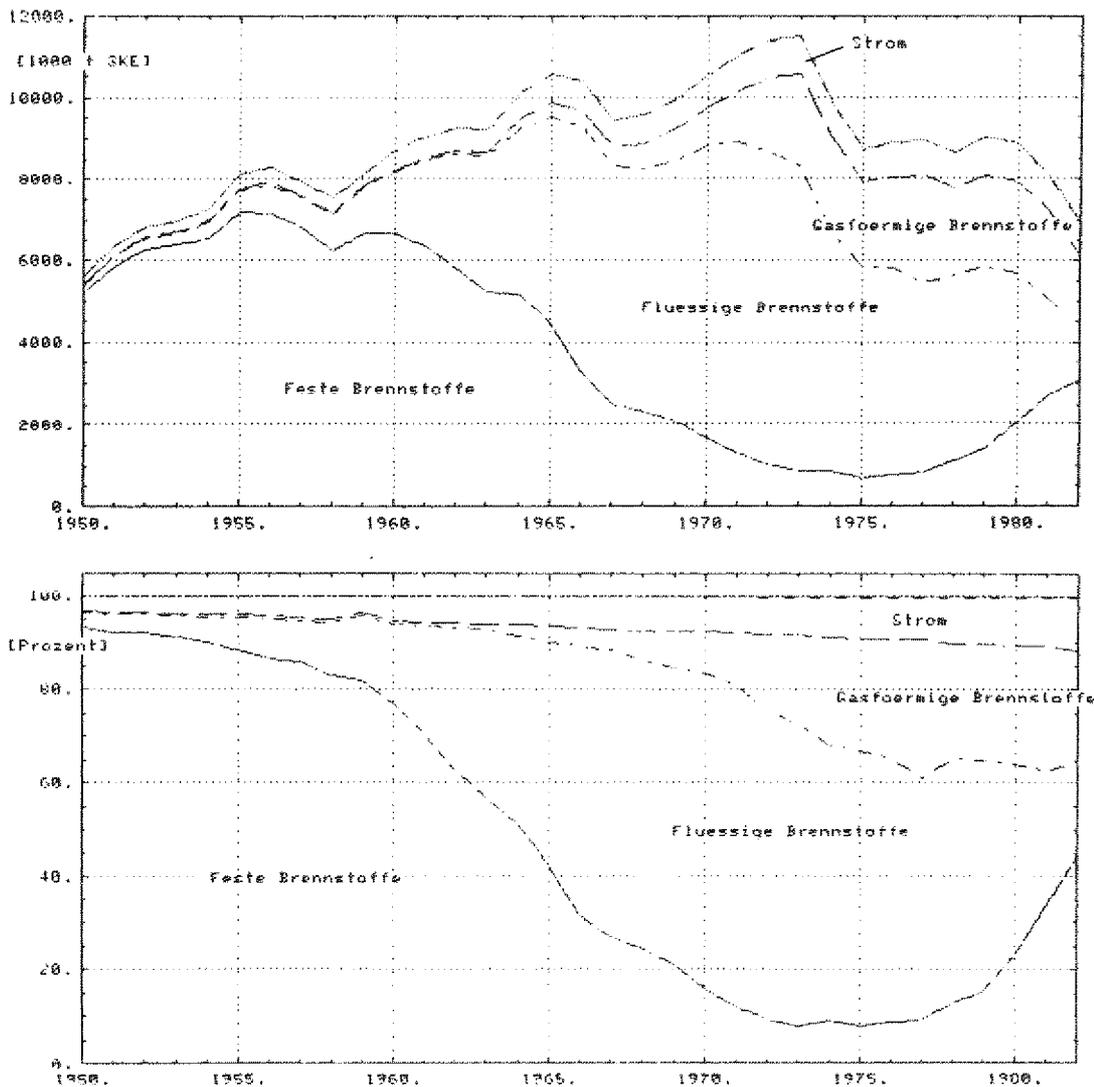


Bild 3.28: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Endenergieträgerstruktur in der Industrie Steine und Erden von 1950-1982 /1/

Innerhalb der Brennstoffe zeichnete sich nach der ersten Ölpreiskrise eine Resubstitution durch Kohle ab. Insbesondere schweres Heizöl und teilweise auch Erdgas wurden durch Kohlestaub ersetzt. Obwohl der absolute Endenergieverbrauch seit 1973 um 40 % zurückgegangen ist, ist der Stromverbrauch stetig angewachsen. In den letzten 20 Jahren hat sich der Elektrizitätseinsatz nahezu verdoppelt, der Anteil am Endenergieverbrauch dieses Sektors betrug 1982 ca. 11 %.

In der Industrie Steine und Erden konnte der spezifische Brennstoffverbrauch von 1960 bis 1982 um mehr als 50 % gesenkt werden (Bild 3.29). Der spezifische Stromverbrauch weist nach einem leichten Anstieg in den letzten 10 Jahren praktisch keine ausgeprägten Veränderungstendenzen mehr auf.

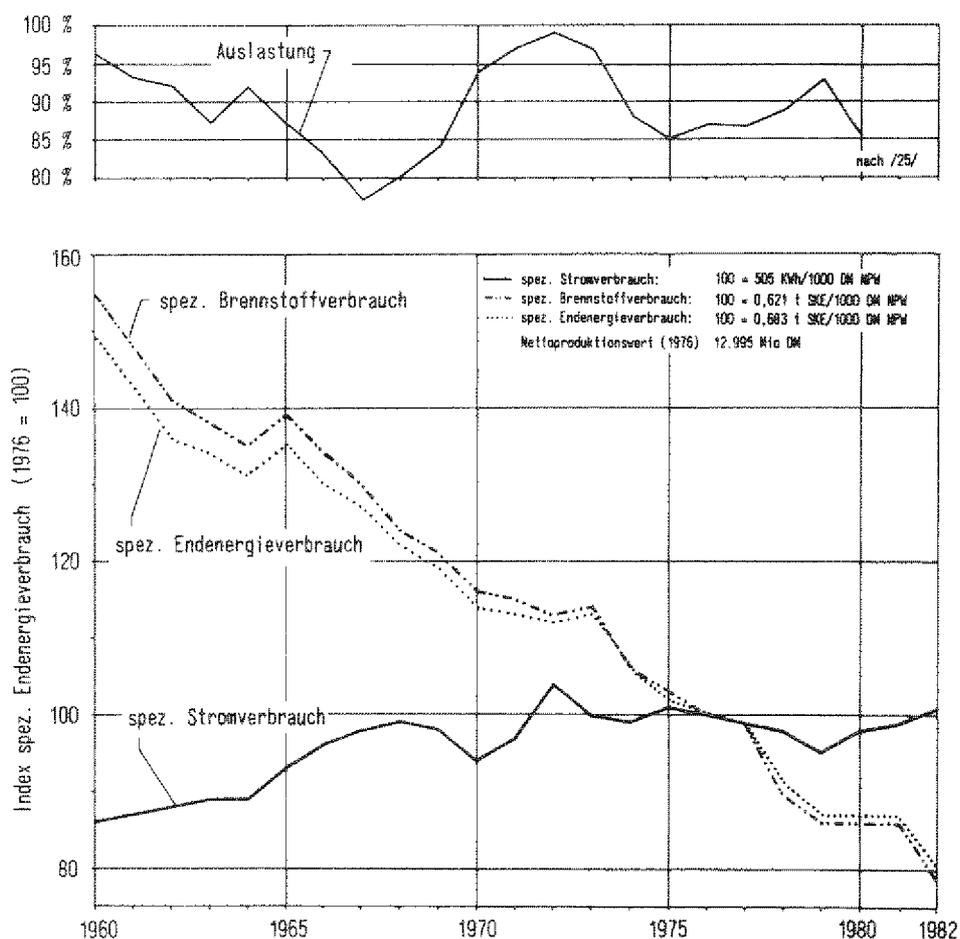


Bild 3.29: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in der Industrie Steine und Erden von 1960-1982 /1,2/

Als Bezugsgröße für die Gesamtbranche muß aufgrund der Inhomogenität der Erzeugnisse der Nettoproduktionswert gewählt werden. Es läßt sich aber zeigen, daß für die drei bestimmenden Wirtschaftszweige die Entwicklungstendenzen der spezifischen Verbrauchswerte sich jeweils auch produktbezogen so verhalten, wie mit Bild 3.29 global dargestellt ist /70/. Auf diese detaillierte Darstellung wird im Rahmen der Arbeit verzichtet.

3.6.4 Detaillierung des Stromeinsatzes

3.6.4.1 Gesamtüberblick

Bild 3.30 zeigt, daß auf die Zementherstellung fast die Hälfte des gesamten Stromverbrauchs entfällt, und diese Branche somit der stromintensivste Wirtschaftszweig der Industrie Steine und Erden ist.

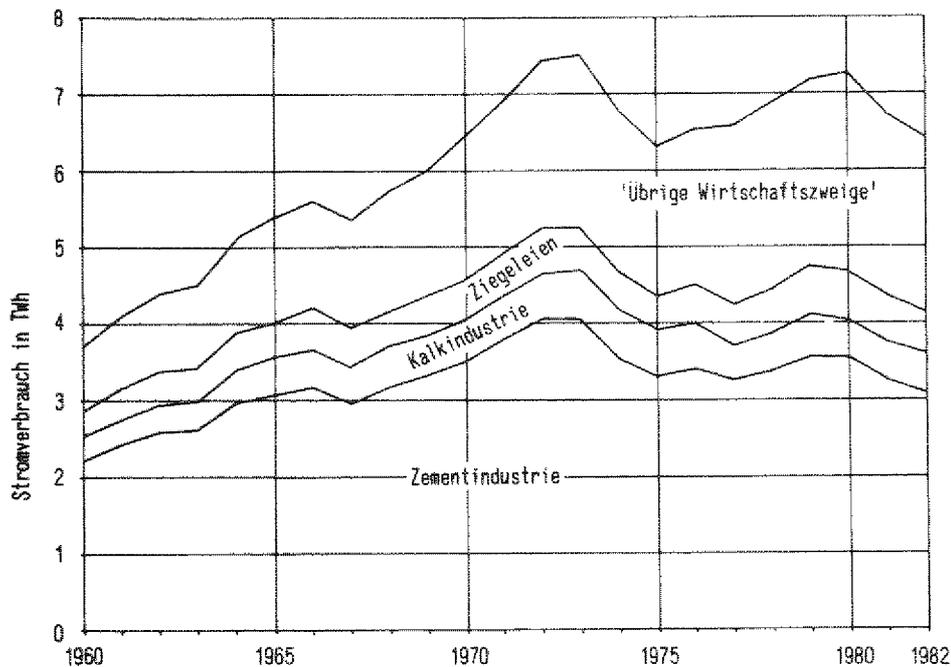


Bild 3.30: Entwicklung und Detaillierung des Stromverbrauchs in der Industrie Steine und Erden von 1960-1982 /22/

Wesentliche Anteile entfallen auch noch auf die Kalkindustrie und die Ziegeleien. Der restliche Anteil von gut einem Drittel des Gesamtstromverbrauchs verteilt sich in etwa gleichmäßig auf die verbleibenden 19 Wirtschaftszweige, die allerdings im

letzten Jahrzehnt deutliche Zuwachsraten des Stromverbrauchs infolge wachsendem Kraftbedarf für Transport und Mechanisierung zu verzeichnen hatten.

3.6.4.2 Zementindustrie

Die Herstellung von Zement kann prinzipiell nach dem Naß- oder Trockenverfahren geschehen. Beide Verfahren unterscheiden sich grundsätzlich dadurch, daß Ausgangsstoffe mit unterschiedlichem Wassergehalt Verwendung finden. Das Naßverfahren ist aufgrund des hohen Wassergehaltes der Rohstoffe sehr wärmeintensiv und wurde mit zunehmender Bedeutung der Energie größtenteils durch das Trockenverfahren ersetzt. In Bild 3.31 ist der vereinfachte Verfahrensablauf der Zementherstellung dargestellt.

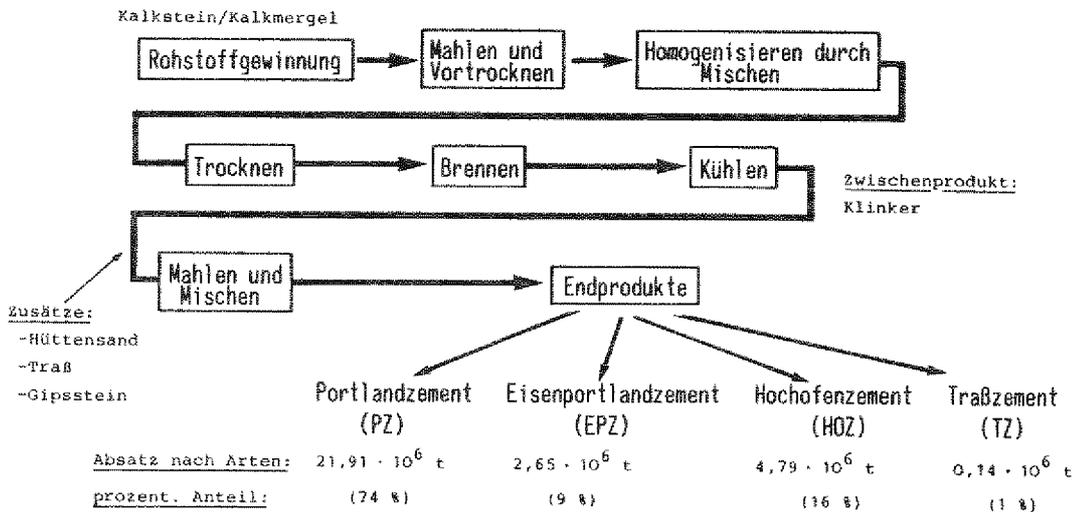


Bild 3.31: Vereinfachter Verfahrensablauf der Zementherstellung (Trockenverfahren) und Zementproduktion nach Sorten im Jahre 1981

Während Brennstoffe bei der Zementherstellung nur im Ofenbereich zur Stoffumwandlung und zur Vortrocknung des Rohstoffs eingesetzt werden, wird Elektrizität als Antriebsenergie bei fast allen Verfahrensschritten benötigt. Am stromintensivsten ist hier der Mahlprozeß für den Rohstoff und die Zementklinker, der 60 bis 70 % des Gesamtstromverbrauchs dieses Wirtschaftszweiges ausmachen kann /70,71/.

Für die Zementmahlung werden derzeit überwiegend Kugelmöhlen eingesetzt, die mit einem recht geringen Wirkungsgrad arbeiten /72/. Neuere Untersuchungen beschäftigen sich mit alternativen Mahlverfahren, die eine deutlich höhere Ausnutzung der elektrischen Antriebsenergie ermöglichen.

Als Richtwert ist mittlerweile eine elektrische Energie von 100 bis 110 kWh/t Zement erforderlich. Der spezifische Verbrauch ist in der Vergangenheit leicht angestiegen. Dies ergab sich im Verlauf der '60er und '70er Jahre in erster Linie durch den Einsatz neuerer Ofentypen (Zyklonvorwärmofen), damit war gleichzeitig ein zusätzlicher Strombedarf für den Betrieb verschiedener Nebenaggregate verbunden.

Abweichungen von den spezifischen Durchschnittswerten können sich bei verschiedenen Zementarten ergeben. Z.B. werden bei der Herstellung von Eisenportlandzement bis zu 40 % und beim Hochofenzement bis zu 85 % Hochofenschlacke gemeinsam mit PZ-Klinkern feingemahlen. Da der Strombedarf für die Prozeßschritte vor der Zementmahlung bei der Hochofenschlacke entfällt, haben diese Zementarten einen geringeren spezifischen Stromverbrauch.

Die zukünftige Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs in der Zementindustrie wird in erster Linie durch den Mahlprozeß bestimmt. Hier sind zwei gegenläufige Tendenzen zu erkennen. Neben energetisch günstigerer Mahltechnik, z.B. in Walzmöhlen, könnten sich auch Fragen der Qualitätsanforderung auf den Stromverbrauch auswirken /73/. Die Möglichkeit, durch Mahlen zu größeren Feinheiten mit weniger Zement Beton gleicher Festigkeit herzustellen, würde zwar zu einem etwas höheren Stromeinsatz führen, insgesamt könnte aber über eine Reduzierung der Zementproduktion Energie eingespart werden.

Nach /10,73/ läßt die Entwicklungstendenz des spezifischen Stromverbrauchs bei der Zementherstellung zunächst keine weitere Steigerung erkennen, so daß der absolute Verbrauch in erster Linie durch die zukünftige Produktion bestimmt wird.

3.6.4.3 Kalkindustrie, Ziegeleien

Die Aufbereitungs- und Brennanlagen in der Kalkindustrie ähneln denen der Zementindustrie, auch hier wurde und wird Strom überwiegend für den Kraftbedarf (Mischen, Zerkleinern, Mahlen, Transportieren etc.) benötigt. Da es in der Kalkindustrie noch viele kleinere Werke gibt, die mit älteren Schachtbrennöfen arbeiten, wird der sich abzeichnende Übergang zu Drehöfen mit einem etwas höheren Kraftverbrauch verbunden sein /48/. Zunehmender Stromeinsatz ist auch durch weitere Mechanisierung der Prozesse zu erwarten.

In den Ziegeleien wird abgesehen von der Aufbereitung der Rohstoffe zusätzlich Kraft für den Antrieb der Preß- und Formmaschinen benötigt. Im Verhältnis zum Brennstoffeinsatz ist allerdings in diesen Zweigen der Stromverbrauch von untergeordneter Bedeutung (Faktor 10 bis 20).

3.6.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Die Elektrizität war im Jahre 1982 mit einem Anteil von rund 11 % an der Endenergiebedarfsdeckung der Industrie Steine und Erden beteiligt. Dies dokumentiert die untergeordnete Bedeutung des Stromeinsatzes innerhalb des Sektors. Dennoch war dieser Wirtschaftszweig mit einem Stromverbrauch von 6,4 TWh im Jahre 1982 zu den industriellen Stromgroßabnehmern zu zählen.

Der Anstieg des Elektrizitätseinsatzes ist auf die Zunahme des Kraftstrombedarfs für die verschiedenen Antriebsmotoren der Transportbänder, Mahl-, Zerkleinerungs- und Preßmaschinen zurückzuführen. Der Prozeßwärmebedarf wird fast ausschließlich über Brennstoffe gedeckt. Größter Stromverbraucher in diesem Sektor mit 22 Wirtschaftszweigen ist mit fast 50 %-Anteilen die Zementindustrie, desweiteren sind noch die Kalkindustrie und die Ziegeleien mit 8 bzw. 9 %-Anteilen zu nennen.

Der leichte Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs im Verlauf der '60er Jahre ist überwiegend auf zunehmende Mechanisierung der Betriebe zurückzuführen. Die derzeitige Entwicklungstendenz läßt keine weitere Steigerung erkennen, der absolute Verbrauch wird somit hauptsächlich durch die Produktion bestimmt.

3.7 ZELLSTOFF-, PAPIER- UND PAPPEERZEUGUNG

3.7.1 Überblick

Mit rund 3,5 Mio t SKE zählt die Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung im Jahre 1982 zu den bedeutenden industriellen Endenergieverbrauchern. Der Stromverbrauch lag bei 8,2 TWh, das entsprach ca. 6 % des gesamten Industriestromverbrauchs. Etwa die Hälfte des Stromverbrauchs wurde überwiegend in KWK-Anlagen eigenerzeugt.

3.7.2 Produktionsstruktur

Die Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung, im folgenden vereinfachend Papiererzeugung genannt, kann als zweistufige Branche angesehen werden. Hierzu zeigt Bild 3.32, daß die Produktion sowohl die Ausgangsstoffe Zellstoff und Holzschliff als auch die eigentliche Weiterverarbeitung zu Papier und Pappe umfaßt. Dies geschieht oft im Produktionsverbund, man spricht dann von integrierten Betrieben.

Der Ausgangsstoff für die Papier- und Pappeherstellung setzt sich aus den drei Basiskomponenten Zellstoff, Holzschliff, Altpapier sowie Füllstoff und Leim zusammen. Je nach Funktion und Qualität des zu produzierenden Papiers variiert die Zusammenstellung.

Infolge der vielfach integrierten Betriebe unterteilt die energetische Statistik nicht nach Sparten, so daß zur Detaillierung des Stromverbrauchs eine Rückrechnung mit den jeweiligen spezifischen Verbrauchswerten der Zellstoff-, Holzschliff- bzw. Papier- und Pappeerzeugung erforderlich ist.

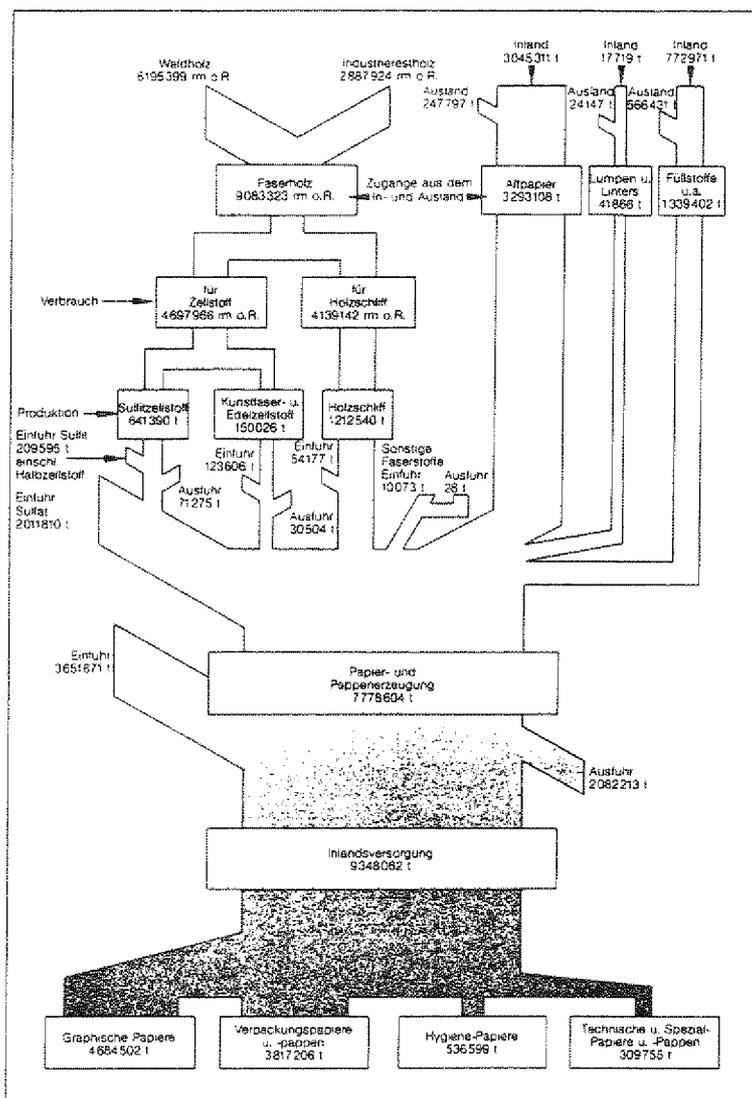


Bild 3.32: Aufbau und Produktionszahlen der Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung im Jahre 1982 /74/

3.7.3 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion

Die Papiererzeugung benötigt als Prozeßenergie Heißluft, Dampf und Strom. Während Elektrizität in erster Linie den Licht- bzw. Kraftbedarf abdeckt, dienen die fossilen Energieträger überwiegend zur Dampferzeugung. Bild 3.33 zeigt, daß sich seit 1950 erhebliche Anteilsverschiebungen innerhalb der Brennstoffe

ergeben haben. Steinkohle wurde durch schweres Heizöl und dieses wiederum durch Erdgas substituiert. Gleichzeitig konnte die Elektrizität ihren Marktanteil stetig ausweiten, sie trug 1982 zu fast einem Drittel zur Endenergiebedarfsdeckung dieses Sektors bei.

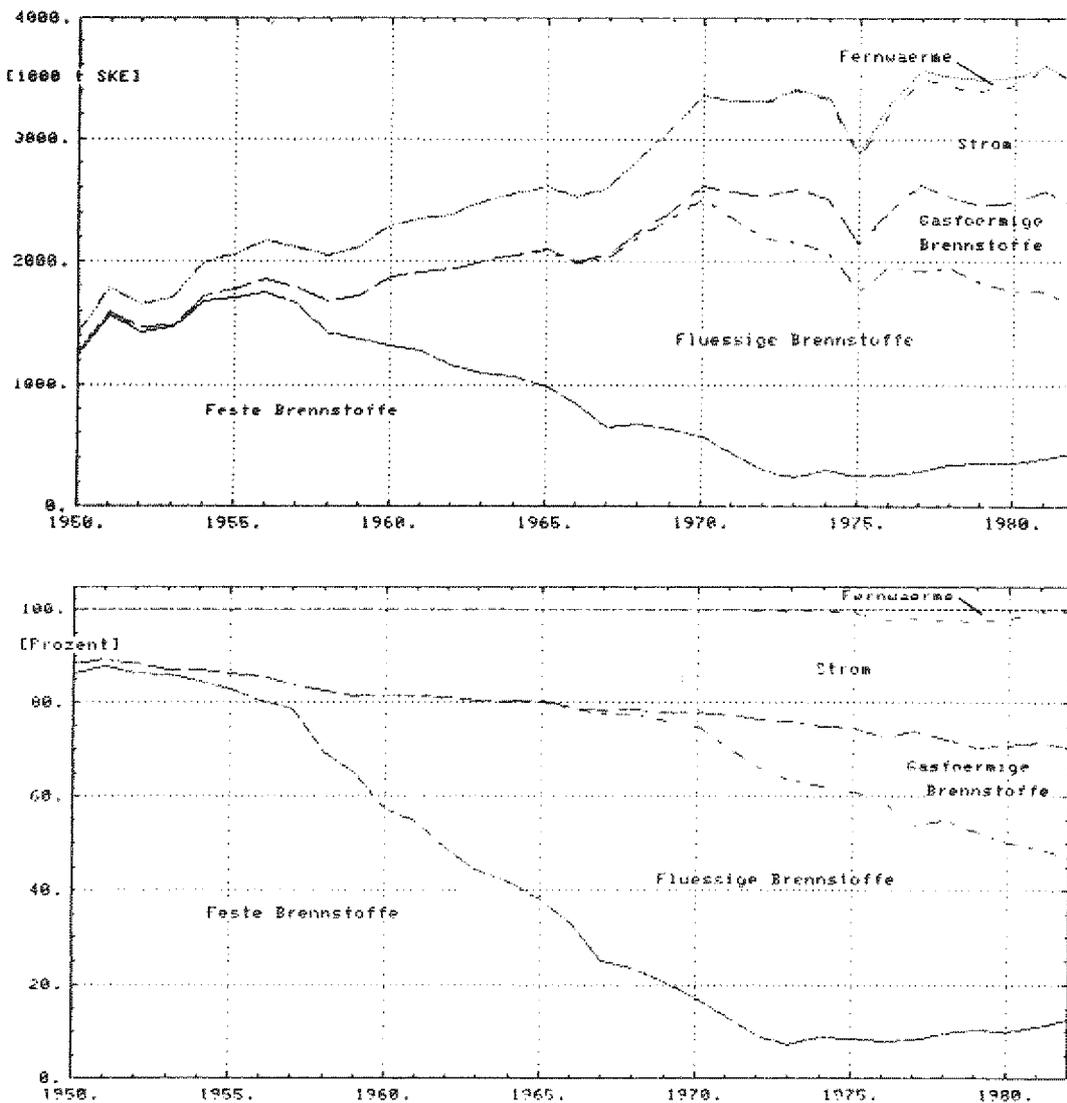


Bild 3.33: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der Zellstoff-, Papier- und Pappherzeugung von 1950-1982 /1/

Die Darstellung der spezifischen Verbrauchswerte (Bild 3.34) mit dem Nettoproduktionswert als Bezugsgröße zeigt für die fossilen Energieträger nach 1970 eine starke Reduktion. Diese Entwicklung ist in Verbindung mit dem in den '70er Jahren vollzogenen 'Strukturbereinigungsprozeß' zu sehen. In dieser

Zeit ging die Zahl der Betriebe um rund ein Drittel zurück. Veraltete und unrentable Produktionsstätten wurden geschlossen, während die weitergeführten Betriebe ihre bestehenden Anlagen modernisierten /10/.

