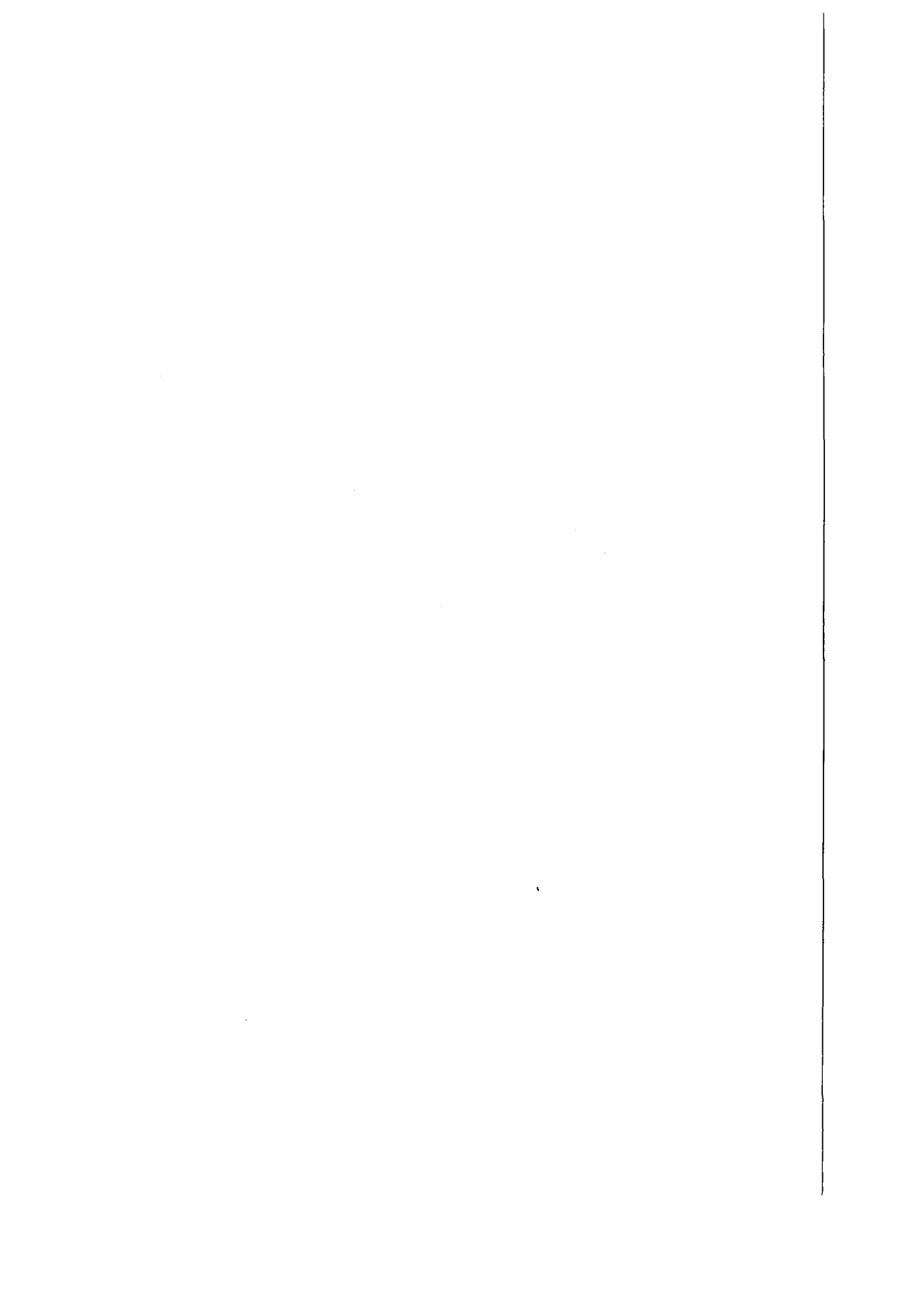


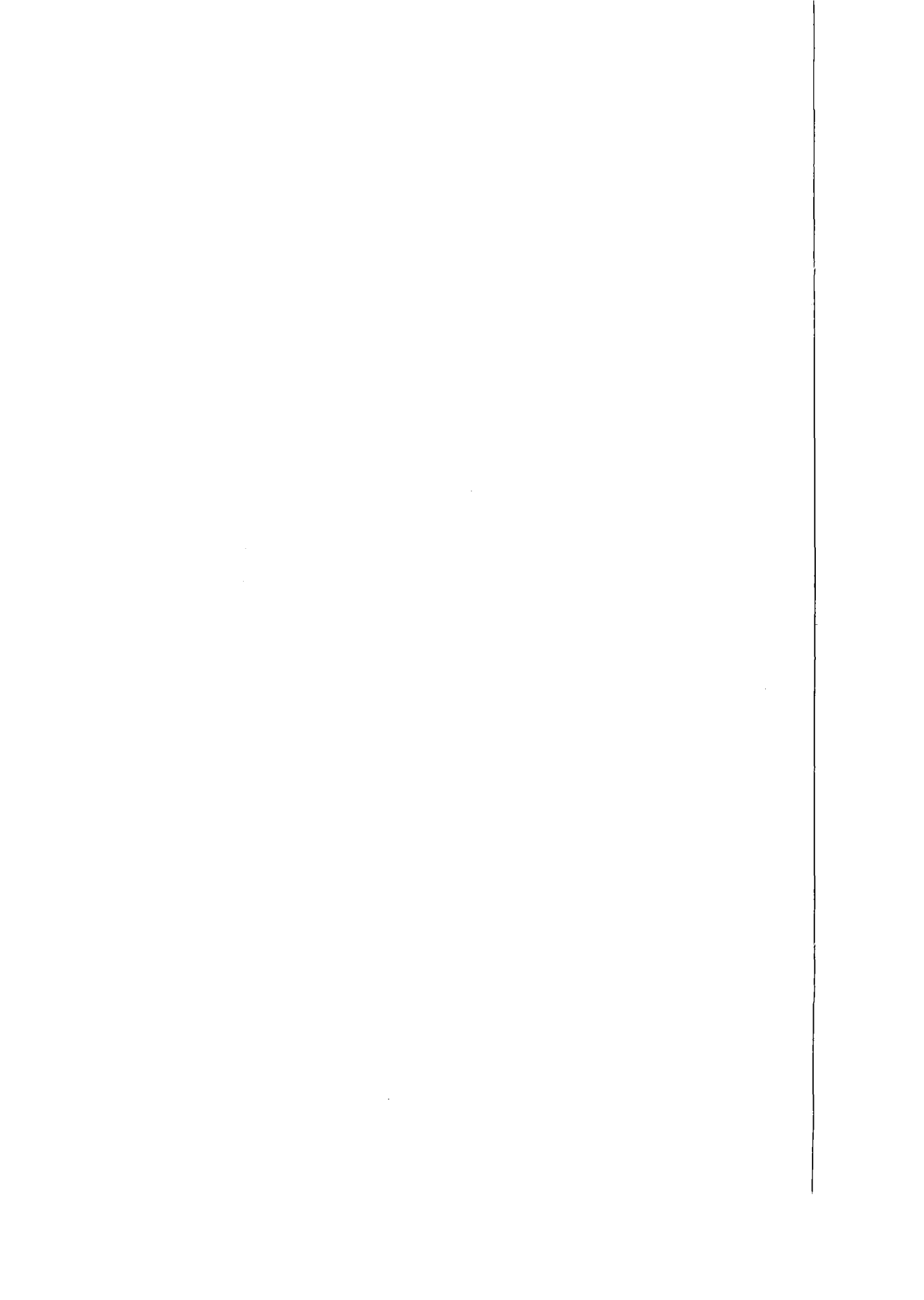


**Energieeffizienz, Strukturwandel und
Produktionsentwicklung der
deutschen Industrie**

E. Jochem, H. Bradke







Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Technologiefolgenforschung

Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen Industrie

Eberhard Jochem, Harald Bradke

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
(FhG-ISI), Karlsruhe

Monographien des Forschungszentrums Jülich

Band 19/1996

ISSN 0938-6505 ISBN 3-89336-172-3

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Jochem, Eberhard :

Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen Industrie [IKARUS, Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien, Abschlussbericht Teilprojekt 6 "Industrie"] / Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Technologiefolgenforschung. Eberhard Jochem ... [Hrsg.: Forschungszentrum Jülich GmbH, Zentralbibliothek]. - Jülich :

Forschungszentrum, Zentralbibliothek, 1996

(Monographien des Forschungszentrums Jülich ; Bd. 19)

ISBN 3-89336-172-3

NE: Bradke, Harald; Forschungszentrum <Jülich> : Programmgruppe Technologiefolgenforschung; Forschungszentrum <Jülich>: Monographien des Forschungszentrums ...