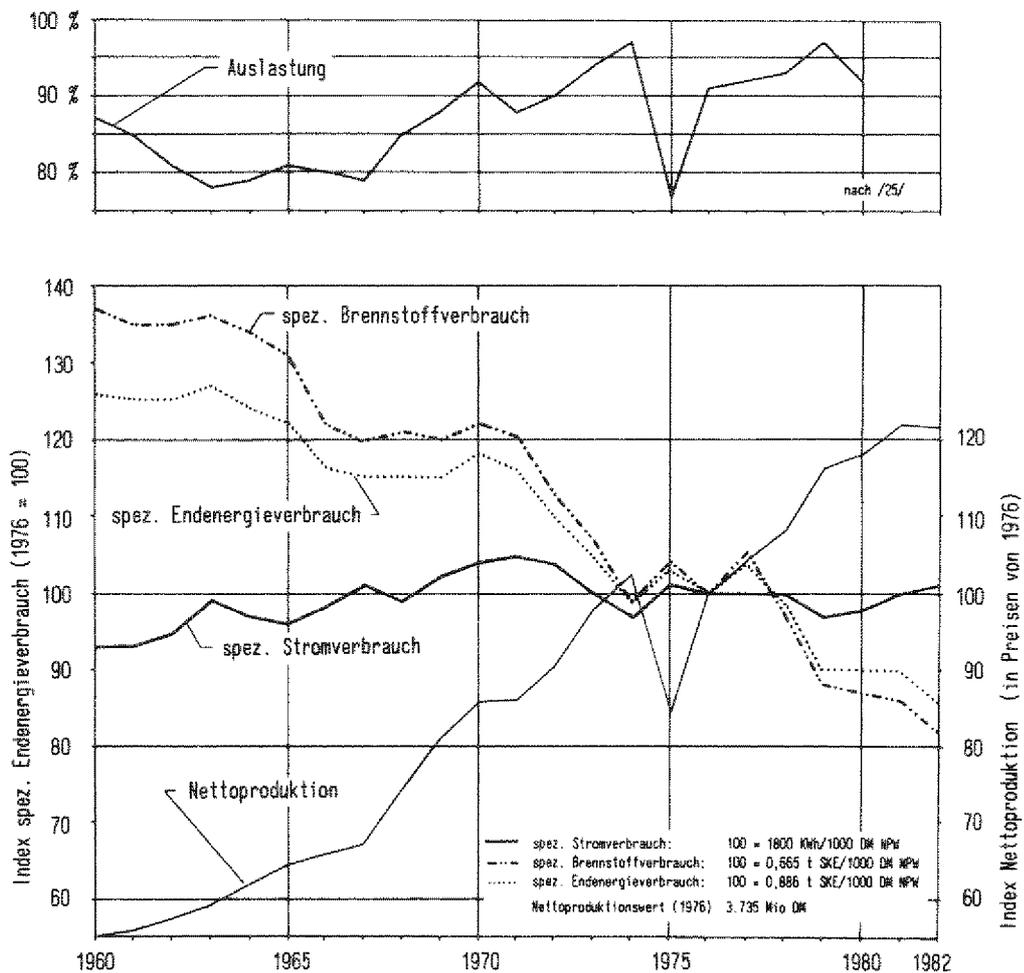


Bild 3.34: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in der Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung von 1960-1982 /1, 2/

Der spezifische Stromverbrauch verzeichnete bis 1971 einen leichten Anstieg, der u.a. auf leistungsstärkere Papiermaschinen, größeren Pumpaufwand für Gegenstrom- und Kreislaufführung, allgemein zunehmende Mechanisierung und verstärkten Umweltschutz zurückzuführen ist. Danach ist wieder ein leichter Abfall zu erkennen, dies begründet sich sowohl in Produktions-

strukturverschiebungen (z.B. erhöhte Altpapierquote) als auch in der besseren Auslastung der Betriebe. Die Entwicklung des Nettoproduktionswertes kennzeichnet diesen Sektor als eine ausgesprochene Wachstumsindustrie.

3.7.4 Detaillierung des Stromeinsatzes

3.7.4.1 Gesamtüberblick

Im folgenden werden die drei Sparten Zellstoffindustrie, Holzschliffindustrie und Papier- und Pappeindustrie getrennt behandelt. Der Begriff Industrie bezeichnet hier einen abgeschlossenen Produktionssektor, der aber nicht in der Systematik der Wirtschaftszweige einzeln ausgewiesen ist. Das Flußdiagramm der Papier- und Papperzeugung gibt einen Überblick auf den Strom- bzw. Prozeßwärmeeinsatz in den jeweiligen Sparten.

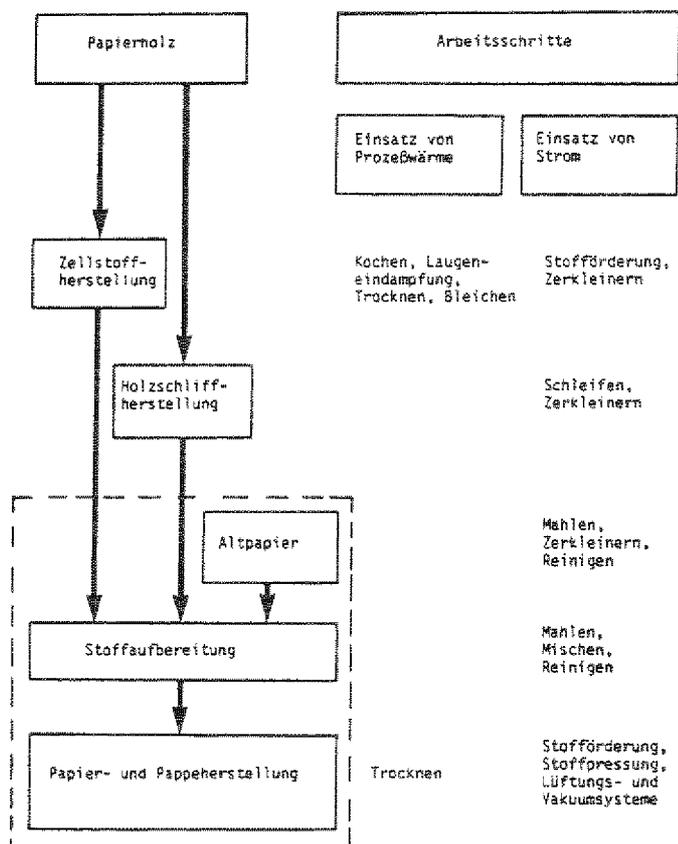


Bild 3.35: Flußdiagramm der Papier- und Papperzeugung /30/

3.7.4.2 Zellstoffindustrie

Ausgangsprodukt für die Gewinnung von Zellstoff ist der Rohstoff Holz, der mit Hilfe von Chemikalien in seine Restanteile zerlegt wird. Die Inlandsproduktion teilt sich auf in Papierzellstoff bzw. Chemie- und Edzellstoff, wobei letzterer mit 20 % Marktanteilen nur geringere Bedeutung hat (vgl. Bild 3.32).

Elektrizität deckt hier ausschließlich den Kraftbedarf für Pumpen, Entrindungsanlagen, Hack- und Entwässerungsmaschinen. Verfahrenstechnische Schwerpunkte liegen beim Waschen, Bleichen und Trocknen. Die Bandbreite spezifischer Stromverbrauchswerte erstreckt sich je nach Zellstoffart zwischen 660 und 1040 kWh/t Zellstoff. Insgesamt ist deutlich ein Trend zu verstärktem Stromeinsatz zu erkennen. Lag der Stromverbrauch für vorgebleichten Sulfitzellstoff im Jahre 1973 noch bei rund 640 kWh/t Zellstoff, so ist der Wert bis 1979 um über 30 % auf 900 kWh/t Zellstoff angestiegen. Diese Entwicklung ist in erster Linie mit dem zusätzlichen Kraftbedarf für die Ablaugeneindampfung zu erklären und somit der rationellen Energieverwendung zuzurechnen. Nach /75/ wurden schon 1977 ca. 80 % der erfaßten Ablauge eingedampft und verbrannt.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Zellstoffarten und ihrer unterschiedlichen spezifischen Stromverbrauchswerte berechnet sich der Stromverbrauch in der Zellstoffindustrie für das Jahr 1982 zu rund 0,7 TWh.

Die Berechnung findet in Anlehnung an /30/ statt. Hierbei wird unterstellt, daß sich die spezifischen Verbrauchswerte der verschiedenen Produkte im Verlauf der letzten Jahre nicht gravierend verändert haben.

3.7.4.3 Holzstoffindustrie

Der Begriff 'Holzstoff' steht für Refinerholz und den traditionellen Holzschliff, letzterer hat mit über 97 % den bedeutendsten Anteil. Neuere Verfahren, wie die Herstellung von thermo-

mechanischem Holzstoff (TMP-Verfahren), haben bisher keinen Eingang in die Holzstoffproduktion gefunden, so daß zur energetischen Darstellung nur der Holzschliff weiter diskutiert werden muß.

Die Holzschliffherstellung wird durch Bearbeitung der Holzstämmе mittels Schleifstein unter Zugabe von Wasser durchgeführt. Es wird ausschließlich elektrische Antriebsenergie eingesetzt: ca. 75 % für den Schleifvorgang selbst und weitere 20 % für die Raffineurstoffaufbereitung. Man unterscheidet zwischen drei Schliffverfahren (Kalt-, Warm- und Dünneißschliff), mit zunehmender Schliffqualität steigt der spezifische Stromverbrauch von 800 kWh/t auf bis zu 1800 kWh/t an. Die erforderliche Schliffqualität ist durch die spätere Verwendung, wie z.B. für Karton 800 kWh/t oder Schreibpapier 1500 kWh/t, vorgegeben.

Über Rückrechnung mit der Papier- und Pappeproduktion ergibt sich für die Holzstoffindustrie im Jahre 1982 ein Kraftstromverbrauch von etwa 1,4 TWh.

3.7.4.4 Papier- und Pappeindustrie

Die Papier- bzw. Pappeherstellung besteht aus einem kontinuierlich ablaufenden Trocknungsprozeß in der Papiermaschine, der die Stoffaufbereitung vorgeschaltet und die Veredelung nachgeschaltet sind.

Sowohl in der Stoffaufbereitung als auch in der Naß- und Trockenpartie der Papiermaschinen dient Elektrizität wieder in erster Linie zum Antrieb von Motoren. Nach /30/ ist ein wachsender spezifischer Stromverbrauch in der Papierproduktion festzustellen. Neben weiterer Automation wurde z.B. aufgrund verfahrenstechnischer Überlegungen ein höherer Trocknungsgrad am Ende der Naßpressung in der Pressenpartie angestrebt, dies ist gleichzeitig mit einer Steigerung der Antriebsleistung verbunden.

In der Trockenpartie sind dampfbeheizte Trockenzylinder vorherrschend. Alternativen sind durch Infrarottrocknung und neuerdings durch Hochfrequenztrochkenanlagen gegeben. Allerdings werden solche Elektrowärmetechnologien bisher nur in geringem Umfang angewendet, Gründe liegen hierfür sicherlich auch in der intensiven KWK-Anwendung der Papierindustrie.

Je nach Produkt kann auch hier ein sortenspezifischer Bedarf an elektrischer Energie ermittelt werden, für 1982 ergibt sich ein Stromverbrauch von rund 6,1 TWh in der Papier- und Pappeindustrie.

3.7.5 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung

Der große Bedarf an NT-Prozeßwärme (50 - 170 °C) ermöglicht es, einen hohen Anteil des Strombedarfs durch Kraft-Wärme-Kopplung bereitzustellen. Es kommen überwiegend Gegendruck- und Entnahmekondensationsanlagen zum Einsatz (96 %-Anteile im Jahre 1982).

Die Entwicklung in der Anlagentechnik der Papierindustrie zeichnete sich in den letzten 20 Jahren durch erhöhten Komfort und gestiegene Produktionsleistung aus. Wie beschrieben, war damit gleichzeitig ein höherer Stromeinsatz verbunden. Das wachsende Verhältnis von Strom zu Wärme dokumentiert sich in einer Zunahme der betrieblichen Stromkennzahl. Nach /76/ liegen die Werte durchschnittlich zwischen 80 und 110 kWh/GJ, in Einzelfällen aber auch deutlich darüber. Die Papierindustrie reagierte darauf mit einem vermehrten Fremdstrombezug (Bild 3.36).

In den '70er Jahren lag die Eigenstromerzeugung relativ konstant bei rund 5 TWh, seit 1980 weist die Statistik einen leichten Rückgang auf. Wie bereits angesprochen, kann ein hemmender Einfluß der Kraft-Wärme-Kopplung auf die verstärkte Elektrowärmeanwendung (z.B. Infrarottrocknung) vorliegen, da für die verschiedenen Trocknungsprozesse kostengünstiger Prozeßdampf zur Verfügung steht.

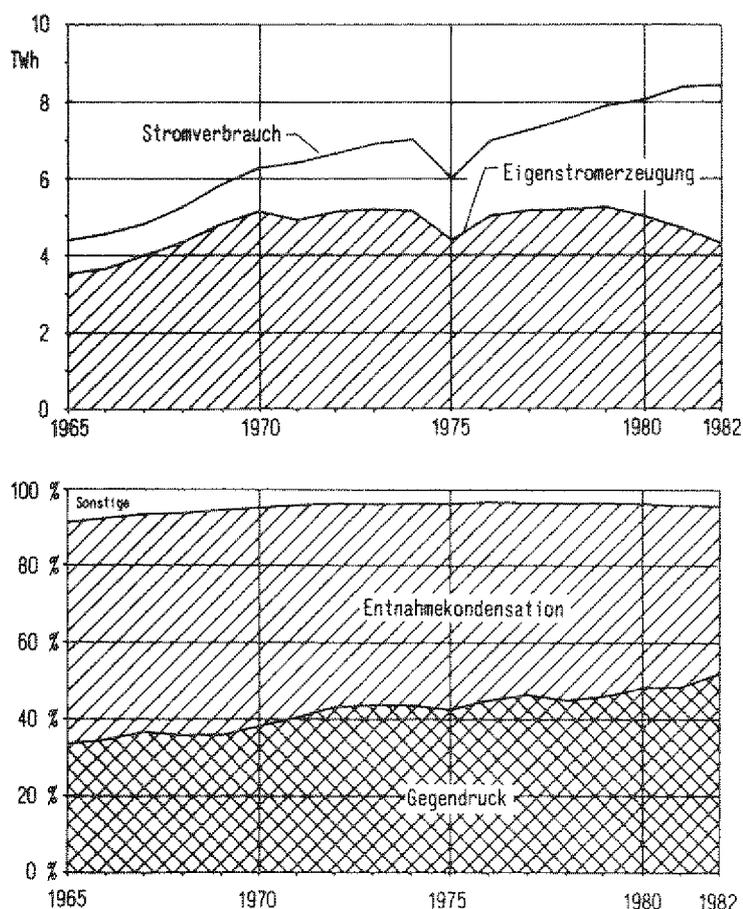


Bild 3.36: Entwicklung der Eigenstromerzeugung und Detaillierung nach Antriebsmaschinen in der Zellstoff-, Papier- und Pappeindustrie von 1965-1982 /15, 22, 67/

3.7.6 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Die Entwicklung des Stromeinsatzes in der Zellstoff-, Papier- und Pappeindustrie ist durch einen kontinuierlichen Anstieg der absoluten Verbrauchswerte gekennzeichnet. Bei einem Stromverbrauch von 8,2 TWh im Jahre 1982 lag der Anteil der Elektrizität zur Deckung des Endenergiebedarfs bei rund 30 %.

Im einzelnen teilt sich der Stromverbrauch anteilmäßig auf die Sparten folgendermaßen auf:

- Zellstoffindustrie ca. 9 %
- Holzstoffindustrie ca. 17 %
- Papier- und Pappeindustrie ca. 74 %.

In allen drei Sparten wird Elektrizität überwiegend zur Deckung des Kraftbedarfs eingesetzt. Es gibt mehrere Entwicklungstendenzen, die den im Verlauf der letzten 20 Jahre steigenden Stromverbrauch bewirkten. Hierzu gehören die Modernisierung des Maschinenparks, der Ausbau von Wärmerückgewinnungsanlagen und Maßnahmen zur Verringerung der Umweltbelastung.

Nach /73/ ist bis zur Jahrhundertwende nur noch mit einem geringen Anstieg des spezifischen Kraftstromverbrauchs zu rechnen, so daß die weitere Entwicklung des Stromverbrauchs in erster Linie von der Papier- und Pappeproduktion bestimmt sein wird.

3.8 EISEN-, STAHL- UND TEMPERGIESSEREIEN

3.8.1 Überblick

Die Eisen-, Stahl- und Tempergießereien waren im Jahre 1982 mit 1,1 % am industriellen Gesamtenergieverbrauch beteiligt. Der Stromeinsatz betrug 1,3 % des industriellen Stromverbrauchs. Somit ist dieser Sektor nicht zu den industriellen Energiegroßverbrauchern zu zählen.

Vorherrschende Produkte sind Stahlguß und Eisenguß. Letzterer kann nach der Form der Graphitkristalle weiter unterteilt werden in Gußeisen mit Lamellengraphit (GGL), Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG oder Sphäroguß), weißen bzw. schwarzen Temperguß (GTW bzw. GTS). Die Bedeutung der Gießereiindustrie liegt in ihrer Funktion als Zulieferer für Industriezweige wie Maschinenbau, Fahrzeugbau, Eisenschaffende Industrie und die Bauwirtschaft.

Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung sind in diesem Wirtschaftszweig relativ bedeutungslos, so daß auf eine Erörterung verzichtet wird.

3.8.2 Produktionsentwicklung und vorherrschende Verfahrenstechnik

Tab. 3.6 zeigt die Entwicklung der Gußproduktion und der jeweiligen Gußsorten für ausgewählte Jahre. Die rückläufige Tendenz des Gußverbrauchs in Tonnen läßt sich u.a. auf Substitutionsprozesse zugunsten anderer Werkstoffe (Stahl und Kunststoff) oder Schweißverbindungen sowie auf leichtere Konstruktionen (geringere Wanddicken der Gußstücke) zurückführen.

Der Anteil an Gußeisen mit Lamellengraphit (GGL) überwog zwar mit 65 % (1982) bei weitem, aber es ist ein deutlicher Rückgang zu erkennen, wohingegen der Sphäroguß (GGG) einen starken Anstieg aufweist und 1982 einen Anteil von 24 % hatte. Dies liegt in den gestiegenen Qualitätsanforderungen der zu belie-

fernden Industriezweige, die GGG besser als GGL erfüllt. Stahlguß (GS) stagniert bereits seit längerem, beim Temperguß (GT) ist eine fallende Tendenz zu verzeichnen.

	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1977	1980	1982
GGL	2,005	3,393	3,679	3,703	3,763	2,793	2,933	2,742	2,287
GGG	/	/	/	0,144	0,428	0,563	0,585	0,693	0,826
GS	0,187	0,329	0,360	0,348	0,391	0,369	0,275	0,294	0,252
GT	0,095	0,165	0,214	0,270	0,295	0,197	0,213	0,187	0,136
Summe Guß	2,287	3,887	4,253	4,464	4,877	3,920	4,007	3,916	3,502

Tab. 3.6: Gußproduktion und Gußsorten in Mio t
für ausgewählte Jahre /28/

Vorherrschende Verfahren zur Herstellung von Gußprodukten sind: das Schmelzen, Gießen und die mechanische Nachbehandlung der Rohprodukte. Nach /77/ ist der Schmelzenergieverbrauch mit über 50 % der energieintensivste Bereich. Um Schwerpunkte für die Wahl des Einschmelzverfahrens und somit auch für den Energieeinsatz aufzuzeigen, sind für das Jahr 1977 die entsprechenden Verfahrensanteile in Tab. 3.7 dargestellt.

	Kaltwind- kupolofen	Heißwind- kupolofen	Elektro- ofen	Sonstige	
GGL	27 %	43 %	21 %	9 %	100 % = 2,933 Mio t Guß
GGG	3 %	15 %	64 %	18 %	100 % = 0,585 Mio t Guß
GS			94 %	6 %	100 % = 0,275 Mio t Guß
GT	keine Angaben vorhanden				100 % = 0,213 Mio t Guß

Tab. 3.7: Gußproduktion im Jahre 1977, aufgeteilt nach
Gußsorten und Einschmelzverfahren /77/

Neuere Angaben sind in den Statistiken nicht mehr aufgeführt /78/. Als Schmelzaggregate kommen Heiß- und Kaltwindkupolöfen, Induktionstiegelöfen, Lichtbogenöfen sowie in Ausnahmefällen

gas- bzw. ölbeheizte Drehtrommelöfen in Betracht. Entsprechend den verschiedenen Gußwerkstoffen zeichnen sich Schwerpunkte in der Verfahrenswahl ab. Stahlguß und Sphäroguß werden bevorzugt mit elektrischen Verfahren erschmolzen.

3.8.3 Entwicklung des Energieverbrauchs

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs zeigt einen recht un stetigen Verlauf mit deutlich abnehmender Tendenz der absoluten Verbrauchswerte (Bild 3.37).

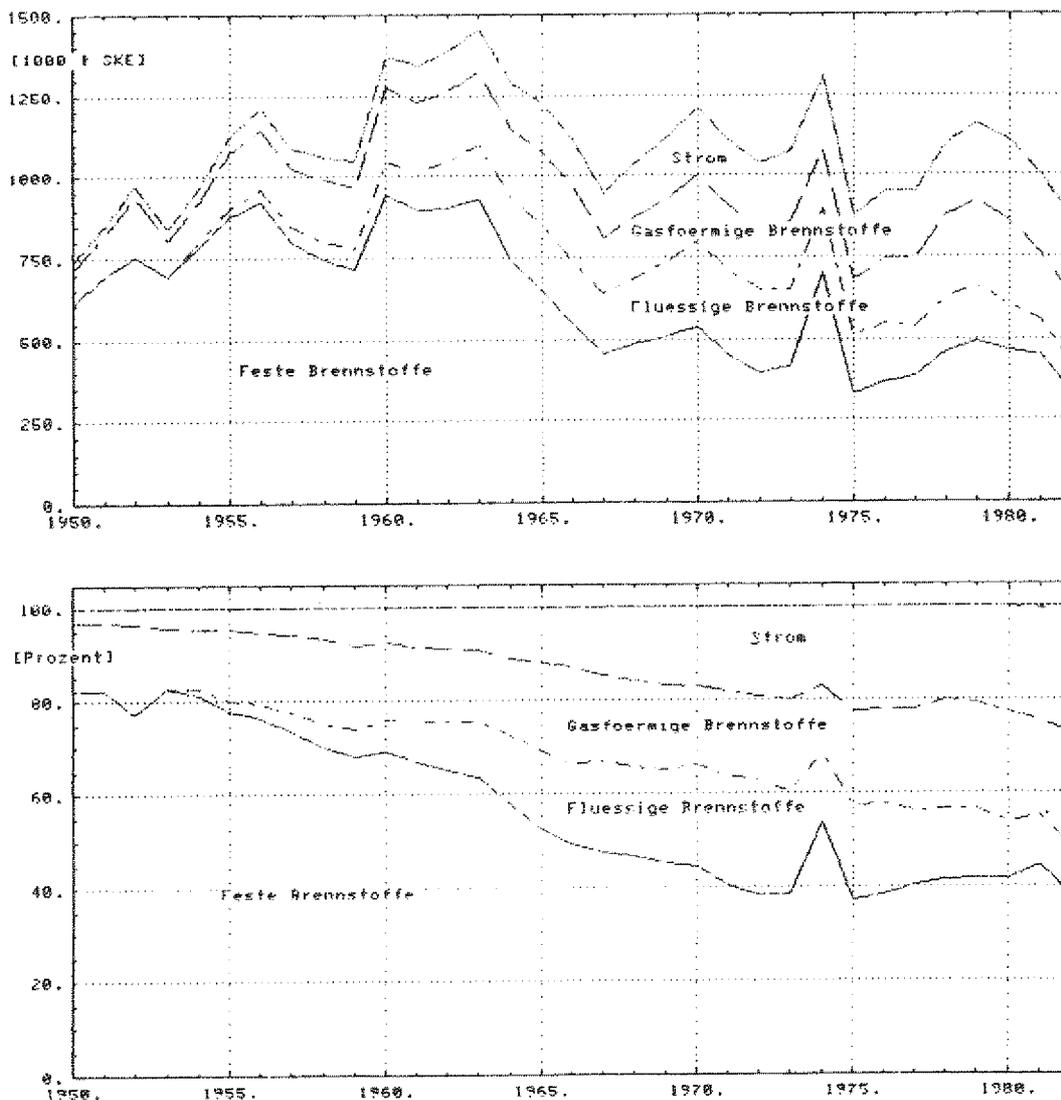


Bild 3.37: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der Eisen-, Stahl- und Tempergießerei von 1950-1982 /1/

Die Gründe dieser Entwicklung sind hauptsächlich in der stark schwankenden Beschäftigungslage dieser Branche, einem rückläufigen Gußverbrauch aber auch in wechselnder Verfahrenstechnik und Produktstruktur zu finden.

Fester Brennstoff, überwiegend Gießereikoks, war trotz rückläufiger Tendenz mit einem Anteil von 38 % im Jahre 1982 noch der bedeutendste Endenergieträger. Der Heizölverbrauch stieg vergleichbar mit anderen Wirtschaftszweigen bis zu den Ölpreiskrisen an, danach fand eine deutliche Reduzierung statt. Erdgas konnte seinen Anteil in den letzten 20 Jahren halten und mit Beginn der '70er Jahre leicht ausbauen. Im Zuge einer effizienteren Nutzung der Energie fand in den Gießereien eine Strukturverschiebung zugunsten der Elektrizität statt. Der Stromverbrauch konnte sowohl absolut als auch relativ einen Anstieg verzeichnen. Im Jahre 1982 trug die Elektrizität zu rund einem Viertel der Endenergiebedarfsdeckung dieses Sektors bei.

Bild 3.38 zeigt für den Zeitraum 1960-1982 die Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs. Der Rückgang des spezifischen Brennstoffverbrauchs verlief infolge schwankender Auslastung nicht kontinuierlich. Dagegen zeigt der spezifische Stromverbrauch einen stetigen Anstieg.

Traditionell wird die Leistung der Gießereiindustrie am Gewicht gemessen. Sowohl die gestiegene Qualität der Gußprodukte als auch der vorherrschende Trend zu geringeren Wanddicken sowie reduzierten Dimensionen erhöhen die spezifischen Werte und überlagern die Einsparungseffekte. Der gestiegene Gehalt an Technologie im Guß sollte bei der Interpretation von Bild 3.38 ebenfalls berücksichtigt werden.

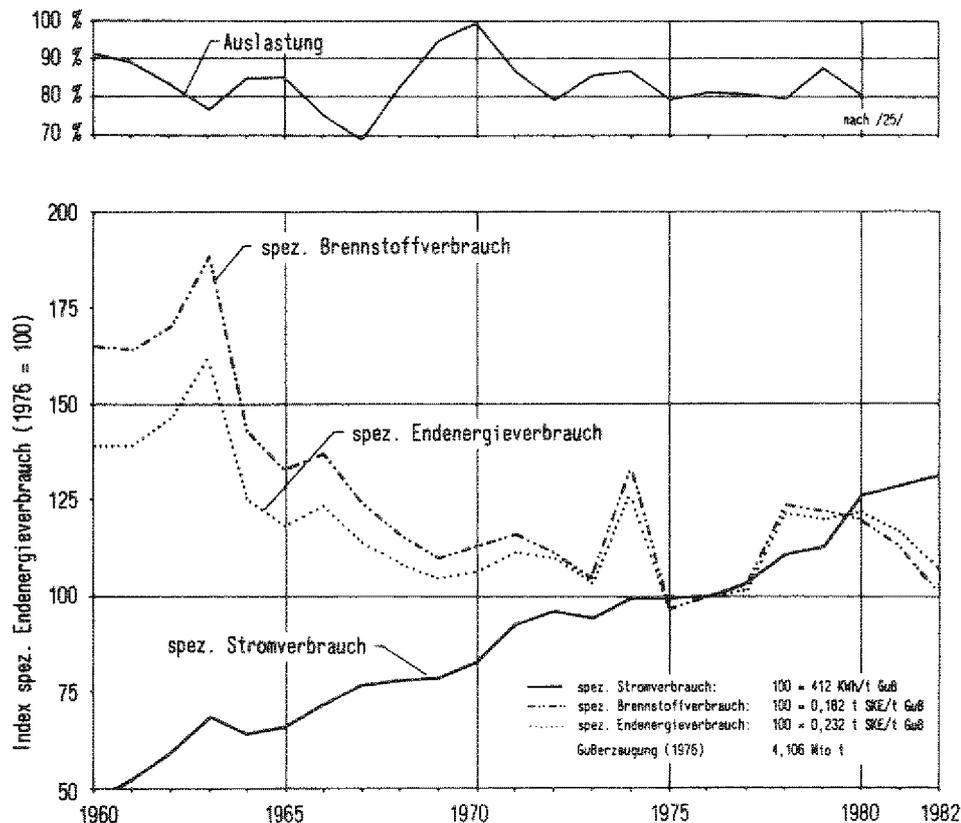


Bild 3.38: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in den Eisen-, Stahl- und Tempergießereien von 1960-1982 /1, 28/

3.8.4 Detailierung des Stromeinsatzes

3.8.4.1 Aspekte zum spezifischen Stromverbrauch

Für diesen Sektor zeigt die Darstellung in Bild 3.39, daß zwischen stromintensiven und brennstofforientierten Verfahren Substitutionsprozesse stattgefunden haben (vgl. die Jahre gleicher Produktion, z.B. 1966, 1975, 1978 und 1980).

Ein Vergleich der Regressionsgeraden zeigt, daß besonders in den letzten fünf Jahren der 'Grundstrombedarf' stärker als in den vergangenen Jahren angestiegen ist. Dies deutet auf eine beschleunigte Einführung stromintensiver Verfahren hin.

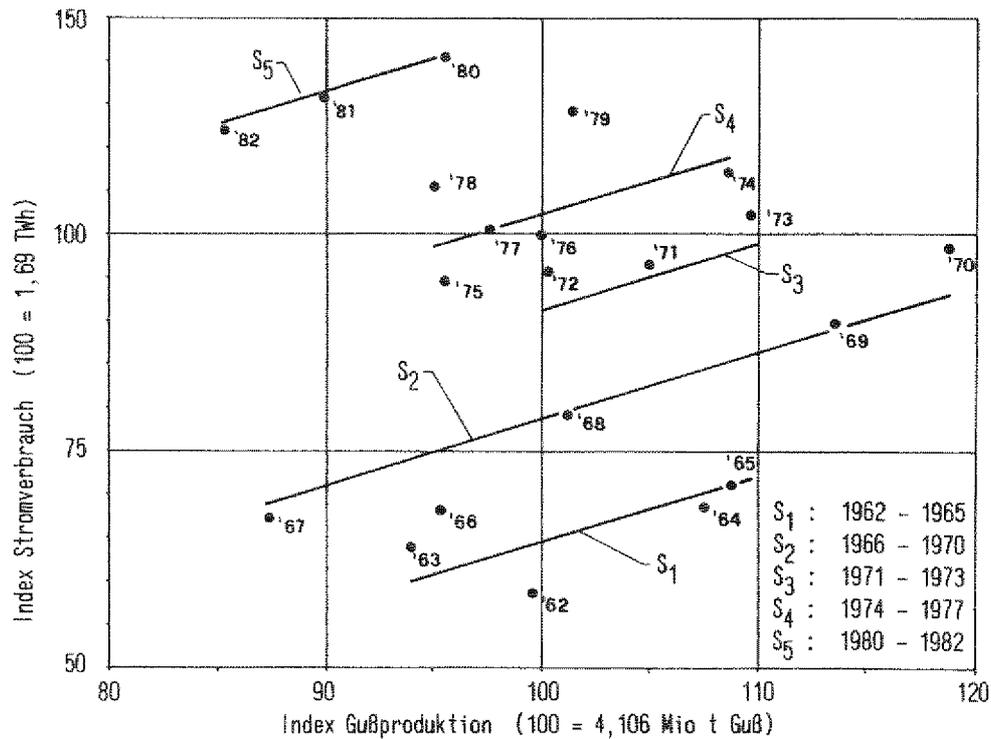


Bild 3.39: Entwicklung der 'Strombedarfscharakteristik' in den Eisen-, Stahl- und Tempergießereien /1, 28/

3.8.4.2 Elektrizitätseinsatz in den einzelnen Verfahrensstufen

Zur weiteren Detaillierung ist in Bild 3.40 das Betriebsflußschema einer Gießerei dargestellt. Im folgenden werden die verschiedenen Möglichkeiten des Stromeinsatzes in den einzelnen Verfahrensstufen diskutiert.

3.8.4.2.1 Gußerschmelzung

Nach den bisherigen Ausführungen besteht für den energieintensiven Anwendungsbereich des Schmelzens ein Wettbewerb zwischen brennstoffbetriebenen Kupolöfen einerseits und elektrisch betriebenen Lichtbogen- bzw. Induktionsöfen andererseits. Je nach Gußsorte werden unterschiedliche Schmelzverfahren bevorzugt.

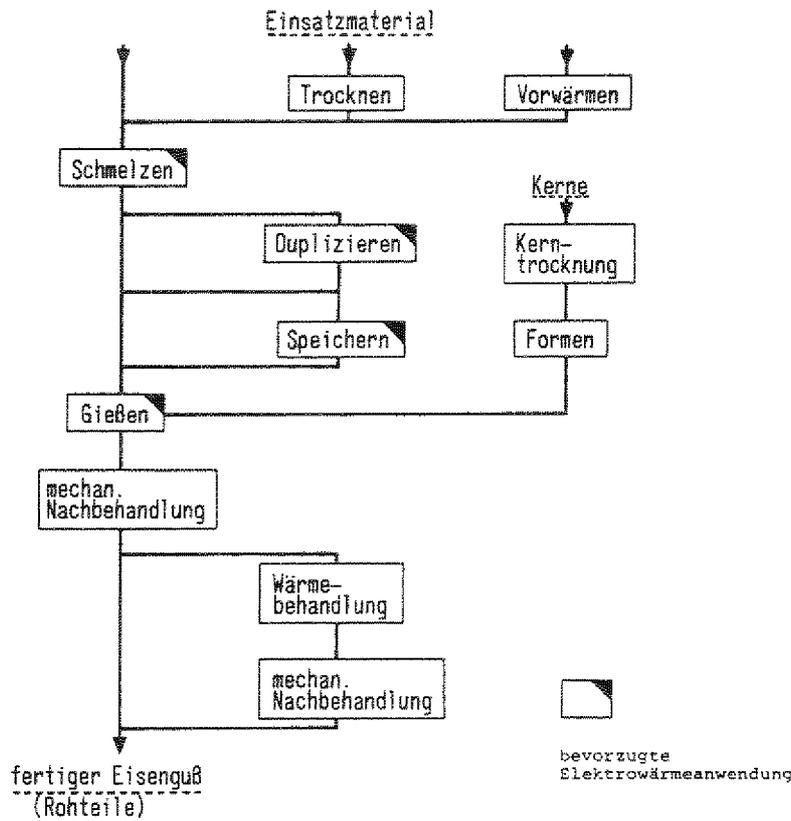


Bild 3.40: Betriebsflußschema einer Gießerei /77/

3.8.4.2.1.1 Stahlguß

Abgesehen von der Verwendung von Erdgas oder Öl für die Vorwärmung des Einsatzmaterials ist die elektrische Energie in den Stahlgießereien dominierend. Zum Erschmelzen von Stahlguß dienen heutzutage fast ausschließlich Induktions- und Lichtbogenöfen, wobei letztere den wesentlichen Anteil haben. Dies läßt sich auf die Ausgangsstoffe Stahlschrott und Kreislaufmaterial zurückführen. Die spezifischen Stromverbrauchswerte der Lichtbogenöfen liegen wie in der Eisenschaffenden Industrie bei etwa 600 kWh/t Stahl.

In Zukunft könnten bei der Stahlgußherstellung aus metallurgischen und verfahrenstechnischen Kriterien sowie aus Umweltsichtspunkten (Staub, Lärm etc.) Netzfrequenz-Tiegelöfen an Bedeutung gewinnen /79/.

3.8.4.2.1.2 Eisenguß

In Bild 3.41 ist zunächst die anteilige Entwicklung der Schmelzverfahren in den gesamten Eisengießereien bis 1976 dargestellt. Die daraus ersichtliche Rückläufigkeit des in Kupolöfen erschmolzenen Eisens ist nach /81/ nicht ganz so ausgeprägt, da der als Elektroöfen bzw. unter 'Sonstige Verfahren' gekennzeichnete Anteil auch dupliziertes Eisen enthält, d.h. Eisen, das im Kupolofen vorgeschmolzen wird.

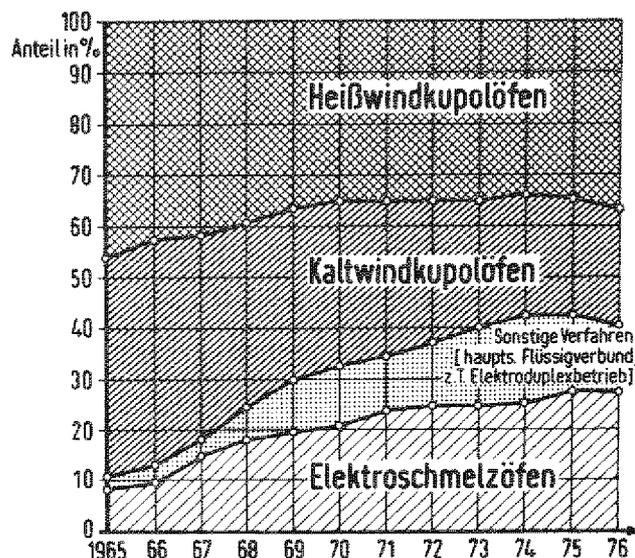


Bild 3.41: Produktionsanteil der verschiedenen Schmelzverfahren für Gußeisen von 1965-1976 /80/

Auch beim Schmelzen der verschiedenen Eisenwerkstoffe liegen eindeutige Schwerpunkte vor.

GGL wird überwiegend in Kupolöfen erschmolzen (1977 zu rund 70 %, vgl. Tab. 3.7). Hierbei wird teilweise ein sogenannter Duplex-Betrieb gefahren, d.h. dem Hauptschmelzaggregat Kupolofen wird ein Induktionsofen nachgeschaltet. Dies ist insbesondere dann üblich, wenn mehrere Eisenarten in kurzen Zeitabständen nacheinander oder gleichzeitig bereitgestellt werden müssen. In Fällen hochlegierter Werkstoffe wird meist nur der Induktionstiegelofen eingesetzt.

Wesentlich stärker hat sich das elektrische Schmelzen beim Sphäroguß durchgesetzt. Der Anteil betrug 1977 rund 64 % (vgl. Tab. 3.7). Ein Hauptgrund hierfür liegt auf der Qualitätsseite, da höhere Anforderungen an die Genauigkeit der chemischen Analyse und der Temperaturführung gestellt werden. Teilweise wird auch hier der Duplex-Betrieb angewandt.

Beim Temperguß muß zwischen weißem und schwarzem Guß unterschieden werden. Die chemische Zusammensetzung des weißen Tempergusses ermöglicht die Erschmelzung im Kupolofen. Dagegen kann schwarzer Temperguß nur im Duplex-Verfahren bzw. von vornherein im Induktionsofen erschmolzen werden, um so den gewünschten niedrigen Kohlenstoffgehalt einzustellen.

Der spezifische Stromverbrauch der Netzfrequenz-Tiegelöfen wird in erster Linie vom Fassungsvermögen bestimmt, weitere Einflußfaktoren finden sich in der Fahrweise und der Anschlußleistung. In Anlehnung an /80/ kann eine Anhaltzahl von rund 580 kWh/t Guß (bei 10 t Fassungsvermögen und Abstichttemperatur 1450 °C) angegeben werden, die im Einzelfall sowohl erheblich unter- als auch überschritten werden kann.

Der gestiegene Anteil der Induktionsöfen und die damit verbundene Zunahme des Strombedarfs für Elektrowärmezwecke lassen sich auf verschiedene Randbedingungen zurückführen:

Zunächst spielten metallurgische Gesichtspunkte eine Rolle, denn mit der eleganten elektrischen Verfahrenstechnik lassen sich Temperatur und chemische Zusammensetzung mit großer Genauigkeit einstellen. Hier ist der leicht steuerbare, intensive Rühreffekt von grundlegender Bedeutung, da die kontrollierte Schmelzföhrung wesentlichen Einfluß auf die Gußeigenschaften hat. Deshalb wurden zunächst insbesondere hochlegierte Gußstücke aus Lamellengraphit nach diesem Verfahrensweg erschmolzen.

Die Induktionstiegelöfen wurden mit der Zeit immer weiter entwickelt, so daß ein Fassungsvermögen von 30-35 t Gußeisen zum Stand der Technik gehört und die quasikontinuierliche Betriebsweise den kontinuierlichen Eisenbedarf der Gießereien decken kann. Durch die technische Entwicklung begünstigt fand gleichzeitig der teilweise Übergang von GGL-Gußstücken zum Sphäroguß statt, der wie bereits erwähnt, nicht problemlos im Kupolofen erschmolzen werden kann.

Des Weiteren wurde die Entwicklung der Induktionsöfen nachhaltig durch die Bestrebungen zur Reinhaltung der Luft begünstigt. So entläßt der Kupolofen bedeutende Gas- und Staubmengen in die Atmosphäre, die Reinigungsanlagen unumgänglich machen. Die Umweltbelastung der Induktionsöfen ist demgegenüber deutlich geringer. So ist der Staubausswurf um mindestens eine Größenordnung kleiner.

Insbesondere die Auflagen zur Reduzierung der Umweltbelastungen haben die bisher für den Kupolofen sprechenden günstigeren Gesamtkosten den recht hohen Kosten der Elektroanlagen angeglichen.

Zu den Kostenbetrachtungen gibt es viele Untersuchungen, die je nach unterschiedlichen Randbedingungen, wie z.B. Schichtbetrieb, Einsatzmaterial, Höhe der Schmelzleistung etc., das eine oder andere Verfahren leicht im Vorteil sehen. Nach /82/ sind bei neu zu erstellenden Anlagen die Kostenunterschiede gering, so daß vorrangig verfahrenstechnische sowie metallurgische Gesichtspunkte die Auswahl des Schmelzaggregates beeinflussen. Hier ist der Induktionsofen im Vorteil. Nachteilig für die zukünftige Entwicklung des Wärmestromeinsatzes in den Eisen-, Stahl- und Tempergießereien kann sich eine Erhöhung der Schmelzstromkosten auswirken.

3.8.4.2.2 Nachfolgende Verfahrensschritte

Bild 3.40 zeigt nach dem Schmelzen das Duplizieren im nachgeschalteten Induktionstiegelofen als weiteres Anwendungsgebiet

der Elektrowärme. Speziell im Großserienguß, wie z.B. für die Automobilindustrie, kommt dieses Verfahren zum Einsatz.

In der Prozeßstufe Warmhalten bzw. Speichern findet in zunehmendem Maße der Induktionsrinnenofen Verwendung. Die Automatisierung in der Gießereitechnik brachte die Forderung nach einem Speicherbehälter zwischen den Produktionsstufen Schmelzen und Gießen mit sich. Ebenso ist die Analysen- und Temperaturvergleichmäßigung von Bedeutung.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die gebräuchlichen Schmelzaggregate mit einem oder mehreren Induktionsrinnenöfen zu kombinieren. Eine gute Lösung ist hier die Verbindung mit einem Kupolofen, um dessen kontinuierliche Schmelzweise auf die zeitlichen und mengenmäßigen Schwankungen des Form- und Gußbetriebes abzustimmen.

Ein weiteres Einsatzgebiet für Elektrowärme findet sich in der Verfahrensstufe des Gießens. Aus einem Speichergefäß mit induktiver Beheizung wird direkt in die Form gegossen.

Ein Anwendungsbereich der Elektrizität für nichtthermische Zwecke findet sich insbesondere in dem Kraftbedarf für die Druckluftherzeugung.

Neben zunehmender Mechanisierung der Nachbearbeitung werden dort verstärkt elektrische statt druckluftbetriebene Werkzeuge eingesetzt. Dies wird aber sicherlich ohne wesentlichen Einfluß auf den Gesamtstromverbrauch bleiben.

Als letzter Verfahrensschritt ist die Wärmebehandlung zu nennen. Auch hier bieten sich für die Elektrowärme verschiedene Einsatzmöglichkeiten (vgl. Kap. 2.3.1).

Abgesehen von den Schmelz- und Warmhalteprozessen besteht ein weiterer Grund für den gestiegenen Stromverbrauch in den Gießereien in der zunehmenden Mechanisierung der Betriebe.

3.8.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Seit 1950 ist der Stromverbrauch in der Gießereiindustrie sowohl absolut als auch relativ angestiegen. Im Jahre 1982 war die elektrische Energie mit rund 2 TWh zu gut einem Viertel an der Deckung des Endenergieverbrauchs dieses Sektors beteiligt. Hauptgründe liegen in der zunehmenden Mechanisierung und der teilweisen Umstellung auf elektrische Verfahrenstechnologien entsprechend veränderter Produktionsstruktur.

Bei den Schmelzverfahren zeichnet sich eine deutliche Abhängigkeit von den verschiedenen Gußsorten ab. Stahlguß und Sphäroguß werden bevorzugt mit elektrischen Verfahren erschmolzen, während Gußeisen mit Lamellengraphit noch überwiegend mit Kupolöfen erschmolzen wird. Da der Induktionsofen den gestiegenen Qualitätsanforderungen besser gerecht wird, ist vielfach dem Hauptschmelzaggregat Kupolofen ein Induktionsofen nachgeschaltet (Duplex-Betrieb).

Nach /78/ liegt der Gesamtstromverbrauch für Elektrowärmezwecke in der Eisen- und Stahlgußherzeugung bei derzeit etwa 1 TWh, dies entspricht rund 50 % des gesamten Stromverbrauchs dieses Sektors. Auch zukünftig ist nach /73/ mit einem Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs zu rechnen, der sich in erster Linie in einem zunehmenden Ersatz brennstoffbeheizter Öfen durch Elektroöfen erklärt. Bei gleichbleibender Gußproduktion ist somit ein leichter Anstieg des Stromverbrauchs in den Gießereien denkbar. Diese Tendenz würde durch eine weitere Verschiebung innerhalb der Gußproduktion zu mehr Sphäroguß begünstigt.

3.9 INVESTITIONSGÜTERINDUSTRIE

3.9.1 Überblick

Die Investitionsgüterindustrie war 1982 mit rund 13 % (10,2 Mio t SKE) am industriellen Endenergieverbrauch und mit 18 % (25,8 TWh) am Industriestromverbrauch beteiligt. Sie setzt sich nach /1/ aus vier Verbrauchergruppen zusammen:

- Maschinenbau [32]
- Straßen-, Luft- und Raumfahrzeugbau [33]+[35]
- Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik [36]+[37]+[50]
- Eisen-, Blech- und Metallwaren [3021]+[3025]+[38]

Aufgrund der äußerst heterogenen Produktionsstruktur ist eine produktspezifische Betrachtung hier nicht möglich, so daß zunächst eine energetische Gesamtbetrachtung erfolgt. Die anschließende Detaillierung soll Schwerpunkte und typische Entwicklungstendenzen in den Verbrauchergruppen aufzeigen.

3.9.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion

Bild 3.42 zeigt die schnelle Substitution der festen Brennstoffe durch schweres und leichtes Heizöl im Verlauf der '60er Jahre. Im Gegensatz zu anderen Wirtschaftsgruppen hatte der Einsatz von gasförmigen Endenergieträgern schon seit 1950 Bedeutung, mit Beginn der 70'er Jahre konnte Erdgas seine Marktanteile deutlich ausweiten.

Der Stromverbrauch erhöhte sich stetig von 10 % im Jahre 1950 auf 31 % Marktanteile im Jahre 1982. Das Wachstum des Stromverbrauchs verlief selbst in Rezessionszeiten relativ unbeeinflusst von der wirtschaftlichen Entwicklung.

Die Entwicklung der Nettoproduktion (Bild 3.43) weist von Schwankungen abgesehen die Investitionsgüterindustrie als Wachs-

tumsindustrie aus. Auch in diesem Sektor war die Zunahme der Produktion mit einer Reduzierung des spezifischen Brennstoffeinsatzes und steigendem spezifischen Stromverbrauch verbunden.

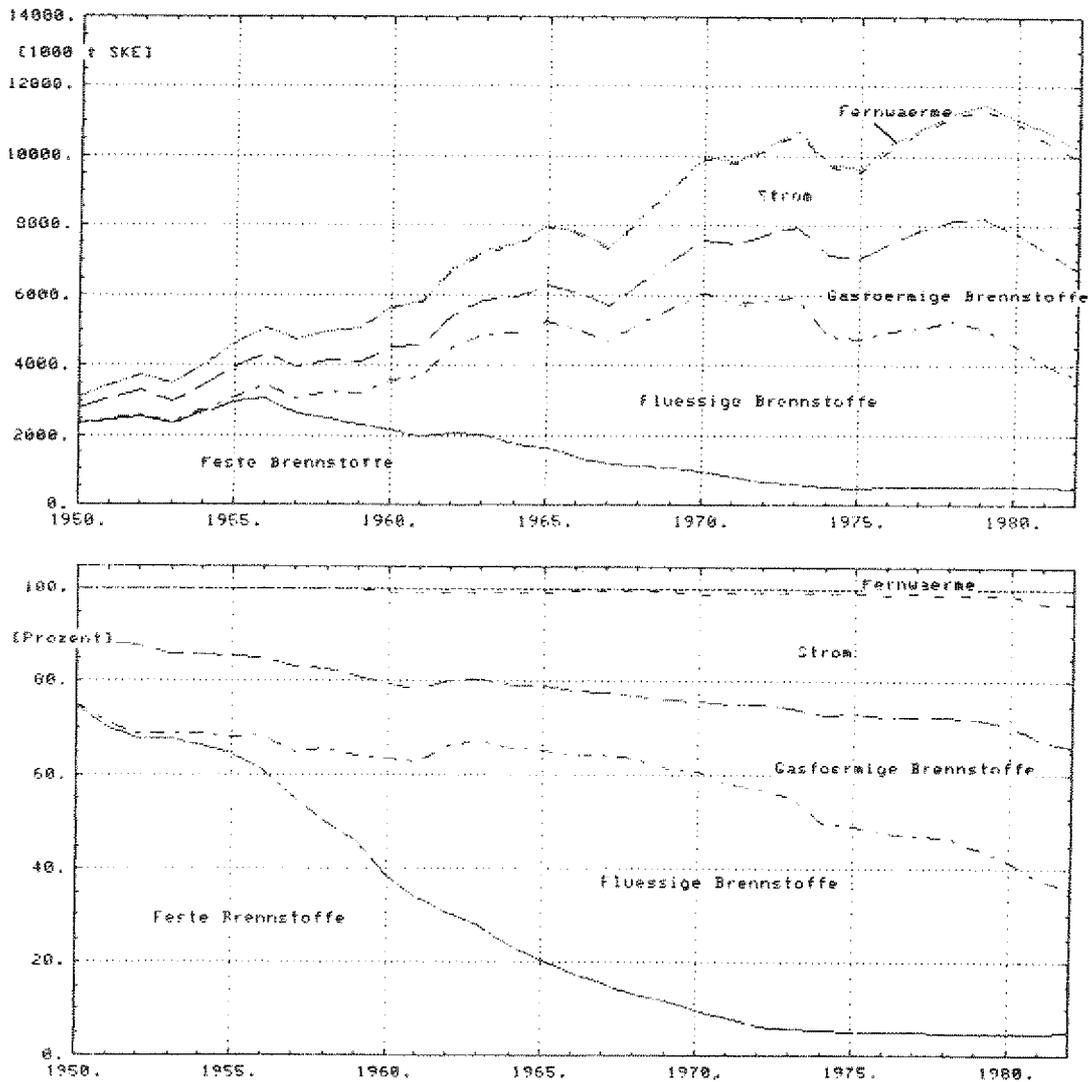


Bild 3.42: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der Investitionsgüterindustrie von 1950-1982 /1/

Diese Entwicklung basiert auf einer Vielzahl sich überlagernder Faktoren. Der in Bild 3.43 aufgezeigte Trend des spezifischen Stromverbrauchs ist dennoch durch einige grundsätzliche Entwicklungstendenzen zu erklären, da die vier Verbrauchergruppen hinsichtlich Produktionstechnik Gemeinsamkeiten aufweisen.