Herausgeber: Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF)

Vertrieb: Forschungszentrum Jülich GmbH
ZENTRALBIBLIOTHEK
D-52425 Jülich
Telefon (02461) 61-5368 · Telefax (02461) 61-6103

Druck: Graphische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Copyright: Forschungszentrum Jülich 1996

Monographien des Forschungszentrums Jülich, Band 19

ISSN 0938-6505

ISBN 3-89336-172-3



Abschlußbericht Teilprojekt 6 „Industrie“

Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen Industrie

Eberhard Jochem, Harald Bradke, Wolfgang Eichhammer,
Frank Marscheider-Weidemann, Martin Patel, Peter Radgen,
Stephan Ramesohl, Dietmar Saage, Barbara Schlomann,
Wilhelm Mannsbart
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
(FhG-ISI), Karlsruhe

Jens Schildhauer
Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München

Lothar Petrick, Gunda Obst
Gesellschaft für Energieanwendung und Umwelttechnik
(GEU), Leipzig

IKARUS – Ein Entwicklungsvorhaben des Forschungszentrums Jülich
im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissen-
schaft, Forschung und Technologie (ehemals BMFT), Bonn

Projektleitung:
Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF) des Forschungszentrums Jülich

Die Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung,
Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF, ehemals BMFT) unter
dem Kennzeichen ET9188A durchgeführt.
Die Veröffentlichung erfolgt mit Zustimmung des Auftraggebers.
Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Der Bericht wurde im Januar 1996 fertiggestellt.

Koordinator Teilprojekt 6 „Industrie“:
Dr. Eberhard Jochem
Dr. Harald Bradke

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
(FhG-ISI), Karlsruhe

Vorwort der Projektleitung

Die nachhaltige Reduktion von Klimagasemissionen, die mit der Erzeugung, Umwandlung und Nutzung von Energie verbunden sind, wird zusehends zu einer immer wichtigeren Aufgabe der Energie- und Umweltpolitik. Zur Lösung dieser Aufgabe sind unterschiedliche Strategien denkbar. Ziel des IKARUS-Projektes (Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien) war es, ein Instrumentarium bereitzustellen, mit dem Strategien unter gedanklicher Nutzung unterschiedlicher Technologien entwickelt und nachvollzogen sowie auf ihre innere Widerspruchsfreiheit getestet und ihre ökonomischen Auswirkungen hin untersucht werden können.

Entsprechend der großen Komplexität der Aufgabenstellung und der technologischen Vielfalt der Energieanwendungen ist das Instrumentarium sehr umfangreich. Es besteht aus zwei Teilen: einer Datenbank mit umfassender Datensammlung und mehreren Computermodellen unterschiedlicher Art.

Die relationale **Datenbank** in ORACLE mit graphischer Oberfläche hat eine Doppelfunktion als **Versorger der Modelle** und als **unabhängig nutzbares Informationssystem**. Sie gliedert sich in **Technikdatenbank**, **Modelldatenbank** und **Rahmendatenbank**. Die Daten wurden in sechs Daten-Teilprojekten für das Ausgangsjahr 1989 erhoben und für die Jahre 2005 und 2020 geschätzt. Die **Technikdatenbank** enthält technische, wirtschaftliche und ökologische Daten repräsentativer Techniken von der Primärenergiegewinnung bis zur Endenergienutzung, ergänzt durch Kommentare, Graphiken, Strukturschemata und Kennlinienfelder. Durch ein Bewertungsschema wird die Belastbarkeit der Angaben dargestellt und kommentiert, so daß entsprechend der Zielsetzung eine nachvollziehbare, konsensfähige und umfassende Grundlage für Strategiediskussionen bereitsteht. Neben den Einzeltechniken wurden aggregierte "Mischtechnik"-Daten als Eingangsdaten für das unten genannte Optimierungsmodell erzeugt und in der **Modelldatenbank** abgespeichert. Um diese Aggregation im Hinblick auf die Optimierung des Energieversorgungs- und -nutzungssystems ausreichend flexibel zu gestalten, werden dem Nutzer einige, dem Optimierungsmodell vorgelagerte, in den Daten-Teilprojekten entwickelte Aggregationstools zur Verfügung gestellt, die in die Oberfläche der Datenbank integriert sind. Die **Rahmendatenbank** schließlich enthält exogene Größen der Modelle wie Nachfragen nach Energiedienstleistungen, Einsatzgrenzen und Bestandsdaten für Techniken sowie Hintergrundinformationen für Gestaltung von Nutzereingaben und Deutung von Modellergebnissen.