Aufgrund der hohen Lohnkostenanteile in der Investitionsgüterindustrie haben bisher arbeitszeitsparende Rationalisierungsmaßnahmen im Vordergrund betriebswirtschaftlicher Überlegungen gestanden. Damit ist das Ziel einer möglichst weitgehenden Automation und somit entsprechend hoher Elektrizitätsbedarf zur Bereitstellung von Antriebsenergie verbunden.

Infolge neuer, verfeinerter Herstellungsverfahren, die den gestiegenen Qualitätsanforderungen an das Werkstück besser entgegenkommen, wurden zunehmend elektrotechnologische Verfahren eingesetzt. Diese Entwicklung wurde zusätzlich durch den beschriebenen Trend zur Automation unterstützt, da sich die elektrotechnologischen Verfahren meist gut in den Produktionsablauf einbauen lassen.

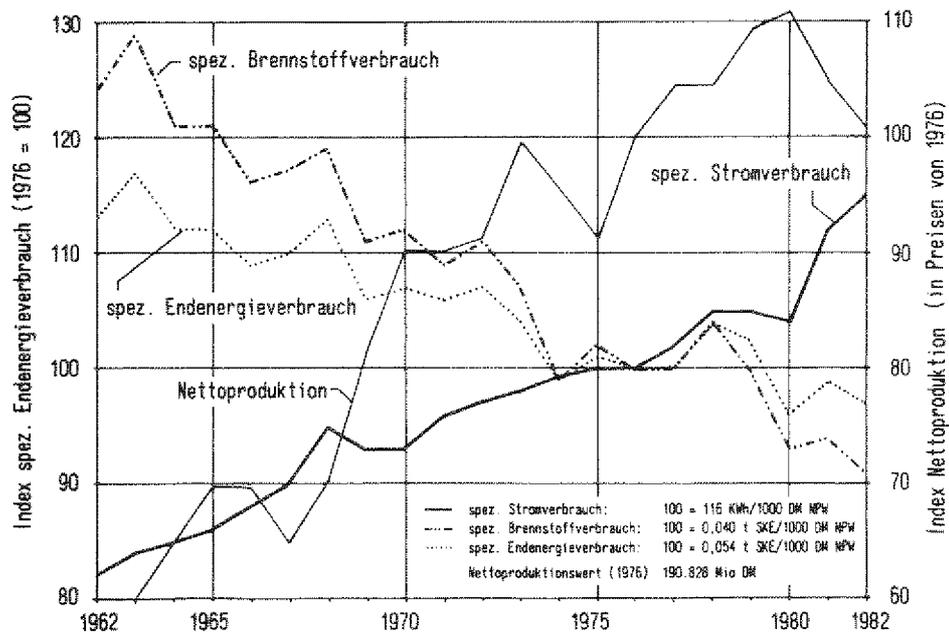


Bild 3.43: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in der Investitionsgüterindustrie von 1962-1982 /1, 2/

3.9.3 Detaillierung des Stromeinsatzes

3.9.3.1 Stromeinsatz nach Verwendungszwecken

Nach einer Studie des RWI /5/ zeigt sich, daß im Jahre 1978 der Licht- und Kraftbedarf praktisch zu 100 % mit Elektrizität abgedeckt wurde. Der Prozeßwärmebedarf wurde zu rund 12 % über elektrotechnologische Verfahren bereitgestellt, dies entsprach gut einem Sechstel des Stromverbrauchs der Investitionsgüterindustrie. In den weiteren Nutzungsbereichen spielte Strom eine untergeordnete Rolle. Hierzu bleibt anzumerken, daß andere Veröffentlichungen /48, 84/ einen höheren Anteil der elektrischen Energie für Prozeßwärme angeben, der Strombedarf für Beleuchtung wird dementsprechend geringer eingestuft.

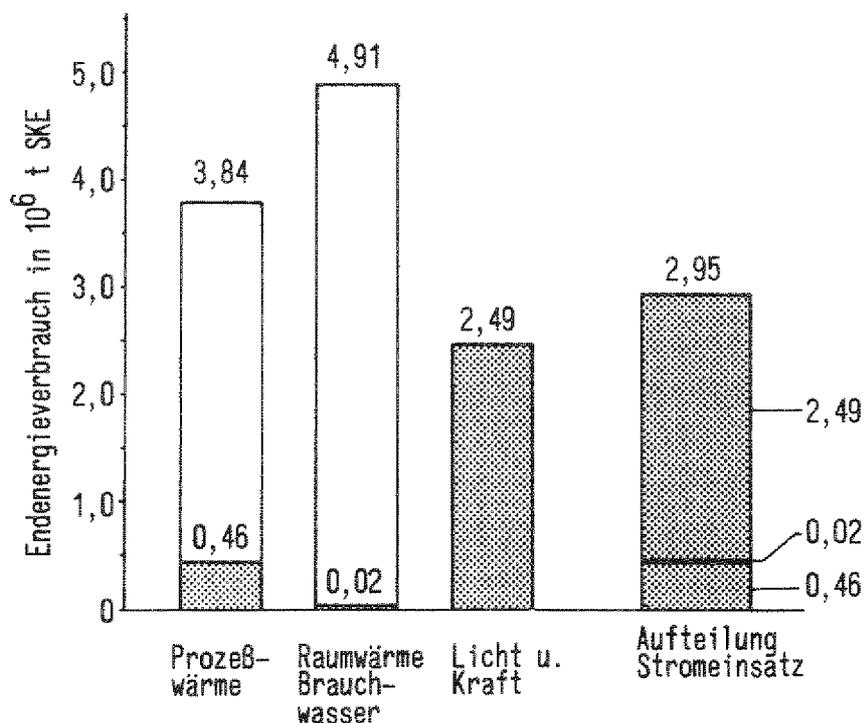


Bild 3.44: Stromeinsatz nach Verwendungszwecken in der Investitionsgüterindustrie im Jahre 1978 /5/

3.9.3.2 Elektrizitätseinsatz in den einzelnen Verbrauchsgruppen

Die Darstellung des Stromverbrauchs nach Verbrauchsgruppen zeigt, daß sich im Verlauf der letzten 20 Jahre die Anteile zugunsten des Straßen-, Luft- und Raumfahrzeugbaus verschoben haben, dies ist auf die starke Zunahme des Individualverkehrs zurückzuführen.

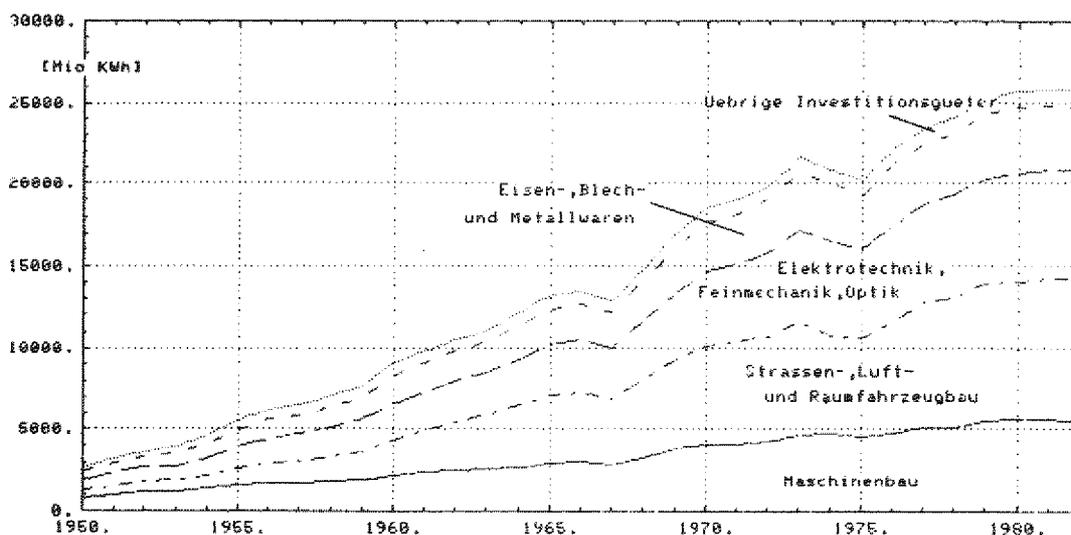


Bild 3.45: Entwicklung des Stromverbrauchs in der Investitionsgüterindustrie nach Verbrauchsgruppen von 1950-1982 /1/

Im Maschinenbau ist aufgrund zunehmender Mechanisierung und vermehrter Elektrowärmeanwendung der spezifische Stromverbrauch bedeutend angestiegen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich im Prozeßwärmebereich eine teilweise Substitution von Brennstoffen durch Strom vollzogen hat. Bei den Schmelz- und Wärmebehandlungsprozessen bieten die Elektrowärmeverfahren, insbesondere für die kleinen Betriebe, deutliche Vorteile (z.B. verminderte Umweltbelastung, geringerer Platzbedarf, Wirtschaftlichkeit etc.).

Auch für die Zukunft wird mit einer Fortsetzung dieses Trendverlaufs, wenn auch in abgeschwächter Form, gerechnet. Sowohl Bemühungen zur Reduzierung des spezifischen Stromverbrauchs der Antriebsmaschinen, als auch fertigungstechnische Einschränkungen - ein großer Teil der Arbeitsprozesse kann wirtschaftlich nicht vollautomatisch betrieben werden - sind hier zu nennen /71/.

Der Sektor Straßen-, Luft- und Raumfahrzeugbau wird im wesentlichen vom Straßenfahrzeugbau bestimmt. Die Steigerung der absoluten Stromverbrauchswerte um nahezu 400 % von 1960-1982 ist sowohl auf die starke Zunahme der Kraftfahrzeugproduktion als auch auf den Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs (kWh/Kraftfahrzeug) zurückzuführen. In Tab. 3.8 sind für ausgewählte Jahre die spezifischen Stromverbrauchswerte angegeben.

	1960	1970	1975	1980	1982
Kraftfahrzeugproduktion in 10 ⁶ Stück /85/	2,05	3,84	3,18	3,87	4,06
Stromverbrauch im Straßenfahrzeugbau [33] in TWh /22/	2,24	6,03	5,98	8,10	8,51
result. spez. Stromverbrauch in kWh / Stück	1093	1570	1877	2090	2095

Tab. 3.8: Kraftfahrzeugproduktion und Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs im Straßenfahrzeugbau [33] /22, 85/

Die Erhöhung des spezifischen Stromverbrauchs ist in erster Linie auf die Bemühung der Kfz-Hersteller zurückzuführen, den Fertigungsprozeß weitgehend zu automatisieren. Als nächster Schritt wird der verstärkte Einsatz von Fertigungsroboter an den Fließbändern angestrebt, dies kann auch zukünftig den Kraftstrombedarf weiter ansteigen lassen. Neben verschiedenen

elektrischen Schweißverfahren wurden verstärkt elektrotechnologische Oberflächenbehandlungsverfahren zum Korrosionsschutz bzw. zur Fahrzeuglackierung in den Fertigungsablauf integriert.

Nach /71/ ist auch in diesem Sektor zukünftig mit einem leichten Anstieg der spezifischen Stromverbrauchswerte zu rechnen, der absolute Stromverbrauch wird aber hauptsächlich von der Entwicklung der Kfz-Produktion beeinflusst werden.

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Branchen ist bei der Elektrotechnik-Feinmechanik-Optik eine leichte Abnahme des spezifischen Stromverbrauchs festzustellen, obwohl gerade hier infolge verfeinerter Herstellungsverfahren und erhöhter Qualitätsanforderungen mit fossilem Brennstoff erzeugte Prozeßwärme durch Elektrowärme substituiert wurde. Nach /71/ erklärt sich diese Entwicklung u.a. mit dem Einsatz neuer Werkstoffe (z.B. Kunststoff), die zur Bearbeitung deutlich weniger Antriebsenergie benötigen. Ein Einfluß auf die rückläufige Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs wird auch dem 'Struktureffekt' zugeschrieben, da der Anteil hochwertiger Güter mit erhöhtem Produktionswert gegenüber dem Stromverbrauch angestiegen ist.

In Anlehnung an den Maschinenbau läßt auch die Branche Eisen-, Blech- und Metallwaren einen Anstieg der spezifischen Stromverbrauchswerte erkennen. Dies ist hier ebenfalls auf fortschreitende Mechanisierung, Automatisierung sowie verstärkten Elektrowärmeeinsatz zurückzuführen. Insbesondere galvanotechnische Verfahren zur Oberflächenverbesserung und Wärmebehandlungsverfahren zur Werkstoffgefügeänderung sind hier zu nennen.

3.9.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung

Tab. 3.9 zeigt, daß die Eigenstromerzeugung hinter der Entwicklung des gesamten Stromverbrauchs zurückgeblieben ist. Nach einem Anstieg bis Ende der '60er Jahre ist seit etwa 1973 wieder ein Rückgang der eigenerzeugten Kilowattstunden zu ver-

zeichnen. Größter Eigenstromerzeuger ist der Straßenfahrzeugbau, der Maschinenbau hat eher untergeordnete Bedeutung.

	Stromverbrauch in TWh /22/	Eigenerzeugung in TWh /22/	davon Fahrzeugbau in TWh	davon Maschinenbau in TWh
1960	9,15	1,28	0,99	0,20
1965	13,37	2,04	1,61	0,26
1970	18,94	2,66	2,17	0,32
1975	20,50	2,10	1,75	0,19
1980	25,99	2,19	1,78	0,25
1982	26,05	1,88	1,58	0,18

Tab. 3.9: Entwicklung der Eigenstromerzeugung in der Investitionsgüterindustrie für ausgewählte Jahre /15, 22, 67/

Die Eigenstromerzeugung wird fast ausschließlich in KWK-Anlagen mit Gegendruck- und Entnahmekondensationsmaschinen betrieben, wobei der Prozeßdampf im NT-Bereich von 150 - 200 °C ausgekoppelt wird. Ob Impulse von der Eigenstromerzeugung auf die Anwendung elektrotechnologischer Verfahren ausgegangen sind, ließ sich nicht feststellen.

3.9.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Fast ein Fünftel des gesamten Industriestromverbrauchs entfiel im Jahre 1982 auf die Investitionsgüterindustrie, die sich aus einer Vielzahl einzelner Wirtschaftszweige mit heterogener Produktionsstruktur zusammensetzt.

Wesentliche Gründe für den kontinuierlich angestiegenen Stromverbrauch liegen in der zunehmenden Automation der Fertigungsabläufe und dem verstärkten Einsatz elektrotechnologischer Verfahren. Ca. 10 % des Stromeinsatzes werden wärmetechnischen

Verwendungszwecken zugeschrieben, es handelt sich in erster Linie um Verfahren mit geringen einzelnen spezifischen Stromverbrauchswerten.

Die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs in der Investitionsgüterindustrie wird im wesentlichen davon abhängen, wie die Automation in den stromintensiven Wirtschaftszweigen, wie z.B. dem Straßenfahrzeugbau, weiter voranschreiten wird.

3.10 VERBRAUCHSGÜTERINDUSTRIE

3.10.1 Überblick

Der Endenergieeinsatz der Verbrauchsgüterindustrie hatte laut Energiebilanz 1982 mit 7,6 Mio t SKE einen Anteil von knapp 10 % am Gesamtenergieverbrauch der Industrie. In etwa der gleichen anteilmäßigen Größenordnung lag auch der Stromverbrauch (14,8 TWh entsprechend 10,5 %).

Tab. 3.10 zeigt, daß auf die Wirtschaftszweige Glasindustrie, Herstellung von Kunststoffwaren sowie das Textilgewerbe zusammen rund zwei Drittel des Energieverbrauchs entfallen. Beim Stromverbrauch sind deutliche Unterschiede in der anteiligen Bedeutung innerhalb der Branchen festzustellen.

	EEV des Sektors 10 ⁶ t SKE	Anteil am EEV des Sektors	Stromverbrauch des Sektors 10 ⁶ t SKE	Anteil am Stromverbrauch des Sektors	Anteil des Stroms innerhalb der Branchen
H.v.Glas	2,04 *	27,0 %	0,263	14,4 %	12,8 %
Textilgewerbe	1,99	26,3 %	0,479	26,3 %	24,0 %
H.v.Kunststoffwaren	1,03	13,7 %	0,436	23,9 %	42,0 %
ZWISCHENSUMME	5,08	66,9 %	1,178	64,6 %	/
Verbrauchsgüter- industrie	7,59	100,0 %	1,823	100,0 %	/

* eigene Berechnung

Tab. 3.10: Endenergie- und Stromverbrauch ausgewählter
Wirtschaftszweige der Verbrauchsgüterindustrie
im Jahre 1982 /1, 22/

Im folgenden wird für die Verbrauchsgüterindustrie zunächst eine energetische Gesamtbetrachtung durchgeführt. Die damit verbundene Problematik des hohen Aggregationsniveaus findet sich nochmals in den einzelnen Branchen selbst wieder, so daß die Detaillierung des Stromeinsatzes, insbesondere hinsichtlich spezifischer Verbrauchsangaben, in erster Linie nur allgemeine bisherige Entwicklungstendenzen aufzeigen kann.

3.10.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion

Der Verlauf der Endenergieträgerstruktur (Bild 3.46) zeigt vergleichbar der Investitionsgüterindustrie ähnliche Substitutionsentwicklungen innerhalb der Brennstoffe.

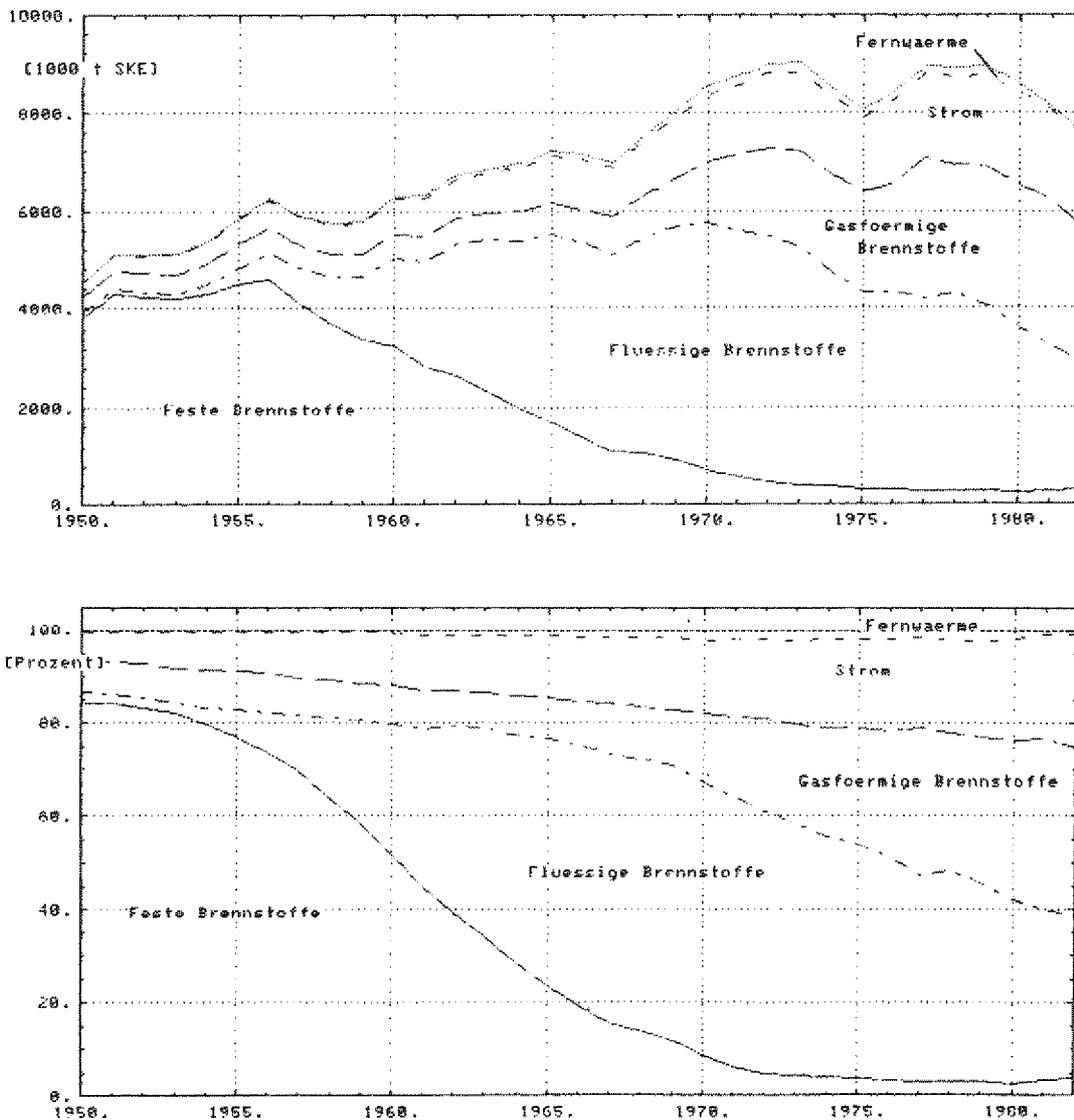


Bild 3.46: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der Verbrauchsgüterindustrie von 1950-1982 /1/

Die gasförmigen Energieträger, es handelt sich vorwiegend um Erdgas, konnten ihre Marktanteile Mitte der '60er Jahre zwar zu Ungunsten des Heizöls stark ausweiten, dennoch diesen Endenergieträger nicht gänzlich verdrängen. An der Endenergiebedarfsdeckung dieses Sektors waren im Jahre 1982 zu jeweils einem Drittel gasförmige und flüssige Brennstoffe beteiligt. Der Stromverbrauch zeigte auch hier einen kontinuierlichen Anstieg der relativen Anteile von 6 % im Jahre 1950 auf 24 % im Jahre 1982.

Wie aus Bild 3.47 hervorgeht, ist die Steigerung des Stromverbrauchs auf den gleichzeitigen Anstieg der Nettoproduktion und des spezifischen Stromverbrauchs zurückzuführen. Der spezifische Brennstoffverbrauch ist im betrachteten Zeitraum rückläufig.

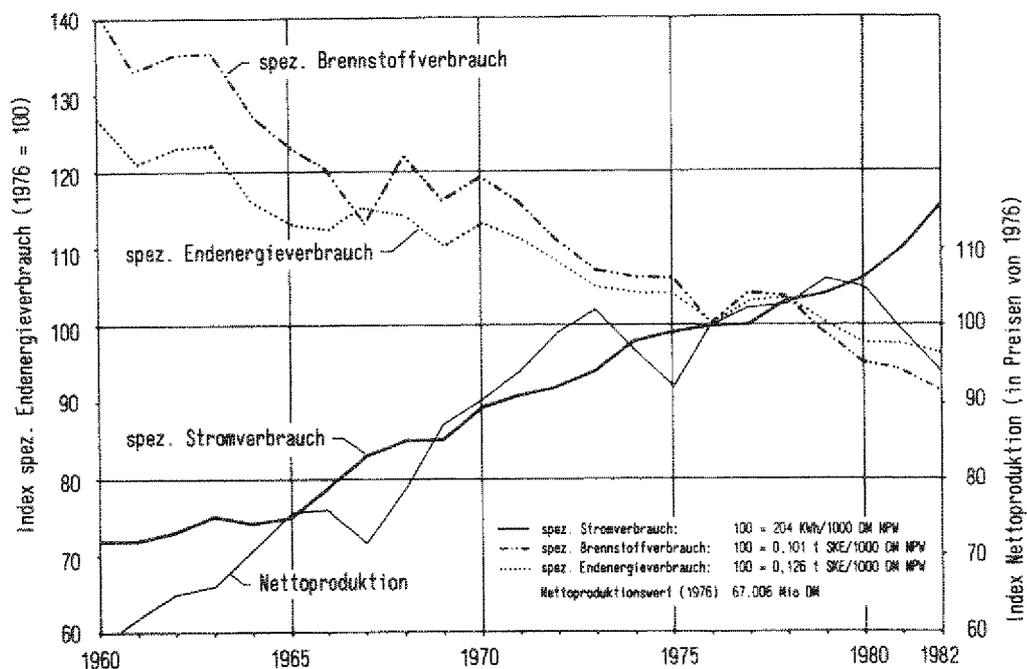


Bild 3.47: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in der Verbrauchsgüterindustrie von 1960-1982 /1,2/

3.10.3 Detaillierung des Stromeinsatzes

3.10.3.1 Stromeinsatz nach Verwendungszwecken

Die Darstellung des Stromeinsatzes nach Verwendungszwecken liegt für diesen Sektor ebenfalls nur für 1978 vor /5/. Auch hier wurde der Licht- und Kraftbedarf mit nahezu 100 % durch elektrische Energie abgedeckt. Der Prozeßwärmebedarf wurde nur zu 3 % über elektrotechnologische Verfahren bereitgestellt, dies entsprach 1/12 des Stromeinsatzes der Verbrauchsgüterindustrie. Nach /83/ wurde über die Hälfte des Wärmestroms in der Glasindustrie verbraucht.

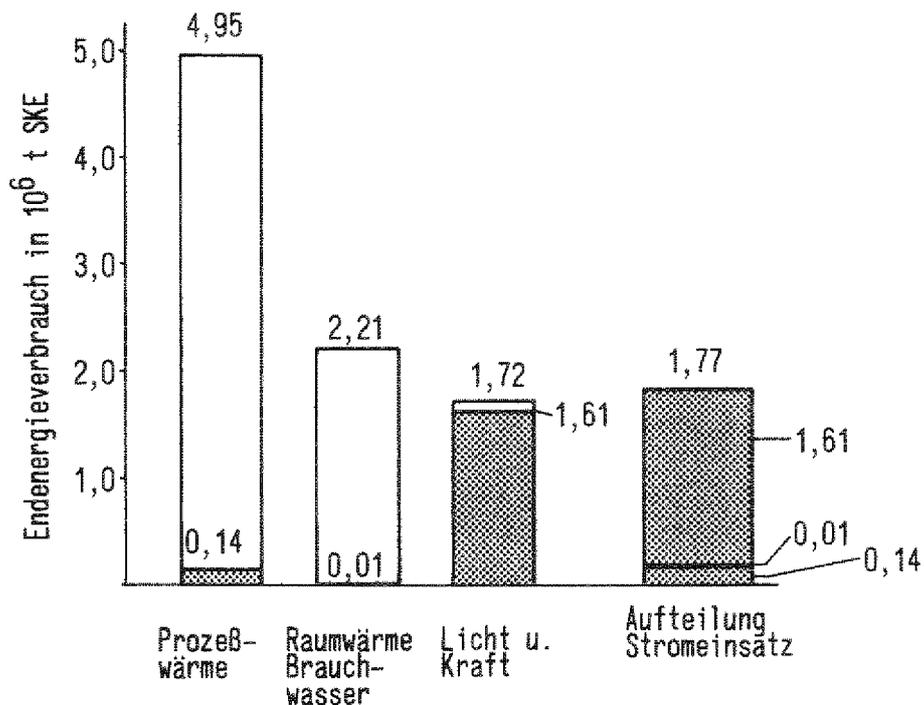


Bild 3.48: Stromeinsatz nach Verwendungszwecken in der Verbrauchsgüterindustrie im Jahre 1978 /5/

3.10.3.2 Elektrizitätseinsatz in den einzelnen Wirtschaftszweigen

3.10.3.2.1 Gesamtüberblick

Die zusammengefaßte Darstellung der Entwicklung des Stromverbrauchs läßt unterschiedliche Entwicklungstendenzen in den einzelnen Branchen erkennen (Bild 3.49).

Während die Herstellung von Kunststoffwaren einen deutlichen Anstieg zu verzeichnen hat, stagniert der Stromverbrauch der Textilindustrie seit Beginn der '70er Jahre. Zuwachsraten des absoluten Stromverbrauchs sind seit 1970 desweiteren in der Glasindustrie zu finden.

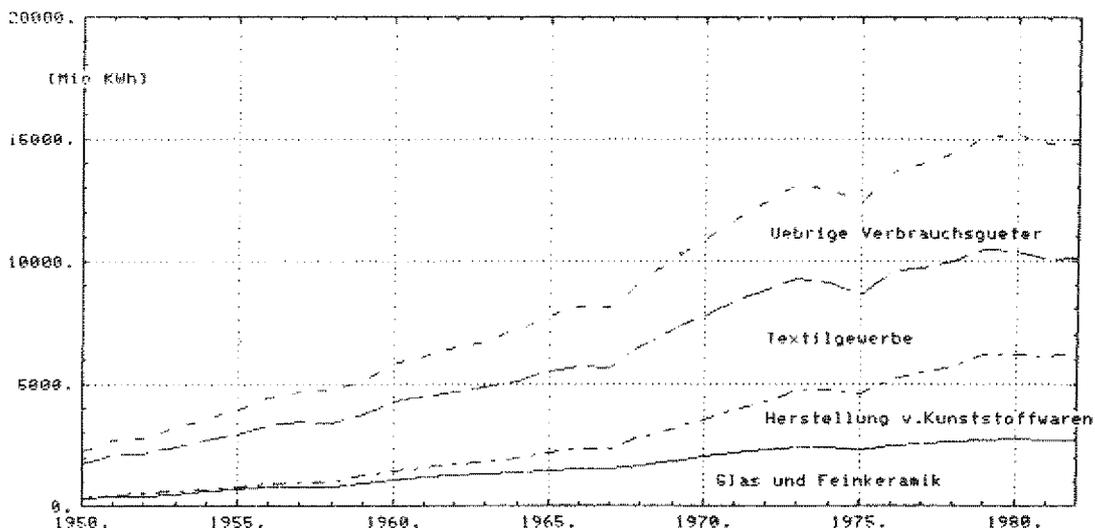


Bild 3.49: Entwicklung des Stromverbrauchs in der Verbrauchsgüterindustrie nach Verbrauchsgruppen von 1950-1982 /1/

3.10.3.2.2 Glasindustrie

Die Glasindustrie setzt sich aus wenigen großen, auf die automatisierte Erzeugung von Massenglas spezialisierten Betrieben und einer Vielzahl von mittleren und kleinen, stark nach Produkt-

sparten differenzierten Betrieben zusammen. Dementsprechend vielfältig ist auch die Produktionsstruktur, die sich übergeordnet in die Glasarten Flachglas (Tafel- und Fensterglas) und Hohlglas (Flaschen- und Verpackungsgefäße) gliedert. Mengen- und umsatzmäßig überwiegt das Hohlglas.

Bild 3.50 stellt die Entwicklung der spezifischen Verbrauchswerte bis 1977 dar. Der starken Verminderung des spezifischen Brennstoffeinsatzes steht eine langsame aber stetige Zunahme des spezifischen Stromverbrauchs gegenüber. Die Tendenz eines verstärkten Stromeinsatzes setzte sich über 1977 hinaus weiter fort. Bei dieser Form der Darstellung ist zu berücksichtigen, daß sich die spezifischen Energieeinsätze als Mittelwert von unterschiedlich energieintensiven Produkten ergeben. Ebenfalls sind die Einflüsse einer Produktionsstrukturverschiebung, wie z.B. zugunsten des mit geringerem Energieverbrauch herzustellenden Hohlglases, nicht zu erkennen.

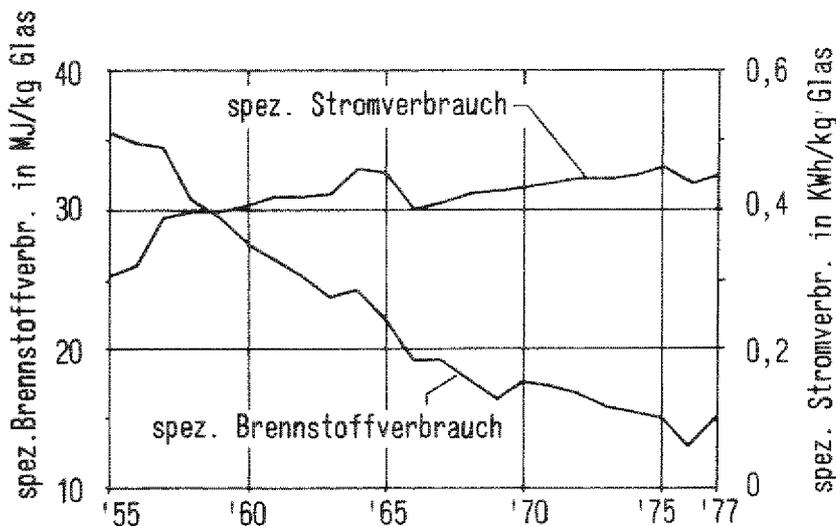


Bild 3.50: Entwicklung des spezifischen Brennstoff- und Stromverbrauchs in der Glasindustrie von 1955-1977 /86/

Die mit Bild 3.50 aufgezeigte Zunahme des spezifischen Stromeinsatzes ist auch in dieser Branche zunächst auf verstärkte Mechanisierung der Produktion zurückzuführen. Dies gilt besonders für die Erzeugung von Massenglas in Großbetrieben. Desweiteren

ist die Einführung der Elektroschmelze, sowohl in Form der elektrischen Zusatzheizung als auch der vollelektrischen Glasschmelzung, zu nennen.

Der energieintensivste Prozeß in der Glasindustrie ist das Einschmelzen der Glasmasse aus den Rohstoffen und dem als Kreislaufmaterial zugesetzten Glasbruch, hier werden rund 80 % der eingesetzten Energie verbraucht. Die Schmelztemperatur der gebräuchlichsten Glassorten liegt zwischen 1450 und 1550 °C.

Zum Schmelzen größerer Glasmengen verwendet man kontinuierlich betriebene Wannenöfen, die fast ausschließlich mit Öl oder Gas beheizt werden. In den letzten Jahren gewann die elektrische Energie als Zusatzheizung immer mehr an Bedeutung. Für größere Anlagen hat sich die direkte Widerstandsheizung bewährt, bei der das Glas selbst als Widerstandskörper dient.

Einführungsgründe dieser Technik sind zunächst auf der Qualitätsseite zu finden. Man erreicht eine günstigere Temperaturverteilung innerhalb der Wanne und damit bessere Homogenisierung der Glasmasse, desweiteren ist ein größerer Scherbeneinsatzanteil möglich. Darüber hinaus kann die Schmelzleistung beachtlich gesteigert werden. Man kann hier sicherlich von einem vorhandenen Einfluß auf die in Bild 3.50 dargestellte Entwicklung des spezifischen Brennstoffverbrauchs ausgehen und von einer Substitution der fossilen Endenergieträger durch Elektrizität sprechen.

Das vollelektrische Glasschmelzen wird insbesondere bei der Herstellung von Spezialgläsern mit hohen Anforderungen an Qualität und Reinheit verwendet. Weitere Elektrowärmeanlagen finden sich in der Beheizung der Arbeitswannen und Auslaufrinnen des geschmolzenen Glases.

Nach /5/ hat der Elektrowärmestrom im Jahre 1978 einen Anteil von rund 27 % am Elektrizitätseinsatz dieser Branche. Neben einer Verbesserung der Produktqualität und Verkürzung der Einschmelzzeiten können zukünftig auch Fragen des Umweltschutzes

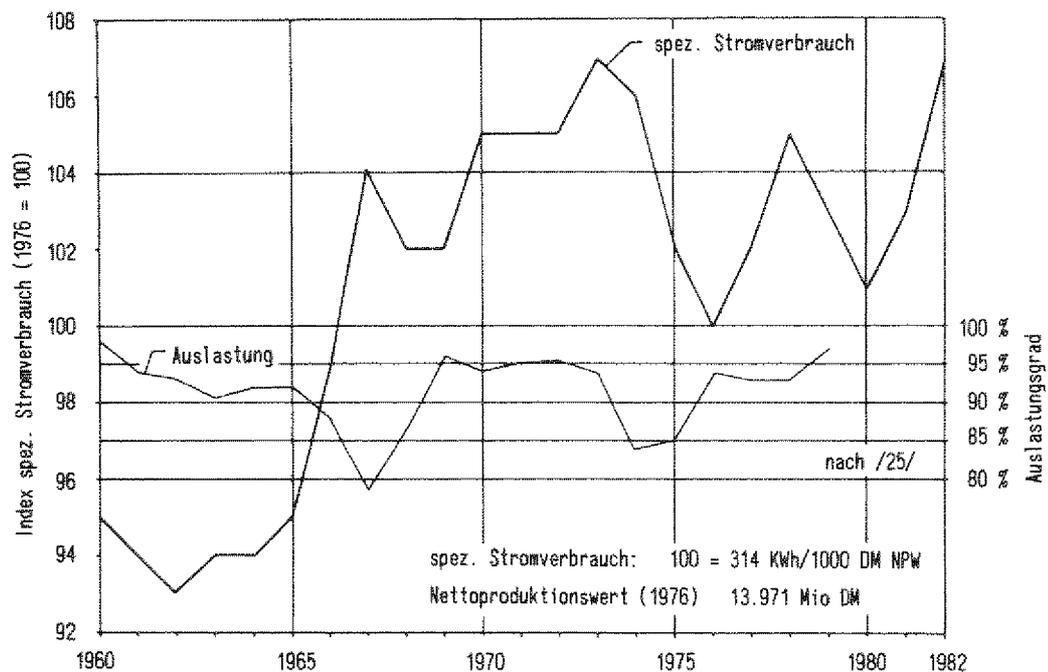


Bild 3.51: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs
in dem Textilgewerbe von 1960-1982 /1, 2/

Die beiden wichtigsten Verarbeitungsverfahren sind Extrudieren und Spritzgießen, Energie wird hier hauptsächlich zum Aufschmelzen und Formen der Kunststoffe eingesetzt.

Elektrische Energie wird beim Spritzgießen überwiegend für Pumpen- und Antriebsmotoren, Heizbänder, Werkzeugtemperiergeräte sowie für Steuerungszwecke verwendet. Der Verarbeitungsprozess ist dadurch gekennzeichnet, daß Energie nur sehr kurzfristig zum Aufschmelzen und Formen zugeführt und ebenso kurzfristig aus dem Werkstoff wieder abgeführt werden muß. Aufgrund der guten Steuerungsmöglichkeiten und der vielfältigen Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung finden sich in diesem Sektor günstige Bedingungen für den Elektrowärmeinsatz.

Beim Extrudieren handelt es sich im Gegensatz zum Spritzgießen um ein kontinuierlich arbeitendes Verfahren, bei dem größere Massenmengen pro Zeiteinheit verarbeitet werden. Elektrische

Energie dient hier in erster Linie zur Deckung des Kraftbedarfs.

Der spezifische Stromverbrauch ist in den vergangenen 20 Jahren leicht angestiegen. Nach /73, 83/ ist nicht mit einer Fortsetzung dieses Trends zu rechnen, da noch vielfältige Möglichkeiten zur Einsparung von elektrischer Energie in der kunststoffverarbeitenden Industrie gegeben sind.

3.10.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung

Der Anteil des eigenerzeugten Stroms betrug für die Verbrauchsgüterindustrie im Jahre 1982 etwas über 8 % (1,2 TWh). Es überwiegt die Kraft-Wärme-Kopplung in Gegendruck- bzw. Entnahmekondensationsmaschinen (rd. 0,9 TWh) und die reine Stromerzeugung mit Wasserturbinen (0,2 TWh).

Mit 0,76 TWh ist das Textilgewerbe der größte Eigenstromerzeuger. Begünstigt aufgrund des benötigten Prozeßwärmeniveaus von 60 bis 140 °C überwiegen auch hier die KWK-Anlagen. Allerdings ist der Eigenstromanteil in der Textilbranche von 32 % im Jahre 1965 auf rund 19 % im Jahre 1982 abgefallen. Als Gründe werden ungünstige Vertragsbedingungen mit den EVU's, erhöhte Betriebsstromkennzahl und unterlassene Neuinvestitionen für Stromerzeugungsanlagen angegeben /87/.

3.10.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Die Verbrauchsgüterindustrie ist durch einen stetigen Anstieg der absoluten und relativen Stromverbrauchswerte gekennzeichnet. Im Jahre 1982 trug die elektrische Energie mit 14,8 TWh zu knapp einem Viertel zur Endenergiebedarfsdeckung dieses Sektors bei.

Die Steigerung des Stromverbrauchs ist auf den gleichzeitigen Anstieg der Nettoproduktion und des spezifischen Stromverbrauchs zurückzuführen. Als Gründe für die deutliche Erhöhung

der spezifischen Stromverbrauchswerte sind in erster Linie zunehmende Mechanisierung und Erhöhung der Durchsatzgeschwindigkeit zu nennen. Dementsprechend wird elektrische Energie in den einzelnen Branchen überwiegend für Antriebszwecke eingesetzt, eine Ausnahme bildet die Glasindustrie mit elektrischen Schmelzanlagen.

Nach /73/ wird sich der Trend eines steigenden spezifischen Stromverbrauchs auch zukünftig fortsetzen, so daß in diesem Sektor eine leichte Steigerung des Stromverbrauchs bei unveränderter wirtschaftlicher Entwicklung möglich erscheint.

3.11 NAHRUNGS- UND GENUSSMITTELINDUSTRIE

3.11.1 Überblick

Die Statistik weist für die Nahrungs- und Genußmittelindustrie im Jahre 1982 5,8 Mio t SKE als Endenergieverbrauch aus, das entsprach 7,6 % des Energieverbrauchs der Industrie. Der Strombedarf lag im gleichen Jahr bei rund 7,7 TWh, entsprechend 1/20 des gesamten Industriestromverbrauchs.

Gemäß der Systematik der Energiebilanz /1/ zeigt Tab. 3.11 die weitere Unterteilung des Sektors. Die energieintensiven Branchen, auch hinsichtlich des Stromverbrauchs, sind die bier-, milchprodukte- und zuckerherstellenden Bereiche. In der Energiebilanz ist die Zuckerindustrie gesondert ausgewiesen, die milchverarbeitende Industrie der 'Übrigen Nahrungsmittelindustrie' zugeordnet und die Bierindustrie unter Genußmittel zu finden.

	Anteil am EEV des Sektors	Anteil am Stromverbrauch des Sektors	Anteil des Stroms innerhalb der Branchen
Zuckerindustrie	23,0 %	11,0 %	7,6 %
Übriges Nahrungsmittel- gewerbe (incl. Milcherzeugung)	58,0 %	70,0 %	19,5 %
Genußmittelgewerbe (incl. Biererzeugung)	19,0 %	19,0 %	11,4 %

Tab. 3.11: Gliederung der Nahrungs- und Genußmittelindustrie und jeweilige Anteile am Endenergieverbrauch im Jahre 1982 /1/

Eine Betrachtung der Verarbeitungstechniken in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie ist aufgrund der Vielfalt der Produktgruppen nicht möglich. Im folgenden können deshalb nach einer energetischen Gesamtbetrachtung lediglich die Verwendungszwecke der elektrischen Energie allgemein aufgezeigt werden.

3.11.2 Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nettoproduktion

Die Entwicklung der Endenergeträgerstruktur (Bild 3.52) zeigt die große Bedeutung der flüssigen Brennstoffe, obgleich mit Beginn der '70er Jahre Erdgas seine Marktanteile rasch ausweiten konnte. Auffallend ist auch hier der sich stetig vergrößernde Anteil des Stromverbrauchs am Endenergieverbrauch. Seit 1960 hat sich der absolute Stromverbrauch mehr als verdreifacht.

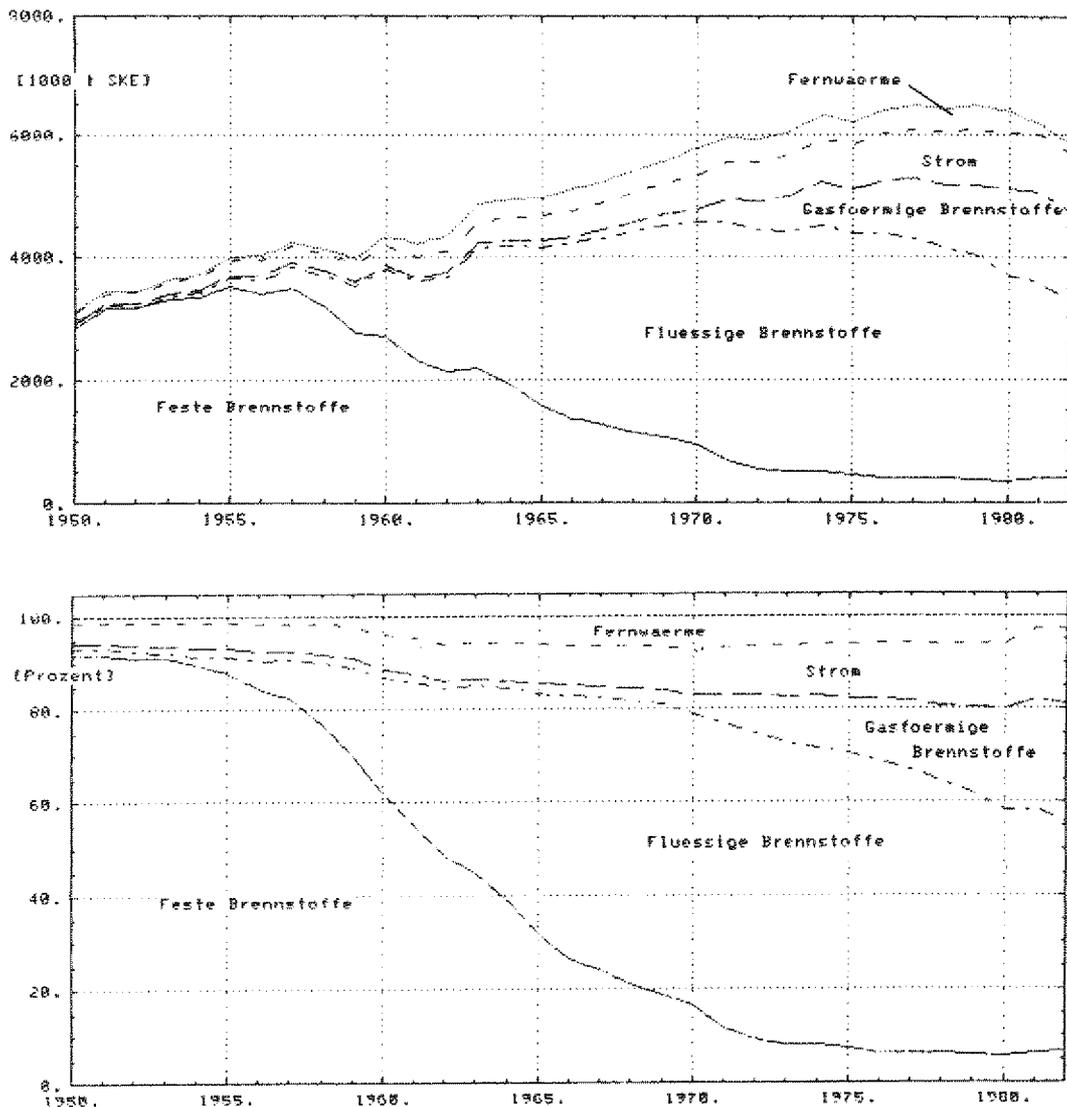


Bild 3.52: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Energieträgerstruktur in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie von 1950-1982 /1/

Ähnlich wie in anderen Industriezweigen ist auch in diesem Sektor das Wachstum der Nettoproduktion von einer Senkung des spezifischen Brennstoffverbrauchs und einer Erhöhung des spezifischen Stromverbrauchs begleitet, letztere Entwicklung verlief seit 1965 ausgesprochen stetig.

Nach /88/ ist die Abnahme des spezifischen Endenergieverbrauchs bzw. Brennstoffverbrauchs nicht nur durch technologische Verbesserungen in den Betrieben, sondern u.a. auch durch Änderung der Produktpalette zu weniger energieintensiven Produkten zu erklären.

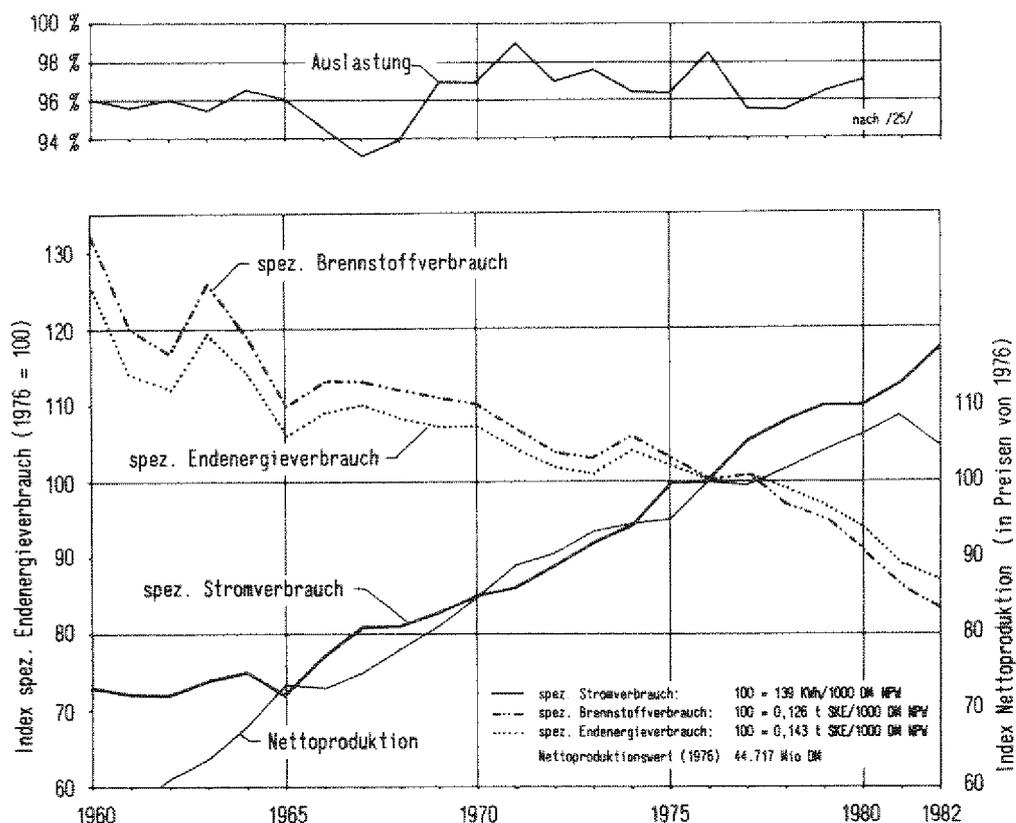


Bild 3.53: Entwicklung des spezifischen Endenergieverbrauchs in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie von 1960-1982 /1,2/

3.11.3 Detaillierung des Stromeinsatzes

Das Statistische Bundesamt weist für die Nahrungs- und Genußmittelindustrie 18 einzelne Wirtschaftszweige aus. Der durchschnittliche Stromverbrauch je Wirtschaftszweig lag im Jahre 1982 zwischen 0,1 und 0,3 TWh. Ausnahmen bildeten die Zuckerindustrie (0,9 TWh), die Molkereien (0,8 TWh) und die Brauereien (1,0 TWh).

Nach /5/ teilt sich der Stromeinsatz in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie im Jahre 1978 zu 85 % auf Kraft, zu 7 % auf Licht und schließlich zu 8 % auf eine wärmetechnische Verwendung auf. Neueres Zahlenmaterial liegt nicht vor.

Der in Bild 3.53 dargestellte Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs erklärt sich durch einen steigenden Automatisierungsgrad und höhere Anforderungen an die Durchsatzgeschwindigkeit der Produktionsanlagen. Dies ist unmittelbar mit einem verstärkten Kraftstrombedarf verbunden. Neben vielfältigen Transport- und Förderanlagen sind Mühlen, mechanische Trennanlagen und Kühlmaschinen zu nennen. Auch Forderungen des Umweltschutzes (z.B. Abwasseraufbereitung in der Zuckerindustrie) haben den Elektrizitätseinsatz begünstigt, so daß der Kraftbedarf in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie der hauptsächliche Verwendungszweck ist.

Mit einem Anteil von 8 % hat die wärmetechnische Verwendung nur eine untergeordnete Bedeutung. Dies erscheint auf den ersten Blick verwunderlich, da ein hoher Automatisierungsgrad und vielfach notwendige Trocknungs- und Erwärmungsprozesse den Elektrowärmeeinsatz begünstigen müßten. Nach /41/ begründet sich der geringe Elektrowärmeeinsatz zum einen an den niedrigen Prozeßtemperaturen und damit der möglichen Konkurrenz durch Dampf als Energieträger, zum anderen ergeben sich in diesem Bereich in der Regel nur wenige besondere technologische Vorteile bei der Elektrowärmeanwendung. Der Aufwand für die Anpassung der elektrischen Verfahren und Anlagen an die Produktvielfalt ist nach /41/ ebenfalls als Hindernis zu sehen.