Kernstück der entwickelten Modelle ist ein technikorientiertes, lineares **Optimierungsmodell**, das den Energiefluß in der Bundesrepublik Deutschland mittels ca. 2000 (aggregierten) Techniken abbildet. Das "Platzhalterkonzept" des Modells ermöglicht den Austausch dieser Techniken. Für die Stützjahre 2005 und 2020 ermittelt das Modell kostenoptimale energietechnische Strukturen unter vorgegebenen Randbedingungen, z.B. untere und obere Einsatzgrenzen von Techniken und vor allem Obergrenzen für Emissionen. - Zur Überprüfung der volkswirtschaftlichen Verträglichkeit der Modellergebnisse sowie zur Bereitstellung von Rahmendaten der Wirtschaftsentwicklung dient das **Makroökonomische Informationssystem MIS**. - Ein Simulationsmodell gestattet den Vergleich von **Energietechnik-Ketten**, die eine bestimmte vorgegebene Energiedienstleistung erbringen. Sektorspezifische **Simulationsmodelle für "Raumwärme", "Strom und Fernwärme", "Verkehr" sowie "Industrie und Kleinverbraucher"** werden sowohl für detaillierte Untersuchungen im jeweiligen Bereich als auch (neben den erwähnten Tools) für die Herstellung der aggregierten Techniken im Optimierungs- und Kettenmodell eingesetzt.

Als Bindeglied zwischen dem nationalen Projekt und dem internationalen Umfeld wurde das Vorhaben "**Verifikation**" in IKARUS integriert, mit dem Techniken und Verfahren zur Überprüfung der Vertragstreue der Staaten untersucht werden, die Mitglieder der Klimakonvention sind.

Auftragnehmer des BMBF war das Forschungszentrum (KFA) Jülich, das zwei der Teilprojekte und das Projektmanagement durchführte. Für die übrigen Arbeiten waren Unteraufträge vergeben worden. Neun gleichberechtigte Partner trugen in "Teilprojekten" mit mehr als 50 Unteraufnehmern zur IKARUS-Entwicklung bei. Die neun Teilprojekte, ihre verantwortlichen Institutionen und Arbeitsbereiche sind:

Teilprojekt 1:

Forschungszentrum (KFA) Jülich, Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE): Modellentwicklung - Optimierungsmodell mit makroökonomischer Einbettung, Kettenmodell, Teilmodelle Raumwärme, Strom und Fernwärme, Verkehr.

Teilprojekt 2:

Fachinformationszentrum (FIZ), Karlsruhe: Datenbank - Konzeption und Programmierung.

Teilprojekt 3:

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin: Primärenergie - Gewinnung fossiler Energieträger im Inland, Außenhandel mit Energieträgern, erneuerbare Energiequellen.

Teilprojekt 4:

Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart: Energieumwandlung, -speicherung, -transport und -verteilung.

Teilprojekt 5:

Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, Technische Universität München: Haushalte und Kleinverbraucher - Raumwärme, Haushaltsgeräte, Prozeßwärme.

Teilprojekt 6:

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe: Industrie - energieintensive Einzeltechniken, Branchen, Sparten. Teilmodell Industrie und Kleinverbraucher.

Teilprojekt 7:

Technischer Überwachungsverein (TÜV) Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Köln: Personen- und Güterverkehr auf Straße, Schiene, zu Wasser und in der Luft.

Teilprojekt 8:

Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München: Querschnittstechniken - sektor- und branchenübergreifende Techniken zur Energieumwandlung.

Teilprojekt 9:

Forschungszentrum (KFA) Jülich, Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF): Verifikationsmaßnahmen im Rahmen der internationalen Klimakonvention.

Die im Projekt erarbeiteten Berichte können seit Sommer 1994 über die Zentralbibliothek des Forschungszentrums (KFA) Jülich erworben werden. Damit soll einerseits dem Gesichtspunkt der allgemeinen Verfügbarkeit abgesicherter Daten Rechnung

getragen und andererseits auch denjenigen, die nur an eng begrenzten Teilbereichen interessiert sind, der Zugang zu den Arbeitsergebnissen eröffnet werden.

Nach Fertigstellung wird das Instrumentarium auf CD-ROM durch das Forschungszentrum (KFA) Jülich und das Fachinformationszentrum Karlsruhe (FIZ) (nur Datenbank) vertrieben. Aktualisierte Versionen sind zunächst für 1997 und 1999 vorgesehen. Für die Nutzer des Instrumentariums und sonstige Interessenten werden Informationen, Schulung und thematisch vertiefende Diskussionsveranstaltungen angeboten.

G. Stein, Projektleitung IKARUS

Vorwort der Autoren von Teilprojekt 6 "Industrie"

Aufbauend auf den Ergebnissen der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages im Jahre 1990 hatte die Bundesregierung in mehreren Kabinettsbeschlüssen Anfang der 90er Jahre die wesentlichen Grundelemente einer umfangreichen Strategie zur Reduktion der anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen festgelegt. Besonderes Gewicht haben dabei die energiebedingten Emissionen und hier besonders die CO₂-Emissionen, die durch die Verbrennung fossiler Energieträger entstehen. Seit den ersten Beschlüssen der Bundesregierung, die CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2005 um mehr als 25 % gegenüber seinem Ausgangswert von 1,08 Mrd. t im Jahre 1987 zu vermindern, sind die Emissionen der Treibhausgase deutlich zurückgegangen, die CO₂-Emissionen bis Ende 1995 auf etwa 890 Mio. t. Das Reduktionsziel wurde von Bundeskanzler Kohl auf der ersten Nachfolgekonzferenz der Klimarahmenkonvention im April 1995 in Berlin nochmals bestätigt.

Heute bezweifeln nicht wenige Praktiker in Wirtschaft und Verwaltung, daß dieses Ziel unter halbwegs akzeptablen Kosten und bei dem verbleibenden Zehn-Jahres-Zeithorizont noch zu erreichen sei, weil die bisherigen CO₂-Emissionsminderungen ausschließlich in Ostdeutschland durch den Zusammenbruch der Wirtschaft und die erhebliche Substitution von Braunkohle durch Erdgas und Heizöl sowie mehr Energieeffizienz erreicht wurden. Andererseits betonen die Klimatologen, Geophysiker und Biologen, daß die Zielsetzung der Verminderung klimarelevanter Gasemissionen der Industrieländer weitere Etappen für 2020 mit 40 bis 50 % (ebenfalls bezogen auf das Jahr 1987) und für Mitte des kommenden Jahrhunderts mit 80 % zu erfüllen habe, wenn man eine nicht vermeidbare moderate Zunahme der Nutzung von fossilen Energieträgern der Schwellen- und Entwicklungsländer in den nächsten Jahrzehnten mitbetrachte. Aufgrund bisheriger Analysen sind einige Energiewirtschaftler - darunter auch die Autoren - der Meinung, daß die Kosten der zur Zielerreichung notwendigen Maßnahmen durchaus im Rahmen des Möglichen seien und andere positive Begleitwirkungen wie netto mehr Beschäftigung, eine bessere Position der Investitionsgüterindustrie im Export und weniger Umweltschäden zu erwarten seien.

Um die Frage von Akzeptanz und Kosten verschiedener klimapolitischer Optionen auf eine hinreichend präzise Basis stellen zu können, dient nunmehr u.a das IKARUS-Instrumentarium dazu, die politische Diskussion um energie-, verkehrs- und klimapolitische Optionen anhand quantitativ arbeitender Modelle und einer großen Datenbank zu unterstützen. Innerhalb von vier Jahren wurde nunmehr ein Instrumentarium erarbeitet, das einerseits über eine einheitlich strukturierte, breit und wissenschaftlich gut abgesicherte Datenbasis verfügt und andererseits aus einer Reihe von Rechenmodellen für Analysen besteht, die der Komplexität des

Energiesystems einschließlich seiner verschiedenen Energienutzungen in einzelnen Verbrauchssektoren und im Umwandlungsbereich angemessen sind.