3.11.4 Eigenstromerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung

Im Bereich der Nahrungs- und Genußmittelindustrie konnte die Eigenstromerzeugung nicht mit der Entwicklung des Stromverbrauchs mithalten. Wurde im Jahre 1965 noch rund ein Viertel des Stromverbrauchs eigenerzeugt, so betrug der Anteil 1982 nur noch 12 % (1,4 TWh). Entsprechend dem benötigten Temperaturniveau überwiegt derzeit die Eigenstromerzeugung in Gegendruckmaschinen (rund 90 %).

Nach /88/ liegen die Gründe für den Rückgang des Eigenstromanteils u.a. in zunehmender Betriebsstromkennzahl, die Neu- bzw. Ersatzinvestitionen für Stromerzeugungsanlagen erforderlich machte, welche aus betrieblichen oder finanziellen Gründen nicht realisiert wurden. Desweiteren werden ungünstige Vertragsbedingungen mit den jeweiligen EVU's insbesondere für kleinere Betriebe aufgeführt.

Bei Betrachtung der einzelnen Wirtschaftszweige zeigt sich, daß lediglich die Zuckerhersteller konsequent die Möglichkeit der Kraft-Wärme-Kopplung nutzen. Der Anteil der Eigenstromerzeugung liegt hier deutlich über 95 %, teilweise wird sogar Überschußstrom an das Netz abgegeben.

Mögliche Zusammenhänge zwischen Eigenstromerzeugung in KWK-Anlagen und dem Einsatz von Elektrowärme wurden bereits im vorhergehenden Kapitel angesprochen. Bei niedrigen Prozeßtemperaturen ist der durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Dampf als Konkurrenzenergieträger zu Elektrowärmeanlagen zu sehen. Ähnlich den Verhältnissen in der Papierindustrie liegen in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie auch hier Hemmnisse für eine verstärkte Elektrowärmeanwendung.

3.11.5 Zusammenfassung und Entwicklungstendenzen

Bei einem Stromverbrauch von rund 7,7 TWh (1982) war die gesamte Nahrungs- und Genußmittelindustrie nicht zu den industriellen Großabnehmern zu zählen, obgleich mit durchschnittlich über 16 %-Anteilen die Elektrizität im Sektor selbst eine nicht unbedeutende Stellung einnahm.

Der Stromverbrauch verteilt sich auf eine Vielzahl verschiedener Wirtschaftszweige, von denen die bier-, milchprodukte- und zuckerherstellenden Bereiche zu den stromintensivsten zu zählen sind.

Im Verlauf der letzten 20 Jahre zeigt der spezifische Stromverbrauch einen ausgeprochen stetigen Anstieg. Dies begründet sich u.a. mit zunehmender Automation in den Betrieben, so daß Elektrizität in diesem Sektor überwiegend den Kraftbedarf für die verschiedensten Antriebsmaschinen deckt. Der Stromeinsatz für Elektrowärmezwecke hat untergeordnete Bedeutung.

Aufgrund der Heterogenität ist schlecht eine Gesamtaussage zu treffen. Dennoch läßt die zukünftige Entwicklung der Nahrungs- und Genußmittelindustrie in Richtung Zentralisierung auf Großbetriebe, weitere Automation der Produktionsanlagen und verstärkte Umweltschutzmaßnahmen für den spezifischen Stromverbrauch eine steigende Tendenz erwarten. Ähnlich der Verbrauchs-
güterindustrie erscheint auch in der Nahrungs- und Genußmittelindustrie bei unveränderter wirtschaftlicher Entwicklung eine leichte Steigerung des Stromverbrauchs denkbar.

4 EINFLUSS DER HTR-TECHNOLOGIE AUF DIE INDUSTRIELLE ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

4.1 Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland findet die großtechnische Kernenergienutzung ihr hauptsächliches Anwendungsfeld derzeit in der Elektrizitätserzeugung mit Leichtwasserreaktoren (LWR). Mit der Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren (HTR) wurde der Kernenergie ein zusätzliches Nutzungspotential erschlossen, das von den heute in Betrieb befindlichen Druck- und Siedewasserreaktoren nicht erreicht werden kann.

Wichtigstes Kriterium ist das höhere nutzbare Temperaturniveau des HTR's, das derzeit bei bis zu 950 °C (Heißgastemperatur am Kernaustritt) im Dauerbetrieb liegt. Damit ist dieses Reaktorsystem in der Lage, zusätzlich eine Reihe von Technologien verfügbar zu machen, die in unterschiedlichen Bereichen der Energieversorgung zum Einsatz kommen können.

Im folgenden soll ein Ausblick über den möglichen Einfluß der HTR-Technologie auf die industrielle Elektrizitätswirtschaft gegeben werden. Das heißt, es wird der Frage nachgegangen, ob mit Einführung dieser Technologie Auswirkungen auf den industriellen Stromeinsatz erkennbar sind.

4.2 Status und Möglichkeiten des HTR's

Die Schrittfolge der bundesdeutschen HTR-Entwicklung und Markteinführung ging über den AVR in Jülich (15 MW_{e1}) zu der HTR-Prototypanlage THTR-300 in Hamm-Uentrop (300 MW_{e1}). Als Nachfolgeprojekte wurden zunächst HTR-Zweikreisanlagen zur gekoppelten Strom- und Prozeßwärmeerzeugung als Kompakt- bzw. Modulanlage konzipiert.

Beide derzeit diskutierte Konzepte beruhen auf dem Kugelhaufenreaktor und zielen auf kleinere Einheiten, die die inhärenten Sicherheitsaspekte dieser Konstruktion am besten nutzen können.

Während die erste Variante vornehmlich für die kombinierte Prozeßdampf- und Stromerzeugung geplant ist, eröffnen die beiden anderen Konzepte die Möglichkeit der Produktion von Sekundärenergieträgern. Aus den Ausgangsstoffen Wasser, Öl, Naturgas, Steinkohle und Braunkohle lassen sich, je nach Zielsetzung und Verfahrenstechnologie, Wasserstoff (H_2), Synthese- bzw. Reduktionsgas ($CO + H_2$), synthetisches Erdgas (CH_4) oder Kohlenwasserstoffe bzw. ungesättigte Kohlenwasserstoffe gewinnen /90/. Die Produkte eignen sich für Reduktionsprozesse, für die Methanolproduktion, für die Ammoniakproduktion, für die Stahlproduktion, für industrielle Wärme etc..

In Bild 4.2 sind Beispiele zu den möglichen Anwendungsbereichen der HTR-Prozeßwärme und die vielschichtige Verwendung der umgewandelten Energie- bzw. Rohstoffträger aufgezeigt.

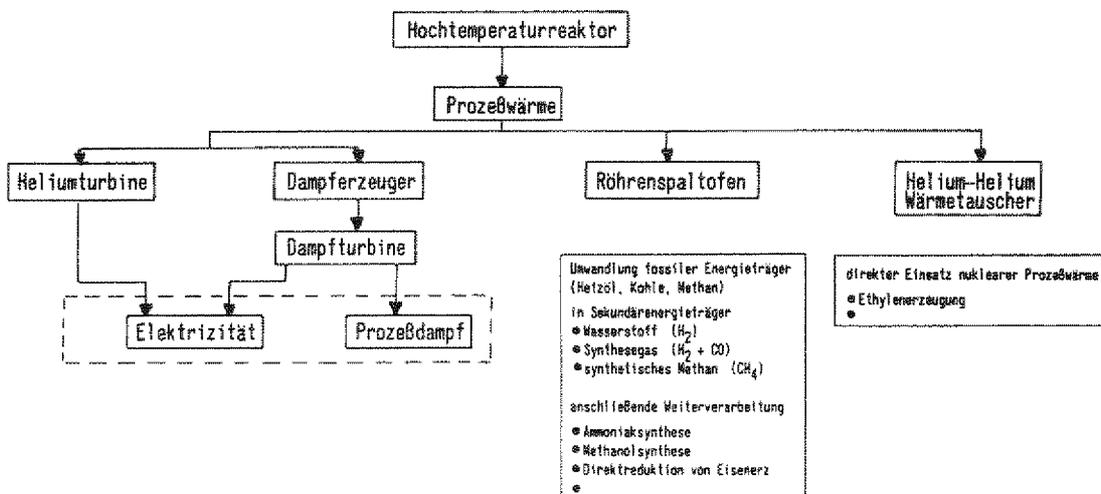


Bild 4.2: Konzeptmöglichkeiten zur HTR-Prozeßwärmenutzung

Für die Kerntechnik besteht die Möglichkeit, den nichtelektrischen Energiemarkt über die konventionelle Dampftechnologie oder über die direkte Einkopplung nuklearer Wärme zu erschließen. Voraussetzungen des wirtschaftlichen Einsatzes der HTR-

Wärme in der Industrie (die Möglichkeit des Verbundbetriebes mit einem EVU soll hier nicht diskutiert werden) sind:

- hoher Prozeßwärmebedarf
- hohe Auslastung der industrieeigenen Kraftwerke
- starke räumliche Konzentration
- Produkte haben bzw. lassen ein großes Produktionsvolumen erwarten
- Finanzierungsmöglichkeit.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Chemische Industrie und auf die Eisenschaffende Industrie, da hier günstige Voraussetzungen für den Einsatz eines Hochtemperaturreaktors vorliegen.

4.3 HTR-Einsatz in der Chemischen Industrie

Grundsätzlich ist der Hochtemperaturreaktor in der Lage, das gesamte Spektrum der von den Industriebetrieben der Chemie benötigten Sekundärenergieformen (hochtemperaturige Wärme bis derzeit 950 °C, mittel- und niedertemperaturige Wärme in Form von Wasserdampf, elektrischer Strom) abzudecken.

Nach /91, 92/ ist ein Einsatzpotential für nukleare Wärme im Bereich der Chemie für folgende Verwendungsmöglichkeiten gegeben:

- kombinierte Strom- und Prozeßdampferzeugung
- direkte Einkopplung hochtemperaturiger Wärme in den Naphtha-Spaltprozeß zur Ethylenerzeugung
- Nutzung hochtemperaturiger Wärme zur Synthesegas- und Wasserstoffherstellung
(als Grundlage für die Weiterverarbeitung in der Methanol- und Ammoniaksynthese, für Hydrierungs- und Reduktionsprozesse)

Desweiteren wird langfristig an die Rohbenzinbereitstellung mittels Hydrocrack-Anlagen oder an die Methangewinnung (synth. Erdgas) aus Kohle gedacht.

Der Einsatz von HTR-Zweikreisanlagen zur kombinierten Strom- und Prozeßdampferzeugung wird in erster Linie die vorhandenen KWK-Anlagen ergänzen bzw. ersetzen können. Nach /89/ können bei einer Frischdampf- wie auch eine Entnahmekondensationsturbine eingesetzt werden. Die Wärme für das Prozeß- oder Heizdampfsystem wird über einen Dampfumformer ausgekoppelt, damit die für den Durchlauf-Dampferzeuger notwendige hohe Wasserqualität nicht beeinflußt wird.

Auswirkungen auf den industriellen Stromeinsatz sind bei dieser Anwendungsmöglichkeit der nuklearen Prozeßwärme nicht zu erwarten. Es bleibt anzumerken, daß sich die Stromkennzahl gegenüber den bisherigen KWK-Anlagen anheben läßt, was den Erfordernissen der Chemischen Industrie entgegen kommt (vgl. Kap. 3.5.4).

Ein weiteres Einsatzpotential für HTR-Wärme ist die Ethylen-Erzeugung. Die bisherige Methode der direkten Verfeuerung fossiler Energieträger (Gas, Heizöl) im Röhrenspaltofen zur Leichtbenzinspaltung kann durch Einkopplung nuklearer Prozeßwärme ersetzt werden.

Wie in Kap. 3.5.3.6 dargestellt, konnte mit dem Übergang zu Dampfturbinenantrieben der spezifische Kraftstromverbrauch stark gesenkt werden. Über die Abhitzeverwertung der Spaltgase im Quenchkühler und der Rauchgase zur Erzeugung von hochgespanntem und überhitztem Turbinendampf ist es möglich geworden, alle Hauptantriebsmaschinen von Crackanlagen über 100.000 t Ethylen/a mit Eigendampf zu betreiben.

Mit dem Übergang auf die nukleare Prozeßwärmeeinkopplung im Röhrenspaltofen geht die Möglichkeit der Abhitzeverwertung der Rauchgase verloren. Es bietet sich aber an, das nach der Crackreaktion mit ca. 700 °C austretende Helium u.a. zur Prozeßdampferzeugung zu nutzen. Desweiteren kann nach wie vor mit den Quenchkühlern HD-Dampf für Antriebszwecke bereitgestellt werden, so daß keine gravierenden Änderungen des spezifischen Stromverbrauchs bei der Ethylenproduktion mit dem Übergang zur nuklearen Wärmeeinkopplung zu erwarten sind.

Als weiteres und nicht nur auf die Chemische Industrie beschränktes Einsatzgebiet für nukleare Hochtemperaturwärme bietet sich die Erzeugung von Wasserstoff (H_2) bzw. von Synthesegas ($H_2 + CO$) durch Umwandlung fossiler Energieträger (Heizöl, Methan, Kohle) mittels Wasserdampf an. Die Produkte eignen sich sowohl für die Ammoniak- als auch für die Methanolproduktion.

Die Ammoniakerzeugung geht in Einstrang-Anlagen vor sich, d.h. die Synthesegaserzeugung und die eigentliche Ammoniaksynthese erfolgen in einer geschlossenen Betriebseinheit. Auch hier wird über prozeßinterne Abwärmenutzung HD-Dampf zu Antriebszwecken bereitgestellt (vgl. Kap. 3.5.3.7). Wärmequellen sind die Rauchgase des Spaltofens, die Verbrennung des Rest-Methans im Sekundär-Reformer sowie die NH_3 -Synthese selbst. Es erscheint auch bei diesem Prozeß möglich, mit dem Übergang zur nuklearen Synthesegaserzeugung den notwendigen Dampfbedarf für Antriebszwecke zu decken, so daß keine zusätzliche elektrische Antriebsenergie erforderlich wird.

Wie bei der Ammoniakerzeugung geht die Methanolerzeugung in Einstrang-Anlagen unter Ausnutzung prozeßinterner Dampferzeugung für Antriebszwecke vor sich. Als Rohstoffbasis können unterschiedliche Energieträger (Erdgas, Benzin, schwere Rückstandsöle, Kohle) Verwendung finden, der weitaus größte Teil des produzierten Methanols wird aus Erdgas hergestellt. Bei diesem Prozeß erscheint es ebenfalls möglich, auch bei nuklearer Prozeßwärmeeinkopplung den erforderlichen Dampfbedarf bereitzustellen. Nach /91/ könnte die Kernenergienutzung zur Methanolerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland dazu führen, daß die Synthesegasherstellung von der eigentlichen Methanolsynthese räumlich getrennt werden muß. Dies wäre z.B. bei Verwendung der wirtschaftlich nicht transportierbaren Braunkohle als Vergasungsrohstoff denkbar. Selbst in diesem Fall ist nicht mit einer Erhöhung des spezifischen Antriebsstromverbrauchs zu rechnen.

Zusammenfassend läßt sich für den Bereich der Chemischen Industrie feststellen, daß bei der Einkopplung nuklearer Prozeßwärme in den angesprochenen Verfahrensgängen der Ethylen-, Ammoniak- und Methanolerzeugung keine gravierenden Veränderungen des spezifischen Stromeinsatzes erkennbar sind. Für den Gesamtbereich der Chemie ist denkbar, daß mit einem höheren zur Verfügung stehenden Dampfangebot aus HTR-Anlagen und verstärkter Abwärmenutzung die Tendenz, Antriebsenergie mit Dampfturbinen bereitzustellen, anhält, und somit Dampf zukünftig in verstärkte Konkurrenz zur elektrischen Antriebsenergie tritt.

4.4 HTR-Einsatz in der Eisenschaffenden Industrie

Im Gegensatz zur Chemischen Industrie läßt der Einsatz eines Hochtemperaturreaktors in der Eisenschaffenden Industrie deutliche Auswirkungen auf den Stromverbrauch dieses Sektors erwarten. Wie in Kap. 3.3.2 dargestellt, sind zur Zeit in der Bundesrepublik Deutschland zwei Verfahrenslinien (Oxygenstahl- sowie Elektrostahlerzeugung) vorherrschend. Die dritte Verfahrenslinie (Direktreduktion mit anschließender Weiterverarbeitung im Elektrolichtbogenofen) findet in der Bundesrepublik kaum Anwendung, da sie die Verfügbarkeit an kostengünstigem Gas voraussetzt.

Für den Hochtemperaturreaktor ergeben sich nach /91, 94/ folgende Einsatzmöglichkeiten in der Eisen- und Stahlindustrie:

- Erzeugung von Reduktionsgas (H_2 , $H_2 + CO$, CH_4)
(sowohl für die Direktreduktion als auch für den Hochofeneinsatz)
- Bereitstellung von Strom zur Elektrostahlerzeugung
- Deckung eines Teils der Reaktionswärme und der Wärme zur Aufheizung des Reduktionsgases und des Eisenerzes bei der Direktreduktion

Nach /94/ wird als aussichtsreichste Form der Kombination Hochtemperaturreaktor - Hüttenwerk der nichtintegrierte Einsatz angesehen, d.h. der HTR steht dabei an einem für die Reduktionsgaserzeugung günstigen Standort, das Gas wird über ein Leitungssystem in die Hüttenwerke geliefert und der gleichzeitig erzeugte Strom kann in das Verbundnetz eingespeist werden.

Während der Reduktionsgaseinsatz im Hochofen sowie die teilweise Deckung des Reaktions- bzw. Aufheizungswärmebedarfs (letzteres setzt den integrierten Einsatz im Hüttenwerk voraus) keinen wesentlichen Einfluß auf den Stromeinsatz in der Eisenschaffenden Industrie erkennen lassen, ist die verstärkte Anwendung der Eisenschwammtechnologie mit einer Erhöhung der Elektro Stahlproduktion und dementsprechend mit einem höheren Stromverbrauch in den Elektrostahlwerken verbunden.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Industrie ist seit über 20 Jahren mit einer Verminderung des relativen Anteils an fossilen Energieträgern, dagegen mit einer absoluten und relativen Erhöhung des Stromeinsatzes verbunden. Im Jahre 1982 trug die elektrische Energie mit 22,6 % (141,3 TWh) zur Deckung des industriellen Endenergieverbrauchs bei.

Ziel der vorstehenden Arbeit war es, die Elektrizitätsanwendung in der Industrie (Übriger Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe) zu beschreiben, die Faktoren aufzuzeigen, die die zunehmende Nutzung der elektrischen Energie maßgeblich beeinflussten und ferner Tendenzen der zukünftigen industriellen Stromanwendung zu diskutieren.

Als Ergebnis dieser Arbeit läßt sich festhalten:

Die globale Betrachtung des Stromeinsatzes nach Verwendungszwecken zeigt, daß der industrielle Kraft- und Lichtbedarf mittlerweile fast vollständig und die benötigte Prozeßwärme bisher zunehmend durch elektrische Energie gedeckt werden. Der Stromanteil am gesamten industriellen Prozeßwärmebedarf liegt gegenwärtig bei 9 bis 10 %. Der Stromeinsatz für Raumwärmezwecke hat in der Industrie kaum Bedeutung erlangt.

Für diese Entwicklung lassen sich eine Vielzahl von Gründen anführen. Dazu zählen neben rein technischen Gesichtspunkten u.a. wirtschaftliche, ökologische und versorgungsspezifische Aspekte. So zeigt sich z.B., daß der Einsatz vieler elektrotechnologischer Verfahren eindeutige Präferenzen hat, weil die Produktion mit anderen Verfahren derzeit entweder nicht möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Desweiteren spielt die Produktqualität eine entscheidende Rolle. Es läßt sich festhalten, daß Strom insbesondere dort Anwendung findet, wo Werkstoffqualität und Präzisionsbearbeitung gefordert sind. Ohne den Einsatz elektrischer Energie lassen sich viele Sonderwerkstoffe, wie z.B. Edelstahl, Silizium, Titan, Spezialgläser etc. in der

geforderten Reinheit kaum herstellen. Zusätzlich ist der Aspekt der Umweltbelastung zu nennen. Die Trennung von Energiebereitstellung und Energieanwendung bietet für ein Unternehmen die Möglichkeit, das Verursacherrisiko zu überwälzen. Die Emissionen werden an den Ort der zentralen Stromerzeugung verlagert, Gegenmaßnahmen können hier mit anderen technischen Mitteln ergriffen werden, die beim Endverbraucher vor allem aus Kostengründen meist nicht möglich sind.

Diese Aspekte stellen eine Auswahl der möglichen Kriterien dar, die den Einsatz der elektrischen Energie maßgeblich bestimmen. Je nach Wirtschaftszweig und innerbetrieblichen Randbedingungen nehmen diese Faktoren mit unterschiedlicher Gewichtung Einfluß, wobei dem wirtschaftlichen Aspekt ausschlaggebende Bedeutung beizumessen ist.

Die sektorale Analyse ergab im einzelnen:

Eisenschaffende Industrie

Der Elektrizitätsbedarf der Eisenschaffenden Industrie ist durch einen Anstieg der spezifischen Stromverbrauchswerte um über 60 % (bezogen auf 1960) gekennzeichnet. 1982 wurden rund 17,7 TWh in dieser Branche eingesetzt.

Die Entwicklung erklärt sich in erster Linie mit einer Erhöhung der Elektrostahlerzeugung und einem Mehrverbrauch an Antriebsenergie in den Walzwerken. Dies wird den Forderungen der Abnehmer nach erhöhter Stahlqualität und Verarbeitungstiefe gerecht. Während der Stromeinsatz in der Verfahrenslinie der Koksmetallurgie praktisch ausschließlich den Kraftbedarf deckt, kommt in der Elektrostahlerzeugung mit den Lichtbogenöfen ein klassisches Elektrowärmeverfahren zum Einsatz, dessen Entwicklung größtenteils von den Randbedingungen des Schrotteinsatzes geprägt wird.

Die weitere Entwicklung läßt zukünftig bei beiden vorherrschenden Verfahrenslinien (Oxygenstahl bzw. Elektrostahl) einen verhältnismäßig gleichbleibenden spezifischen Stromverbrauch erwarten. Einsparungen im Hochofenbereich, den Elektrostahlwerken und den Warmwalzwerken steht z.B. ein Mehrverbrauch zur Reduzierung der Umweltbelastung gegenüber.

Dementsprechend wird die Entwicklungstendenz der absoluten Verbrauchswerte in erster Linie von der Rohstahlproduktion und den sich einstellenden Verfahrensanteilen bestimmt. Wenn der Trend der bisherigen Entwicklung weiter anhält und die Qualitätsstahlerzeugung bei den Elektrostahlwerken bleibt, ist ein leichter Stromverbrauchsanstieg bei gleichbleibender Rohstahlproduktion denkbar.

NE-Metallindustrie

Im Jahre 1982 trug die elektrische Energie mit über 56 % (16,5 TWh) zur Endenergiebedarfsdeckung der NE-Metallindustrie bei und war damit in dieser Branche der bedeutendste Endenergieträger.

Die Entwicklung des Stromverbrauchs zeigt einen deutlichen Anstieg zwischen den Jahren 1967 und 1974. Dies erklärt sich mit einer erheblichen Ausweitung der stromintensiven Hüttenaluminiumproduktion, die Ende der '60er Jahre einsetzte. So entfielen im Jahre 1982 ca. drei Viertel des gesamten Stromverbrauchs dieses Sektors auf die Aluminium-Schmelzflußelektrolyse.

Die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs im NE-Metallsektor wird in erster Linie von der Entwicklung der Hüttenaluminiumproduktion bestimmt. Hierbei kommt aufgrund des hohen Stromkostenanteils bei den Fertigungskosten (29-36 %) der zukünftigen Strompreisentwicklung im Hinblick auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit entscheidende Bedeutung zu. Verfahrenssubstitution und Übergang auf andere Energieträger sind derzeit nicht erkennbar. Aufgrund der unsicheren Strompreisentwicklung

wicklung dürfte in naher Zukunft keine Kapazitätserweiterung und damit keine Erhöhung des Stromverbrauchs bei der Hüttenaluminiumproduktion zu erwarten sein.

In den übrigen Wirtschaftszweigen der NE-Metallindustrie ist ein leichter Anstieg des Stromverbrauchs möglich, dies gilt insbesondere für die verstärkte Anwendung des elektrischen Schmelzens, wobei Qualitätsanforderungen und Umweltbelastung den Stromeinsatz begünstigen.

Chemische Industrie

Die Chemische Industrie war im Jahre 1982 mit 38 TWh der größte industrielle Stromverbraucher. Bis zum ersten Ölpreissprung 1973/74 konnte dieser Sektor einen fast linearen Anstieg des Stromverbrauchs um insgesamt 115 % (bezogen auf 1960) verzeichnen. Dies begründete sich in dem gestiegenen Automatisierungsgrad der Produktion und dem Nachfrageanstieg für chemische Grundstoffe, die z.T. mit stromintensiven Verfahren hergestellt werden.

Die seit 1974 recht zurückhaltende Entwicklung des Stromverbrauchs ist neben einer stagnierenden Nachfrage für chemische Grundprodukte sowohl auf Strukturverschiebungen zu weniger energie- bzw. stromintensiven Produkten, als auch auf einen deutlichen Trend zu Stromeinsparungen zurückzuführen. Dies dokumentiert sich in einem rückläufigen spezifischen Stromeinsatz.

Die zukünftige Stromverbrauchsentwicklung wird besonders von den stromintensiven Basisprodukten (Chlor, Phosphor, Calciumcarbid, Sauerstoff und Acetylen) bestimmt. Diese 5 Produkte erklärten 1982 rund 44 % (16,7 TWh) des Stromeinsatzes in der Chemie.

Da die ersten vier genannten Produkte derzeit mit praktisch konkurrenzloser elektrischer Verfahrenstechnik gewonnen werden, wird die zukünftige Entwicklung in erster Linie durch deren Produktion bestimmt. Besonders sensitiv erscheint hier die Chlor-

produktion, da Veränderungen von 300.000 t (Gesamtproduktion 1982 = 2,8 Mio t Chlor) schon einen Mehr- bzw. Minderverbrauch von 1 TWh bedeuten.