Der hier vorgelegte Bericht beschreibt in komprimierter Form die Arbeitsergebnisse für das Teilprojekt Industrie, soweit sie bis im Sommer 1995 erzielt wurden. Die Analyse setzt mit dem Versuch, einzelne Nutzenergiebereiche wie z. B. die Heiß- und Warmwassererzeugung oder energieintensive Prozesse mit ihren Energieeinsparmöglichkeiten und deren Kosten zu beschreiben, neue Standards. Daß diese Ziellatte - insbesondere angesichts der relativ kurzen Projektzeit - für so einen komplexen Sektor wie die Industrie sehr hoch gelegt wurde, zeigt dieser Bericht mit seinen offenen Fragen an der einen oder anderen Stelle. Da aber die Datenbank aktualisiert und zusammen mit dem Optimierungsmodell genutzt werden wird, werden in Zukunft der Ansatz verfeinert und die Daten bestehender und neuer Technologien aktualisiert werden können. Auch im Rahmen der freiwilligen Selbstverpflichtung der deutschen Industrie vom 10.3.1995 könnte das Teilprojekt "Industrie" von IKARUS wertvolle Informationsdienste leisten.

Die Projektverantwortlichen sind sich bewußt, daß ohne das hohe persönliche Engagement aller an diesem Teilprojekt Beteiligten die vorliegenden Ergebnisse in ihrem Umfang und in ihrer Qualität nicht möglich gewesen wären. Deshalb richtet sich unser Dank einmal an die vielen Fachleute in Industrie und Industrieforschung sowohl auf Anwender- als auch auf Herstellerseite, die dem Projektteam bei der Beschaffung und Prüfung der erforderlichen Daten mit Rat und Tat geholfen haben. Der Dank richtet sich auch an Dietmar Bottesch, Norbert Sichler, Michael Ebert, Ralf Gottschalg und Alexandra Bühler, die bei der Software-Entwicklung, der Dateneingabe und Datenüberprüfung mit großem Einsatz geholfen haben, an Stephan Ramesohl und Jochen Schlindwein für die Erhebung und Berechnung von Daten sowie an Brigitta Schneider-Eckert, Renate Schmitz und Doris Seitz, die nicht nur diesen vorliegenden Bericht, sondern weitere technische Detailberichte und vorangegangene Zwischenberichte mit großer Sorgfalt geschrieben und redigiert haben. Das Engagement aller Beteiligten war möglich, weil sich alle der Vorsorge der Klimaentwicklung auf diesem blauen Planeten verpflichtet fühlen.

E. Jochem

H. Bradke

Inhaltsverzeichnis

	<i>Seite</i>
1 Zusammenfassung des Teilprojekts Industrie zum Überblick.....	1
2 Aufgabenstellung des Teilprojektes Industrie.....	19
3 Methodisches Vorgehen und Datenaspekte.....	23
3.1 Disaggregation des Sektors Industrie	25
3.2 Vorgehen und Probleme bei der Erhebung/Schätzung der Kosten.....	29
3.2.1 Methode der anlegbaren Investitionskosten.....	31
3.2.2 Grenzen der verwendeten Kosten- und Potentialangaben.....	33
3.3 Datenzugriff über die IKARUS-Datenbank	36
4 Die heutige energiewirtschaftliche Situation und ein kurzer Blick auf die Vergangenheitsentwicklung der deutschen Industrie.....	41
4.1 Die westdeutsche Industrie 1970-1994.....	43
4.1.1 Energieintensitäten, Strukturwandel und rationelle Energieanwendung.....	44
4.1.2 Der Wechsel vom Nettoexporteur zum Nettoimporteur „grauer Energie“.....	48
4.2 Die Industrieentwicklung der DDR seit 1980 und der Neuen Bundesländer bis 1994	51
5 Die Entwicklung der energiebestimmenden Größen für die Zieljahre 2005 und 2020	59
5.1 Disaggregation und Werte für das Basisjahr 1989 (1988) für die west- bzw. ostdeutsche Industrie.....	60
5.2 Produktionsschätzungen für die west- und ostdeutsche Industrie.....	65
6 Energieeffizienzpotentiale für die Jahre 2005 und 2020	73
6.1 Grundstoffindustrie.....	74
6.1.1 Eisenschaffende Industrie.....	75
6.1.1.1 Sinter.....	76
6.1.1.2 Roheisen (Hochofenbetriebe).....	76
6.1.1.3 Direktreduktion und Schmelzreduktion	78
6.1.1.4 Oxygenstahl (LD- und OBM-Stahl)	79
6.1.1.5 Elektrolichtbogenstahl	79