Der restliche Anteil des Stromeinsatzes wird im wesentlichen zur Deckung des Kraftbedarfs eingesetzt. Die bisherige Entwicklung läßt insbesondere bei großtechnischen Verfahren Tendenzen erkennen, elektrische Antriebsenergie durch den Einsatz von Dampfturbinenantriebe über prozeßinterne Abhitzeverwertung zur Erzeugung von hochgespanntem und überhitztem Turbinendampf zu substituieren. Markante Beispiele sind hier die Ethylen- und Ammoniakherzeugung.

Als leicht gegenläufige Tendenz deutet sich ein Mehrverbrauch der elektrischen Antriebsenergie für Maßnahmen des Umweltschutzes (Kläranlagen, Schlammaufbereitungsanlagen etc.) und des Produktrecyclings an.

Ein zusätzliches Hemmnis für die verstärkte Elektrizitätsnutzung in der chemischen Industrie ist in den Wärmesparmaßnahmen (größtenteils Dampfeinsparungen im Produktionsprozeß) und der verstärkten Abwärmenutzung zur Dampferzeugung zu finden. Aufgrund des verminderten Dampfbedarfs einerseits und erhöhtem Dampfangebot andererseits ging die Eigenstromerzeugung auf KWK-Basis zurück. Dem hierdurch bedingten höheren Fremdstrombezug mit hohen Stromkosten versucht die chemische Industrie mit Einsparungen des Elektrizitätsverbrauchs zu entgegenen.

Der bisherige Trend zu Stromeinsparungen dürfte somit auch zukünftig vorherrschend sein, so daß insgesamt eine eher zurückhaltende Entwicklung der absoluten Stromverbrauchswerte möglich erscheint.

Industrie Steine und Erden

Die Elektrizität war im Jahre 1982 mit einem Anteil von rund 11 % an der Endenergiebedarfsdeckung der Industrie Steine und Erden beteiligt. Dies dokumentiert die untergeordnete Bedeutung des Stromeinsatzes innerhalb des Sektors. Dennoch war dieser Wirt-

schaftszweig mit einem Stromverbrauch von 6,4 TWh im Jahre 1982 zu den industriellen Stromgroßabnehmern zu zählen.

Der Anstieg des Elektrizitätseinsatzes ist auf die Zunahme des Kraftstrombedarfs für die verschiedenen Antriebsmotoren der Transportbänder, Mahl-, Zerkleinerungs- und Preßmaschinen zurückzuführen. Der Prozeßwärmebedarf wird fast ausschließlich über Brennstoffe gedeckt. Größter Stromverbraucher in diesem Sektor mit 22 Wirtschaftszweigen ist mit einem Anteil von fast 50 % die Zementindustrie, des weiteren sind noch die Kalkindustrie und die Ziegeleien mit 8 bzw. 9 %-Anteilen zu nennen.

Der leichte Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs im Verlauf der '60er Jahre ist überwiegend auf zunehmende Mechanisierung der Betriebe zurückzuführen. Die derzeitige Entwicklungstendenz läßt keine weitere Steigerung erkennen, so daß der absolute Verbrauch wohl in erster Linie von der zukünftigen Entwicklung der Produktion bestimmt wird.

Zellstoff-, Papier- und Pappeindustrie

Die Entwicklung des Stromeinsatzes in der Zellstoff-, Papier- und Pappeindustrie ist durch einen kontinuierlichen Anstieg der absoluten Verbrauchswerte gekennzeichnet. Bei einem Stromverbrauch von 8,2 TWh im Jahre 1982 lag der Anteil der Elektrizität zur Deckung des Endenergiebedarfs bei rund 30 %.

Im einzelnen teilt sich der Stromverbrauch zu ca. 9 % auf die Zellstoff-, zu ca. 17 % auf die Holzstoff- und zu ca. 74 % auf die Papier- und Pappeerzeugung auf.

In allen drei Sparten wird Elektrizität überwiegend zur Deckung des Kraftbedarfs eingesetzt. Es gibt mehrere Entwicklungstendenzen, die den in den letzten 20 Jahren steigenden Stromverbrauch bewirkten. Hierzu gehören die Modernisierung des Maschinenparks, der Ausbau von Wärmerückgewinnungsanlagen und Maßnahmen zur Verringerung der Umweltbelastung.

Bis zur Jahrhundertwende ist nur noch mit einem geringen Anstieg des spezifischen Kraftstromverbrauchs zu rechnen, so daß die weitere Entwicklung des Stromverbrauchs auch in diesem Sektor in erster Linie von der Papier- und Pappeproduktion bestimmt sein wird.

Eisen-, Stahl- und Tempergiesserei

Seit 1950 ist der Stromverbrauch in der Gießereiindustrie sowohl absolut als auch relativ angestiegen. Im Jahre 1982 war die elektrische Energie mit rund 2 TWh zu gut einem Viertel an der Deckung des Endenergieverbrauchs dieses Sektors beteiligt. Hauptgründe liegen in der zunehmenden Mechanisierung und der teilweisen Umstellung auf elektrische Verfahrenstechnologien entsprechend veränderter Produktionsstruktur.

Bei den Schmelzverfahren zeichnet sich eine deutliche Abhängigkeit von den verschiedenen Gußsorten ab. Stahlguß und Sphäroguß werden bevorzugt mit elektrischen Verfahren erschmolzen, während Gußeisen mit Lamellengraphit noch überwiegend in Kupolöfen erschmolzen wird. Da der Induktionsofen den gestiegenen Qualitätsanforderungen besser gerecht wird, ist vielfach dem Hauptschmelzaggregat Kupolofen ein Induktionsofen nachgeschaltet (Duplex-Betrieb).

Der Gesamtstromverbrauch für Elektrowärmezwecke liegt in der Eisen- und Stahlgußerzeugung bei derzeit etwa 1 TWh, dies entspricht rund 50 % des gesamten Stromverbrauchs dieses Sektors.

Auch zukünftig ist mit einem Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs zu rechnen, der sich in erster Linie in einem zunehmenden Ersatz brennstoffbeheizter Öfen durch Elektroöfen erklärt. Bei gleichbleibender Gußproduktion ist somit ein leichter Anstieg des Stromverbrauchs in den Gießereien denkbar. Diese Tendenz würde durch eine weitere Verschiebung innerhalb der Gußproduktion zu mehr Sphärogußanteilen begünstigt.

Investitionsgüterindustrie

Fast ein Fünftel des gesamten Industriestromverbrauchs entfiel im Jahre 1982 auf die Investitionsgüterindustrie (25,8 TWh), die sich aus einer Vielzahl einzelner Wirtschaftszweige mit heterogener Produktionsstruktur zusammensetzt.

Wesentliche Gründe für den kontinuierlich angestiegenen Stromverbrauch liegen in der zunehmenden Automation der Fertigungsabläufe und dem verstärkten Einsatz elektrotechnologischer Verfahren. Ca. 10 % des Stromeinsatzes werden wärmetechnischen Verwendungszwecken zugeschrieben, es handelt sich in erster Linie um Verfahren mit geringen einzelnen spezifischen Stromverbrauchswerten.

Die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs in der Investitionsgüterindustrie wird im wesentlichen davon abhängen, wie die Automation in den stromintensiven Wirtschaftszweigen (z.B. dem Straßenfahrzeugbau) weiter voranschreiten wird.

Verbrauchsgüterindustrie

Die Verbrauchsgüterindustrie ist durch einen stetigen Anstieg der absoluten und relativen Stromverbrauchswerte gekennzeichnet. Im Jahre 1982 trug die elektrische Energie mit 14,8 TWh zu knapp einem Viertel zur Endenergiebedarfsdeckung dieses Sektors bei.

Die Steigerung des Stromverbrauchs ist auf den gleichzeitigen Anstieg der Nettoproduktion und des spezifischen Stromverbrauchs zurückzuführen. Als Gründe für die deutliche Erhöhung der spezifischen Stromverbrauchswerte sind in erster Linie zunehmende Mechanisierung und Erhöhung der Durchsatzgeschwindigkeit zu nennen. Dementsprechend wird elektrische Energie in den einzelnen Branchen überwiegend für Antriebszwecke eingesetzt, eine Ausnahme bildet die Glasindustrie mit elektrischen Schmelzanlagen.

Der Trend eines steigenden spezifischen Stromverbrauchs dürfte sich auch zukünftig fortsetzen, so daß in diesem Sektor eine leichte Steigerung des Stromverbrauchs bei unveränderter wirtschaftlicher Entwicklung möglich erscheint.

Nahrungs- und Genussmittelindustrie

Bei einem Stromverbrauch von rund 7,7 TWh (1982) war die gesamte Nahrungs- und Genussmittelindustrie nicht zu den industriellen Großabnehmern zu zählen, obgleich mit durchschnittlich über 16 %-Anteilen die Elektrizität im Sektor selbst eine nicht unbedeutende Stellung einnahm.

Der Stromverbrauch verteilt sich auf eine Vielzahl verschiedener Wirtschaftszweige, von denen die bier-, milchprodukte- und zuckerherstellenden Bereiche zu den stromintensivsten zu zählen sind.

Im Verlauf der letzten 20 Jahre zeigt der spezifische Stromverbrauch einen ausgesprochen stetigen Anstieg. Dies begründet sich u.a. mit zunehmender Automation in den Betrieben, so daß Elektrizität in diesem Sektor überwiegend den Kraftbedarf für die verschiedensten Antriebsmaschinen deckt. Der Stromeinsatz für Elektrowärmezwecke hat untergeordnete Bedeutung.

Aufgrund der Heterogenität ist schlecht eine Gesamtaussage zu treffen. Dennoch läßt die zukünftige Entwicklung der Nahrungs- und Genussmittelindustrie in Richtung Zentralisierung auf Großbetriebe, weitere Automation der Produktionsanlagen und verstärkte Umweltschutzmaßnahmen für den spezifischen Stromverbrauch eine steigende Tendenz erwarten. Ähnlich der Verbrauchsgüterindustrie erscheint auch in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie bei unveränderter wirtschaftlicher Entwicklung eine leichte Steigerung des Stromverbrauchs denkbar.

Insgesamt zeigt die sektorale Analyse,

- daß alle untersuchten Wirtschaftszweige einen Trend zur Mechanisierung und Automation aufweisen, der in der Vergangenheit mit einem verstärkten Kraftstrombedarf verbunden war und
- daß der Einsatz von Elektrizität für Prozeßwärmezwecke in erster Linie auf die Erzeugung einiger weniger, stromintensiver Produkte in der Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie zurückzuführen ist.

Die zukünftige Entwicklung des Stromeinsatzes wird - abgesehen von vielen Faktoren, die sektorspezifisch zu betrachten sind - davon abhängen, inwieweit die sich in der Vergangenheit für die Stromanwendung günstigen Tendenzen weiter fortsetzen.

Hemmend auf den Kraftstromverbrauch könnte sich zukünftig eine rationellere Nutzung der Antriebsenergie und eine mögliche Konkurrenz der Elektroantriebe durch Dampfturbinenantriebe auswirken. Ebenfalls dürfte die erkennbare Produktionsstagnation in einigen Bereichen der Grundstoffindustrie den Stromverbrauch für Elektrowärmeverfahren nicht begünstigen, so daß insgesamt eine eher zurückhaltende Entwicklung der absoluten Stromverbrauchswerte möglich erscheint.

In Tab. 5.1 sind die Tendenzen der einzelnen Wirtschaftszweige noch einmal in der Übersicht dargestellt.

Einen gewissen Einfluß auf die zukünftige Entwicklung der industriellen Elektrizitätswirtschaft könnte auch von der Einführung der HTR-Technologie ausgehen. In den hier untersuchten Wirtschaftszweigen der Chemischen Industrie und der Eisenschaffenden Industrie sind unterschiedliche Tendenzen erkennbar.

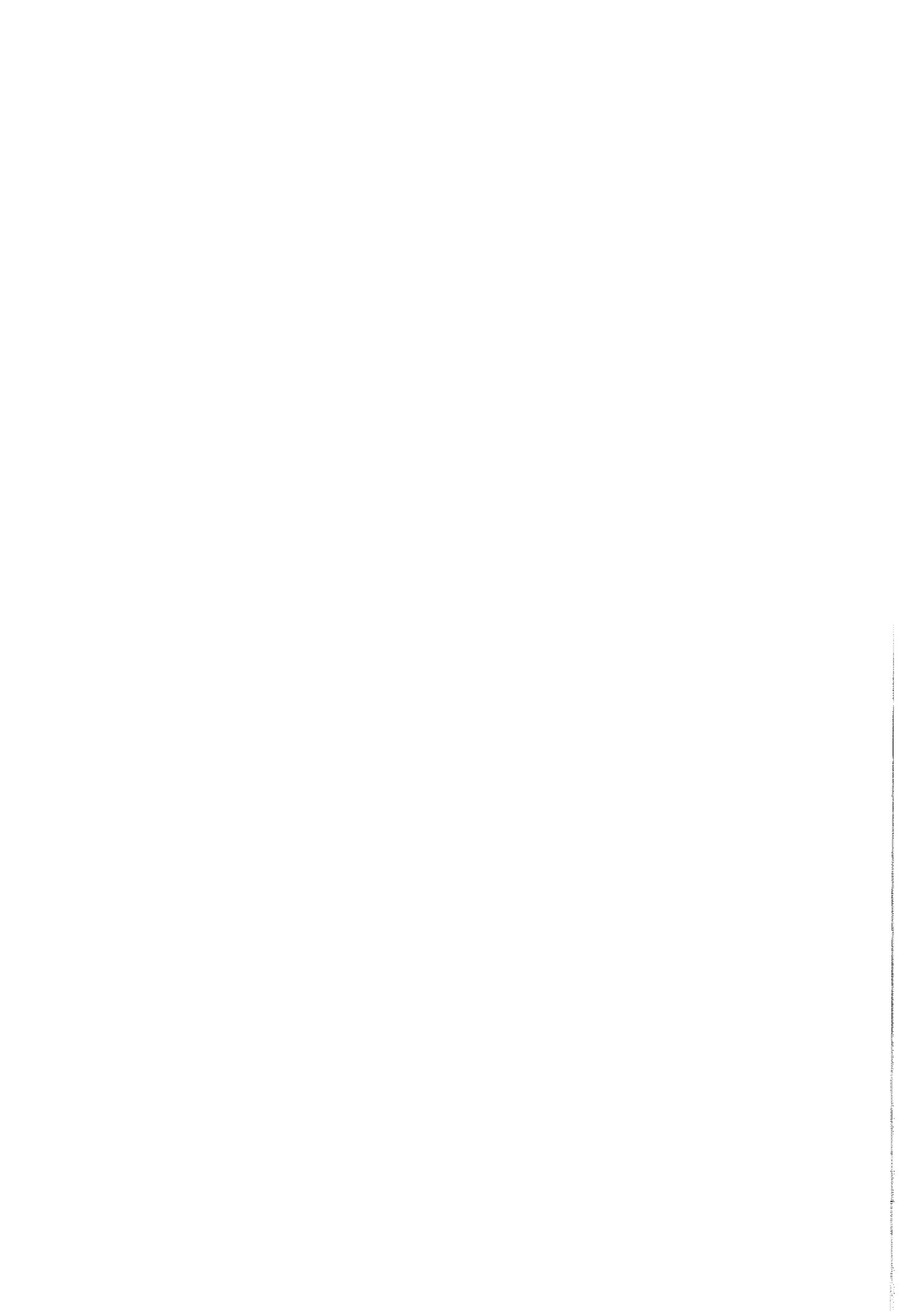
Im Bereich der Chemie ist bei der Einkopplung nuklearer Prozeßwärme in den in dieser Arbeit diskutierten Verfahrensgängen der Ethylen-, Ammoniak- und Methanolerzeugung nicht mit einer Verän-

Tab. 5.1: Tendenzen des Stromverbrauchs in den Wirtschaftszweigen der Industrie

	Stromverbrauch 1982 (TWh)	prozentualer Anteil	Entwicklung des spez. Stromverbr. (letzte 20 Jahre)	Tendenz des spez. Stromverbr.	Anmerkungen zum Stromverbrauch
Eisenschaffende Industrie	17,77	12,6 %	↑	←	stark abhängig von der Rohstahlproduktion, Tendenz zur Elektrostahlerzeugung, leichter Anstieg des Stromverbrauchs erwartet
NE - Metall Industrie	16,47	11,6 %	bis '75 ↑ ab '76 →	→	im wesentlichen von der H.Alu-Produktion bestimmt, keine Kapazitätserweiterungen in Aussicht, stagnierender Stromverbrauch erwartet
Chemische Industrie	37,38	26,4 %	↓	↖	stark abhängig von der Entwicklung der Grundstoffprodukte, verfahrenstechnische Reduzierung des Stromverbrauchs erkennbar, bei nicht stark veränderter Produktionsstruktur leichte Abnahme des Stromverbrauchs erwartet
Steine und Erden	6,43	4,6 %	bis '72 ↑ ab '73 →	→	wesentlich von der Produktion an Zement, Kalk u. Ziegel bestimmt, stagnierender Stromverbrauch erwartet
Zellstoff-, Papier und Pappe	8,23	5,8 %	→	→	wenig zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten des Stromein- satzes vorhanden, infolge erkennbarer Produktionssteigerung wird aber ein Anstieg des Stromverbrauchs erwartet
Eisen-, Stahl- und Tempergießerei	1,89	1,3 %	↑	↑	im wesentlichen abhängig von der Gußproduktion, Umstellung auf elektrisches Schmelzen und verstärkter Sphäro- gußanteil lassen Anstieg des Stromverbrauchs erwarten
Investitionsgüter Industrie	25,78	18,2 %	↑	↑	zukünftige Entwicklung stark von der Automation der Produktionsprozesse geprägt, Anstieg des Stromverbrauchs überproportional erwartet
Verbrauchsgüter Industrie	14,84	10,5 %	↑	↑	
Nahrungs- und Genußmittel	7,74	5,5 %	↑	↑	
Übriger Bergbau u. Verarbeitendes Gewerbe	141,37	100,0 %	↗	→	

derung des spezifischen Stromverbrauchs der jeweiligen Produktionsanlagen zu rechnen. Für den Gesamtbereich der Chemie ist denkbar, daß mit einem höheren zur Verfügung stehenden Dampfangebot aus HTR-Anlagen und zusätzlicher Abwärmenutzung die Tendenz, Antriebsenergie mit Dampfturbinen bereitzustellen, anhält, und somit Dampf zukünftig in verstärkte Konkurrenz zur elektrischen Antriebsenergie tritt.

Dagegen läßt die Verwendung eines HTR's in der Eisenschaffenden Industrie deutliche Auswirkungen auf den Stromeinsatz dieses Sektors erwarten, da die verstärkte Anwendung der Eisenschwammtechnologie zu einer Erhöhung der Elektrostahlproduktion führen würde.



Literaturverzeichnis

- /1/ Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland,
Verfasser und Herausgeber:
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

- /2/ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
Fachserie 4, Reihe 2.1
Indizes der Produktion und der Arbeitsproduktivität,
Produktion ausgewählter Erzeugnisse im
Produzierenden Gewerbe

- /3/ Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf
Energieanwendung im Endverbrauch
VDI-Bericht 283, Mai 1977

- /4/ Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, Frankfurt
VDEW-Arbeitsausschuß
"Marktforschung - Elektrizitätsanwendung"
Die volkswirtschaftliche Bedeutung der elektrischen
Energie auf dem Wärmemarkt, September 1980

- /5/ Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschafts-
forschung (RWI), Essen
Detaillierung des Endenergieverbrauchs im
Verarbeitenden Gewerbe nach Verwendungszwecken
Mai 1981

- /6/ Decker, E.
Primärenergiebedarf konkurrierender industrieller
Prozeßwärmeverfahren
RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Referat, September 1983

- /7/ Elektrowärme, Theorie und Praxis
Hrsg. von der Union Internationale d' Electrothermie
(UIE), Paris,
Essen, Giradet, 1974

- /8/ Elektrotechnologie
Hrsg. von Conrad, H., Krampitz, R.
Berlin, Verlag Technik 1983
- /9/ RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Die industriellen Elektrowärmeverfahren
- /10/ Gebhardt, A
Auswirkungen von Energiepreiserhöhungen auf die
Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Produktionen
der deutschen Industrie
ifo-Bericht 25, 1983
- /11/ Decker, E.
Energie für Prozeßwärme in Gegenwart und Zukunft
RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Referat, Februar 1983
- /12/ Bundesverband Energieabnehmer e.V. (VEA), Hannover
Jährliche Veröffentlichungen der Erdgas- und
Strompreise
- /13/ Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke,
VDEW e.V., Frankfurt
Strompreise für Sondervertragskunden, Vergleichs-
grundlagen sowie allgemeine Erläuterungen zu
den Übersichten und Preiskurven
- /14/ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
Fachserie 17, Reihe 2
Preise und Preisindizes für gewerbliche Produkte
- /15/ Vereinigung Industrielle Kraftwirtschaft (VIK), Essen
Statistik der Energiewirtschaft, div. Jg.

- 16/ Decker, E., Dickopp, A.
Primärenergieverbrauch konkurrierender industrieller
Verfahren
RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Bericht zum 9. Internationalen Elektrowärmekongreß in
Cannes, Oktober 1980
- /17/ Schulz, E.
Zur Strom- und Energiekostenbelastung der Industrie
in der BRD und ihren Auswirkungen auf die
internationale Wettbewerbsfähigkeit
Elektrizitätswirtschaft, Jg. 82 (1982) H. 11
- /18/ Hildebrand, B.
Zur Energiekostenbelastung der westdeutschen
Wirtschaft in den Jahren 1970 und 1978
Mitteilungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts
für Wirtschaftsforschung (RWI), 1981 H.3
- /19/ Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschafts-
forschung (RWI), Essen
Analyse der strukturellen Entwicklung der
deutschen Wirtschaft Band 1 und 2, 1980
- /20/ Vereinigung industrielle Kraftwirtschaft (VIK), Essen
Bedeutung der Energiekosten für energieintensive
Produktionen
VIK-Bericht Nr. 192, Dezember 1983
- /21/ Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik
Deutschland im Jahre 1982
Elektrizitätswirtschaft, Jg. 82 (1983) H. 21
- /22/ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
Fachserie 4, Reihe 4.1.1
Beschäftigung, Umsatz und Energieversorgung
der Unternehmen und Betriebe im Bergbau
und Verarbeitenden Gewerbe

- /23/ Schaefer, H. (FfE, München)
Entwicklung und Struktur des Energiebedarfs
für wärmetechnische Prozesse
Gaswärme international, Bd. 33 (1984) H.6/7
- /24/ Programmstudie zur FE-Förderung für eine verstärkte
Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung in der
gewerblichen Wirtschaft
BMFT, Forschungsbericht ET 5278 A
- /25/ Reinhard, M.
Auswirkungen von Investitionen auf den
Energieverbrauch der Industrie
ifo-Bericht 4, 1983
- /26/ Schenck, H.
Die Grenzen des Verbrauchs und der Herstellung
von Stahl in der Welt
Stahl und Eisen 101 (1981) H. 13/14
- /27/ Aichinger, H.M., Hoffmann, G.W.
Rationeller Primärenergieeinsatz am Beispiel
der Stahlindustrie - Stand und Maßnahmen
Gaswärme international, Bd. 33 (1984) H. 6/7
- /28/ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
Fachserie 4, Reihe 8.1
Eisen und Stahl
- /29/ Wirtschaftsvereinigung Eisen und Stahl, Düsseldorf
Statistisches Jahrbuch der Eisen- und
Stahlindustrie, div. Jg.
- /30/ Fichtner Beratende Ingenieure
Maßnahmen zur Intensivierung der Abwärmenutzung
in der Industrie, Stuttgart, März 1982

- /31/ Graf, H. (Hrsg.)
Aktuelle Fragen des Elektrowärmeeinsatzes
in der Eisen- und Stahlindustrie
Stahl und Eisen 100 (1980) H. 10
- /32/ Technologien zur Einsparung von Energie, Band 10
Eisenhüttenindustrie
BMFT ET-5012 A
- /33/ Meissner, H.-D.
Modernisierung - eine wichtige Aufgabe für viele
Hüttenwerke
Stahl und Eisen 104 (1984) H.8
- /34/ Schenck, H.
Wettbewerbsprobleme der Stahlindustrien und die
ökonomische Stellung des Stranggießverfahrens
Technische Mitteilungen 70 (1977) H.12
- /35/ von Bogdandy, L., Habbig, H.E., Höfer, F.
Möglichkeiten zur Steigerung des Einsatzes bei
Sauerstoffblasstahlwerken
Stahl und Eisen 99 (1979) H. 15
- /36/ Schäfer, K.
Entwicklung der kombinierten Blasverfahren zur
Stahlerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland
Stahl und Eisen 103 (1983) H. 4
- /37/ Görden, R., Hoffmann, G.W., Pöttgen, H.-G.
Seeger, M.
Energieeinsparung in der Eisen- und Stahlindustrie
der Bundesrepublik Deutschland
Brennstoff-Wärme-Kraft (BWK) 35 (1983) H. 9

- /38/ Schauwinhold, D.
Entwicklung des Schrottaufkommens und der
Stahlgewinnungsverfahren
Diss. Technische Universität Clausthal, 1978
- /39/ Rellermeyer, H.
Zukünftige Entwicklungen in der Technologie der
Eisen- und Stahlerzeugung
Stahl und Eisen 103 (1983) H. 9
- /40/ Decker, E.
Rationeller Einsatz von Elektrowärme in der
Metallindustrie
Fachberichte Hüttenpraxis Metallweiterverarbeitung
(1981) H. 12
- /41/ persönliche Auskunft
Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München
- /42/ Aichinger, H.M., Bredehöft, R., Seeger, M, Trappe, K.
Multivalenter Energieeinsatz zur Sicherung der
Energieversorgung gemischter Hüttenwerke
Stahl und Eisen 100 (1980) H. 6
- /43/ Bühl, E., Pöttken, H.-G., Ussar, M.
Optimale Verwertung von Kuppelenergie,
dargestellt am Beispiel des Hochofengases
Stahl und Eisen 96 (1976) H. 17
- /44/ Uhlig, G.
Die Sekundärindustrie als Teil der Aluminiumindustrie
Aluminium 57 (1981) H. 7
- /45/ Metallgesellschaft AG, Frankfurt
Metallstatistik, div. Jg.
- /46/ Wirtschaftsvereinigung Metalle, Düsseldorf
NE-Metallstatistiken BRD

- /47/ Anhaltzahlen über den Elektrizitäts-, Kraft- und Wärmebedarf der Industrie
Band 1 und 2, VDEW, VIK, HEA
Hrsg. von Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH (VDEW), Frankfurt
- /48/ Bonnenberg, H., Knodt, R., Solfrian, W.
Datenerhebung und -aufbereitung zur sektoralen Entwicklung des Energiebedarfs
Jülich, Bonnenberg & Drescher, 1976
- /49/ aluminium industry
- energy aspects of structural change -
OECD, OCDE Paris, 1983
- /50/ Odok, A.M., Bohner, H.O.
Steuerung des Elektrolyseprozesses mittels Computer
Aluminium 52 (1976) H.7
- /51/ Seebauer, H.
Die Lage der Aluminiumindustrie (BRD)
Aluminium 59 (1983) H. 1
- /52/ Schirner, J.
Aluminium und Energie
Aluminium 55 (1979) H. 7
- /53/ RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Metallische Elektrolyse, Aluminium
RWE-Verfahrensinformation (Grundstoffindustrie)
- /54/ Aluminiumgewinnung durch Direktreduktion
Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), 6. August 1982
- /55/ RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Metallische Elektrolyse, Kupfer
RWE-Verfahrensinformation (Grundstoffindustrie)

- /56/ Hausmann, J.
Technische Chemie
Kamprath-Reihe, Vogel Verlag, 1974
- /57/ Verney, L.R.
Energiekosten bei der Zinkgewinnung
Journal of Metals Jg. 29 (1977) H. 3
- /58/ Büchen, W.
Nichteisenmetall - Schmelz- und Warmhalteöfen
Gießerei 65 (1978) H. 19
- /59/ Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt
Chemiewirtschaft in Zahlen, div. Jg.
- /60/ Bergmann, B.
Tendenzen im Stromverbrauch der Chemischen Industrie
der Bundesrepublik Deutschland
Dissertation TH Aachen, Dezember 1970
(Bericht der KFA-Jülich - Nr. 714)
- /61/ Technologien
zur Einsparung von Energie, Band 11
Chemische Industrie
BMFT ET-5012 A
- /62/ Bergner, D.
Alkalichlorid - Elektrolyse nach dem Membranverfahren
Chem.-Ing.-Tech. 54 (1982) H. 6
- /63/ RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Nichtmetallische Elektrolyse
RWE-Verfahrensinformation (Grundstoffindustrie)
- /64/ Eisenächer, K.
Acetylen aus Carbid
Chem.-Ing.-Tech. 55 (1983) H. 10

- /65/ Baumgärtner, K.
Sauerstoff-Bereitstellung für Großverbraucher
in Chemie und Stahlindustrie
Chem.-Ing.-Techn. 46 (1974) H. 21
- /66/ Persönliche Mitteilungen der Firma
Chemische Werke Hüls AG
- /67/ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau
und Verarbeitenden Gewerbe
Fachserie 4, Reihe 6.4
- /68/ Landhäußer, D.
Energieeinsparung in einem Industriebetrieb
VGB-Kongreß "Kraftwerke 1982"
- /69/ Günther, H.
Konsequenzen von Energieeinsparungen für die
Struktur eines großen Industrienetzes
etz. 104 (1983) H. 13
- /70/ Schmitz, J.
Abschätzung des energiesparenden Innovationspotentials
der Industrie Steine und Erden
Diss. TH Aachen, August 1981
(Bericht der KFA Jülich, Nr. 1729
- /71/ Technologien zur Einsparung von Energie, Band 13
Sonstige Industrien
BMFT ET-5012 A
- /72/ Ellerbrock, H.G.
Energieausnutzung beim Mahlen von Zement
Zement - Kalk - Gips 35 (1982) H. 2

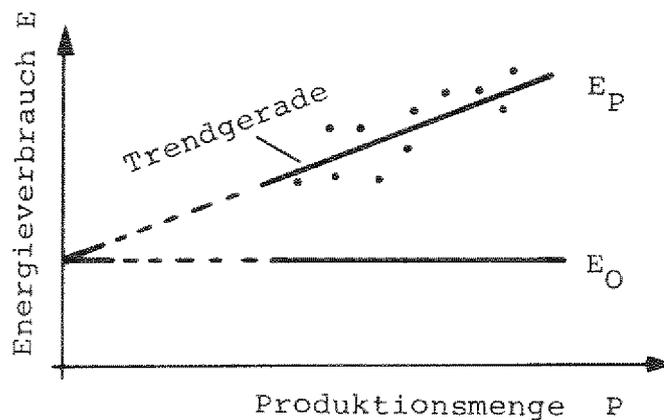
- /73/ Technologien zur Einsparung von Energie
Kurzfassung und Erläuterung des technischen
Teils der Studie
BMFT ET-5012 A
- /74/ Verband deutscher Papierfabriken e.V. (vdp), Bonn
Leistungsbericht der deutschen Zellstoff- und
Papierindustrie
- /75/ Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
(ISI), Karlsruhe
Energieverbrauch und Möglichkeiten rationeller
Energienutzung in der Zellstoff- und Papierindustrie
Information zur Energiepolitik, Mai 1978
- /76/ AG Kraft-Wärme-Kopplung
Elektrisches Potential und Wirtschaftlichkeit
der gekoppelten Kraft- und Wärmewirtschaft
in Industrie und Gewerbe
BMFT Projekt Nr. 03E-5375 A
- /77/ Neumann, F.
Betriebsoptimierung durch Elektrowärme in der Gießerei
elektrowärme international 37 (1979) B3
- /78/ Fischer, A.
Bedeutung und zukünftige Möglichkeiten des elektrischen
Stroms in der industriellen und privaten
Wärmeversorgung
Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE),
München, Juni 1982
- /79/ Hegewaldt, F.
Schmelzen von Stahl im Induktionsstiegelofen
elektrowärme international 36 (1978) B1

- /80/ RWE, Abt. Anwendungstechnik, Essen
Induktive Erwärmung
RWE-Verfahrensinformation (Grundstoffindustrie)
- /81/ Dahlmann, A.
Schmelzen von Eisenwerkstoffen
(koks-, öl-, gasbeheizt oder elektrisch betrieben)
Maschinenmarkt 82 (1976) 46
- /82/ Decker, E.
Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit beim Schmelzen
von Gußeisen in Kupol- und Induktionsofen
elektrowärme international 38 (1980) B2
- /83/ Frieges, A.
Anregungen zur Verringerung des Energieverbrauchs in
der kunststoffverarbeitenden Industrie
Kunststoffe 73 (1983) H. 11
- /84/ Altgauzen, A.
Die Elektrowärme im Maschinenbau
elektrowärme international 35 (1977) B3
- /85/ Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), Frankfurt
Auto 82/83
Jahresbericht des VDA
- /86/ Trier, W.
Entwicklung des Energieverbrauchs der deutschen
Glasindustrie
Glastechn. Berichte 52 (1979) Nr. 10
- /87/ Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
(ISI), Karlsruhe
Energieverbrauch und Möglichkeiten rationeller
Energienutzung in der Textilindustrie
Information zur Energiepolitik, Mai 1978

- /88/ Hauser, U.
Energieverbrauch und rationelle Energienutzung
im Nahrungs- und Genußmittelgewerbe
Zeitschrift für Lebensmittel-Technologie und
-verfahrenstechnik (ZFL), 1980, H. 3
- /89/ Markfort, D.
HTR-Modulkernkraftwerk für den Strom- und Wärmemarkt
Energie, 36 (1984) H. 7
- /90/ Schulten, R.
Nukleare Prozeßwärme
Chem.-Ing.-Tech. 48 (1976) H. 5
- /91/ Jehle, B.
Einsatzmöglichkeiten und Einsatzbeispiele der
Kernenergie in Nordrhein-Westfalen
KFA-Jülich, Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung,
Angewandte Systemanalyse Nr. 4, Juni 1978
- /92/ Engelhardt, H.R.
Einsatzmöglichkeiten und Einsatzpotential von
Hochtemperaturreaktoren in der Industriegruppe Chemie
KFA-Jülich, Institut für Reaktorentwicklung
Jül-966-RG, Juni 1973
- /93/ Gehrecke, S., Schaefer, H., Schenkel, G.
Methoden der Energieverbrauchs-Forschung
Praktische Energiekunde 14 (1966) H. 2/3
- /94/ Manthey, Ch.
Einsatz von Hochtemperaturreaktoren in der Eisen-
und Stahlindustrie
KFA-Jülich, Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung
Diss. TH-Aachen, März 1975, Jül-Bericht 1180

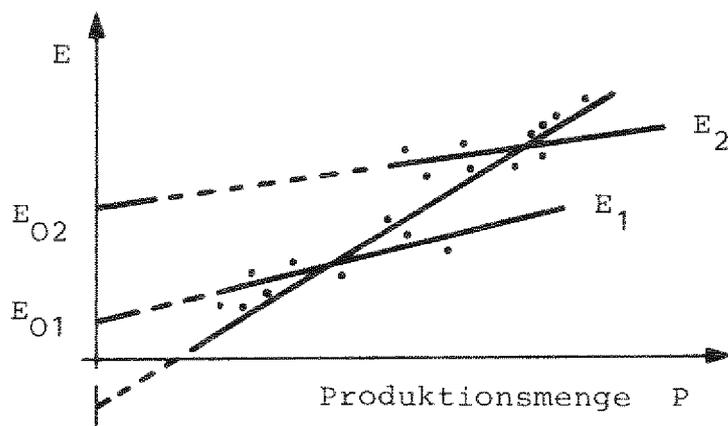
Anhang

Eine Methode der Energieverbrauchsanalyse einzelner Wirtschaftsgruppen bzw. -zweige ist die schrittweise Regressionsanalyse /93/. Die gleichermaßen für Einzelbetriebe wie auch für Wirtschaftszweige geltende makroökonomische Energieverbrauchscharakteristik ist in Skizze I dargestellt. Es wird der Energieverbrauch E über der Produktionsmenge P (in der vorliegenden Arbeit jeweils in Indexform) aufgetragen und dann im Sinne eines Modellansatzes in einen produktionsunabhängigen Verbrauch E_0 und einen produktionsabhängigen Verbrauch E_p rechnerisch zerlegt, wobei sich der fertigungsabhängige Grundverbrauch durch Verlängerung der Trendgeraden auf die Ordinate ergibt.



Skizze I:

Es kann der Fall eintreten, daß der sich durch Verlängerung der Trendgeraden auf der Ordinate ergebende produktionsunabhängige Grundverbrauch E_0 einen negativen Wert annimmt (Skizze II). Eine Regressionsgerade mit negativem Festanteil deutet aber darauf hin, daß der Modellansatz in dieser Form sachlogisch nicht erklärbar ist, denn auch bei geringer Produktion ist ein gewisser Grundenergiebedarf für Hilfsanlagen, Beleuchtung, Heizung etc. stets notwendig.



Skizze II:

In den meisten Fällen kann angenommen werden, daß sich die Produktionsbedingungen und damit die Energieverbrauchscharakteristik des Wirtschaftszweiges mit der Zeit geändert haben. Infolge der damit verbundenen Veränderungen von E_0 werden sich die Beziehungen zwischen Produktion und Energieverbrauch nicht durch eine einzige, sondern durch eine Vielzahl von Energieverbrauchscharakteristiken beschreiben lassen. In Skizze II sind gestrichelt zwei neue Energieverbrauchscharakteristiken eingezeichnet, die sich nach neuer Einteilung in zwei Punktfelder entsprechend ausgewählter Zeitabschnitte ergeben könnten.

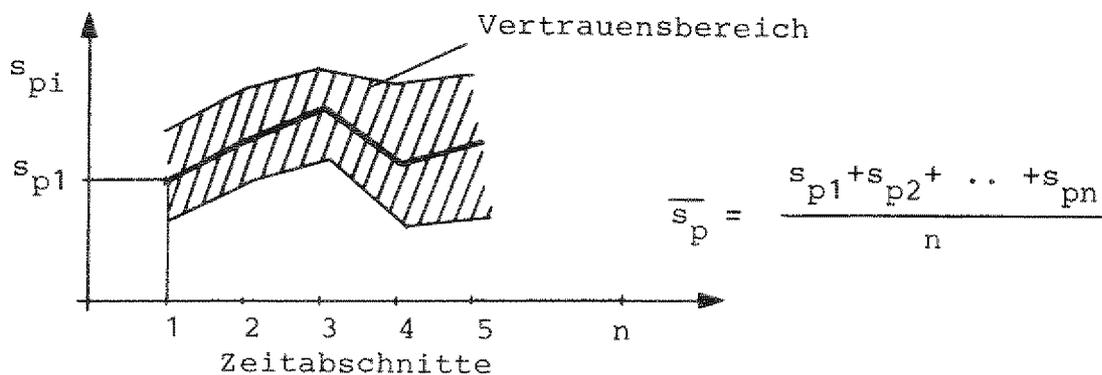
Die Energieverbrauchscharakteristiken E_1 bzw. E_2 unterscheiden sich sowohl durch unterschiedlichen Festanteil E_{01} bzw. E_{02} , als auch durch ihre Steigung s_{p1} bzw. s_{p2} . Das läßt auf eine Verfahrensänderung des Wirtschaftszweiges zwischen den Zeitabständen schließen.

Eine geeignete statistische Methode, die es ermöglicht, Energieverbrauchscharakteristiken bei zeitlich veränderlichen Fertigungsbedingungen zu berechnen, bietet sich mit der schrittweisen Regression an. Zunächst werden die Gruppen der jeweils zu korrelierenden Wertepaare für zusammenhängende Zeitabschnitte ausgewählt. Infolge des jeweils verschiedenen Grundbedarfs

E_{0i} und verschiedener Steigung s_{pi} , ist die Beziehung zwischen Produktion und Energieverbrauch durch eine Schar von Energieverbrauchskenlinien darzustellen.

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{01} + s_{p1} \cdot P \\ E_2 &= E_{02} + s_{p2} \cdot P \\ &\vdots \\ &\vdots \\ E_i &= E_{0i} + s_{pi} \cdot P \quad (i = 1, \dots, n) \end{aligned}$$

Für die Steigungen s_{pi} läßt sich, wie in /93/ anhand des Vertrauensbereiches erörtert wird, in der Regel keine schlüssige Aussage über eine Zeitabhängigkeit machen. Es wird daher als Arbeitshypothese für alle Energieverbrauchscharakteristiken ein einheitlicher Anstieg des Energieverbrauchs mit der Produktion angenommen, die zeitlichen Schwankungen werden als zufällig betrachtet.



Skizze III:

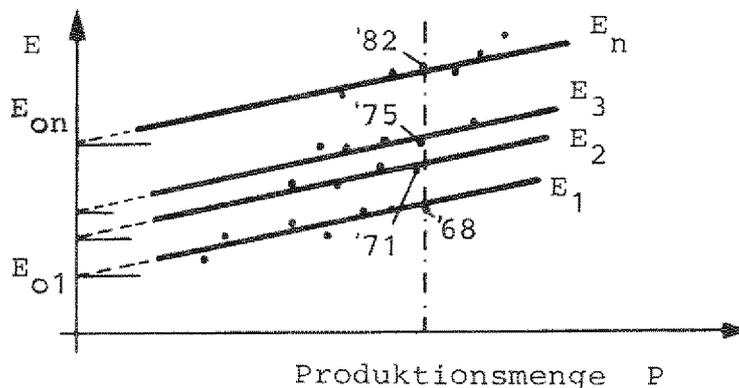
Mit dem einheitlichen \bar{s}_p wird innerhalb der Zeitgruppen der zugehörige 'Grundbedarf' aus den Gruppenmittelwerten berechnet.

$$\bar{E}_i = E_{0i} + \bar{s}_p \cdot \bar{P}_i \quad \rightarrow \quad E_{0i} = \bar{E}_i - \bar{s}_p \cdot \bar{P}_i$$

Damit erhält man die Kurvenschar

$$E_i = E_{0i} + \overline{s_p} \cdot P$$

Bei dem in Skizze IV dargestellten Beispiel, ist mit der Zeit ein steigender 'Grundbedarf' ($E_{01} < E_{02} < \dots < E_{0n}$) zu erkennen.



Skizze IV:

Dieser Sachverhalt läßt unterschiedliche Interpretationen zu, je nachdem welche Größe zur Beschreibung der Produktion gewählt wird: z.B. Tonne Rohstahl oder Nettoproduktionswert (in konstanten Preisen) für die Eisenschaffende Industrie.

Während man im ersten Fall in der Regel auf eine Änderung der Fertigungsbedingungen schließen kann, muß im zweiten Fall auch eine Veränderung der Produktzusammensetzung in Betracht gezogen werden (Veränderung des Nettoproduktionswertes bei gleichem Energieeinsatz).

Die dargestellte Methode kann bei einer konkreten Fallanalyse ergänzend herangezogen werden, um Veränderungstendenzen und auch deren Geschwindigkeit quantitativ aufzuzeigen.

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE
DER PROGRAMMGRUPPE SYSTEMFORSCHUNG UND TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GMBH - KFA/STE

Nr. 1: Schmitz, K., Niehaus, F., Rath-Nagel, St., Voß, A.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe
eines dynamischen Simulationsmodells,
Jül-Spez-1, Bd. I, Nov. 1977

Schmitz, K., et al.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe
eines dynamischen Simulationsmodells,
Jül-Spez-1, Bd. II, Nov. 1977

Nr. 2: Bohn, Th., Eich, P., Hansen, U., Jehle, B.
Künftige Stromgestehungskosten von Großkraftwerken,
Jül-Spez-2, Nov. 1977

Nr. 3: Wibbe, H.-B.
Probleme der kurzfristigen Markteinführung eines
nuklearen Fernenergiesystems - eine Betrachtung aus
Abnehmersicht für einen räumlich begrenzten Markt,
Jül-1486, Feb. 1978

Nr. 4: Jehle, B.
Einsatzmöglichkeiten und Einsatzbeispiele der Kern-
energie in NRW unter besonderer Berücksichtigung ihres
Beitrags zur Strukturverbesserung,
Jül-Spez-11, Juni 1978

Nr. 5: Hensel, W.
Beitrag zur Standardisierung der Standortbestimmung von
Kernkraftwerken,
Jül-Spez-12, Juni 1978

Nr. 6: v. Lojewski, D.
Wärme-, Strom- und Synthesegasversorgung von Ballungs-
räumen durch Fernenergie - aufgezeigt am Großraum Köln,
Jül-1516, Juni 1978

Nr. 7: Lenhardt, W.
Entwicklung des Strombedarfs in der Bundesrepublik
Deutschland und alternative Möglichkeiten seiner
Deckung,
Jül-Spez-18, Juli 1978

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 8: Kolb, G. (Redaktion)
gemeinsam mit KFA/IRE, KFA/PTH, HRB, GHT
Studie über die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung
mit Hochtemperatur-Reaktoren,
Jül-1527, Aug. 1978
- Nr. 9: Meliß, M.
Möglichkeiten und Grenzen der Sonnenenergienutzung in
der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Nieder-
temperaturkollektoren - Grundlagen, Technische Systeme,
Wirtschaftlichkeit;
Jül-Spez-25, Dez. 1978
- Nr. 10: Wagner, H.J.
Der Energieaufwand zum Bau und Betrieb ausgewählter
Energieversorgungstechnologien - eine nettoenergetische
Analyse,
Jül-1561, Dez. 1978
- Nr. 11: Bartholdi, J.
Einführung der Nuklearen Fernenergie - umweltbedeutsame
Konsequenzen und deren Bewertung,
Jül-1573, Jan. 1979
- Nr. 12: Egberts, G.
Kostenoptimale Entwicklungsperspektiven des Raum-
heizungssektors im Energiesystem der Bundesrepublik
Deutschland,
Jül-Spez-41, Juni 1979
- Nr. 13: Düring, K.
Transport- und Verteilungskosten konventioneller
Systeme zur Wärmeversorgung der Bundesrepublik
Deutschland,
Jül-Spez-57, Okt. 1979
- Nr. 14: Leimkühler, K.
Metallische Rohstoffe - Rezyklierung - Energieeinsatz.
Untersuchung mit Hilfe eines Simulationsmodells,
Jül-Spez-44, Juli 1979
- Nr. 15: Lenhardt, W., Schwefel, H.P., Sievert, D., et al.
Ein Energieversorgungsmodell zur Langfristprognose der
Umwandlungskapazitäten,
Jül-Spez-63, Dez. 1979
- Nr. 16: Kollmann, H.
Die räumliche Wärmebedarfsverteilung der Haushalte und
Kleinverbraucher in der Bundesrepublik Deutschland,
Jül-Spez-64, Dez. 1979

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 17: Orth, D.
Niedertemperatur-Wärmeversorgung unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter neuer Technologien,
Jül-Spez-65, Dez. 1979
- Nr. 18: Manthey, Ch. (editor)
Energy Technology Data Handbook - Conversion Technologies,
Jül-Spez-70, Vol. I, Jan. 1980
- Nr. 19: Manthey, Ch., Tosato, G.C.
Energy Technology Data Handbook - End Use Technologies. Insulation, Space- and Water Heating Systems,
Jül-Spez-70, Vol. II, Okt. 1980
- Nr. 20: Hildebrandt, T.
Die nächsten 50 Jahre,
Analyse und Szenarium der wirtschaftlichen Evolution,
Jül-Spez-81, Juni 1980
- Nr. 21: Finnis, M.W.
Phase II - Final Report of MARKAL Studies for the United Kingdom,
Jül-Spez-92, Okt. 1980
- Nr. 22: Scharff, E., Walbeck, M. (Federführung)
Planstudie: Halboffene Fernenergieversorgung, insbesondere für den Raum Frankfurt a.M. mit Heißwasser-Fernwärmeversorgung für den Raum Köln,
JÜL-Spez-95, Dez. 1980
- Nr. 23: Costa, J.O., Gil Sordo, V., Blasco, M., Jara, A.
Energy Scenarios and Implementation of New Technologies for Spain,
JÜL-Spez-110, April 1981
- Nr. 24: Jaek, W.
Mögliche Entwicklung des weltweiten Ausbaus der Kernenergie unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Aspekte,
JÜL-Spez- 118, Juli 1981
- Nr. 25: Schmitz, J.
Abschätzung des energiesparenden Innovationspotentials der Industrie Steine und Erden,
JÜL-1729, Aug. 1981

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 26: Bansal, N.K., Uhlemann, R., Boettcher, A.
Plastic Solar Air Heaters of a Novel Design - Testing and Performance,
JÜL-1783, April 1982
- Nr. 27: Höpfinger, E., Drepper, F., Heckler, R., Schwefel, H.P.
unter Mitarbeit von Hermes, U., Horst, H.
Zur Einbettung der Energiewirtschaft in die Volkswirtschaft
- Vier dynamische Modelle -
JÜL-Spez-166, Juli 1982
- Nr. 28: Grüter, J.W., Wolff, M.
Die Energieversorgung der Gemeinde Seedorf im Landkreis
Lüchow-Dannenberg, Niedersachsen - Eine Endenergieanalyse
JÜL-Spez-170, August 1982
- Nr. 29: Huber, W., Allhorn, H., Birnbaum, U.
Emissionen von Kohlenutzungsanlagen und mögliche Minderungs-
maßnahmen,
JÜL-1815, Nov. 1982
- Nr. 30: Müller, M., Maher, K.J., with contributions of Rath-Nagel, St.,
Tosato, G.C.
Summary Report on Technology Characterizations,
International Energy Agency: Energy Technology Systems
Analysis Project,
JÜL-Spez-185, Dez. 1982
- Nr. 31: Hildebrandt, T.
Wechselwirkungen zwischen Energiewirtschaft und Gesamt-
wirtschaft (Diss.)
JÜL-Spez-192, Dez. 1982
- Nr. 32: Höpfinger, E., Huber, W.
EFOM 12C CASE STUDIES - Candidate Technologies to Relieve
the EUROPEAN Energy System, Germany,
JÜL-Spez-193, EUR 8428 EN, Jan. 1983
- Nr. 33: Späte, F.
Bestimmung des thermischen Verhaltens von zwei Thermo-
siphonanlagen,
JÜL-Spez-194, Febr. 1983
- Nr. 34: Uhlemann, R.
Performance and Cost Analysis of Pressurized and Non-
pressurized Domestic Solar Water Heating Systems with
Thermosyphonic Flow,
JÜL-1882, Dez. 1983

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 35: Kollmann, H., Plewnia, M., Schmitz, J., Huber, W.
Stand und Entwicklungstendenzen der Raumwärmeversorgung der Haushalte -
Bd. 1: Determinanten des Heizwärmebedarfs von Gebäuden,
Bd. 2: Kosten für Energieeinsparung durch Wärmedämmung von Gebäuden und heizungstechnische Maßnahmen,
Bd. 3: Vergleich ausgewählter Heizungssysteme unter energetischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten,
JÜL-Spez-234, Dez.1983
- Nr. 36: Heckler, R., Pohlmann, M., Schwefel, H.P.
Ein Modell zur Analyse der Umwandlungskapazitäten im Energiesektor der Bundesrepublik Deutschland,
JÜL-Spez-237, Dez. 1983
- Nr. 37: Aringhoff, R., Bezerra, S., Hymmen, H.A., Kolb, G., Pimentel, R. (Working Group KFA/STE, CAEEB/Brasilien, SETEC/Bras.)
Program of Research and Development on the Utilization of Brazilian Coal and on Energy Systems Analysis and Planning for Brazil,
JÜL-Spez-261, June 1984
- Nr. 38: Correa-Guzman, E.J.
Erweiterung des unscharfen linearen Programmierens bei Mehrfachzielsetzungen. Beschreibung und Anwendung auf Energiesystemanalysen,
JÜL-Spez-262, Juli 1984
- Nr. 39: Allhorn, H.
Modellmäßige Analyse der Energie- und Massenströme einer Kohleverflüssigungsanlage zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit unter besonderer Berücksichtigung von Maßnahmen zur Emissionsminderung;
JÜL-1937, Juli 1984
- Nr. 40: Romahn, B.,
mit Beiträgen von Wilde, D.,
Redaktion der gekürzten Fassung: Kolb, G.
Energiestudie für die Provinz Guangdong/Volksrepublik China; gekürzte Fassung des Bandes V: Energieversorgungsstrategien für die Provinz Guangdong bis zum Jahr 2000,
JÜL-Spez-264, Aug. 1984
- Nr. 41: Wensierski, P.W., unter Mitarbeit von Scheller, W.
Analytische Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung,
JÜL-Spez-268, Aug. 1984

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 42: Wensierski, P.W.
Analyse und Optimierung solarer Warmwasser- und Raum-
heizungssysteme von Wohnbauten mit verschiedenem Wärme-
schutz;
JÜL-Spez-301, Febr. 1985
- Nr. 43: Riemer, H.
Analyse der Einsatzmöglichkeiten solarthermischer Heiz-
systeme zur zentralen Niedertemperatur-Wärmeversorgung
in der Bundesrepublik Deutschland;
JÜL-Spez-307, Apr. 1985
- Nr. 44: Jobsky, Th.
Elektrizität im industriellen Energiemarkt. Eine sektorale
Analyse der Gründe und Ursachen der Elektrizitätsanwendung
unter Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung;
JÜL-Spez-308, Apr. 1985