6.1.1.6	Siemens-Martin-Stahl	81
6.1.1.7	Warmwalz- und Blech-Kaltwalzbetriebe.....	81
6.1.1.8	Restliche Eisenschaffende Industrie.....	82
6.1.1.9	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse zu Gesamtaussagen für die Eisenschaffende Industrie.....	83
6.1.2	Nichteisenmetallindustrie	88
6.1.2.1	Aluminium	90
6.1.2.2	Kupfer	93
6.1.2.3	Zink.....	94
6.1.2.4	Blei.....	95
6.1.2.5	Restliche NE-Metallindustrie	95
6.1.2.6	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelprozesse zu Gesamtaussagen für die NE-Metallindustrie	96
6.1.3	Steine- und Erden-Industrie	101
6.1.3.1	Zement	102
6.1.3.2	Kalk.....	103
6.1.3.3	Ziegel	104
6.1.3.4	Sonstige Steine-Erden.....	106
6.1.3.5	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelprozesse zu Gesamtaussagen für die Steine- und Erdenindustrie.....	107
6.1.4	Chemische Industrie.....	111
6.1.4.1	Chlor-Alkali-Elektrolyse	111
6.1.4.2	Ammoniaksynthese	112
6.1.4.3	Herstellung von Aluminiumhydroxid/Aluminiumoxid	114
6.1.4.4	Phosphor	114
6.1.4.5	Soda.....	115
6.1.4.6	Calciumcarbid.....	115
6.1.4.7	Herstellung von Sauerstoff und Stickstoff	116
6.1.4.8	Herstellung von Acetylen.....	116
6.1.4.9	Herstellung von Methanol.....	117
6.1.4.10	Gewinnung von Aromaten	118
6.1.4.11	Herstellung von Olefinen.....	119
6.1.4.12	Herstellung von Polyolefinen.....	120
6.1.4.13	Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC).....	121
6.1.4.14	Herstellung von Chemiefasern.....	121
6.1.4.15	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelprozesse zu Gesamtaussagen für die Chemische Industrie	122
6.1.5	Zellstoff- und Papierindustrie	129
6.1.5.1	Zellstoff.....	129
6.1.5.2	Holzstoff	130
6.1.5.3	Papier, Karton und Pappen	130

6.1.5.4	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Zellstoff- und Papierindustrie	128
6.2	Investitionsgüterindustrie	131
6.2.1	Maschinenbau	132
6.2.2	Fahrzeugbau	134
6.2.3	Elektrotechnik	135
6.2.4	EBM-Waren	136
6.2.5	Übriges Investitionsgütergewerbe	137
6.2.6	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelbranchen zum Investitionsgüterproduzierenden Gewerbe.....	138
6.3	Verbrauchsgüterindustrie	141
6.3.1	Glas	142
6.3.2	Feinkeramik	143
6.3.3	Sonstige Verbrauchsgüterindustrie.....	144
6.3.4	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelbranchen zum Verbrauchsgüterproduzierenden Gewerbe.....	147
6.4	Nahrungs- und Genußmittelgewerbe	149
6.4.1	Zuckerindustrie.....	150
6.4.2	Brauereien	151
6.4.3	Backwarenindustrie	153
6.4.4	Milchverarbeitung	155
6.4.5	Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Nahrungs- und Genußmittelindustrie.....	158
7	Schlußfolgerungen aus Ausblick	161
7.1	Schlußfolgerungen und Anwendungen	161
7.1.1	Allgemeine Trends der Energieeffizienzentwicklung in der Industrie	162
7.1.2	Der Einfluß der Methoden auf die Schätzwerte der Energieintensität.....	164
7.1.3	Modellierung und modell-externe Behandlung klimarelevanter Minderungsmaßnahmen und Politikinstrumente.....	165
7.2	Offene Fragen, Kritik und Aktualisierungsbedarf.....	167
	Literaturverzeichnis	169

1 Zusammenfassung des Teilprojekts Industrie zum Überblick

Aufgabenstellung

Der Endenergieverbrauch der westdeutschen Industrie nahm zwischen 1970 und 1994 um etwa 20 % auf rd. 2200 PJ ab, während die Produktion im gleichen Zeitraum um rund 60 % zunahm. Mindestens im gleichen Tempo von durchschnittlich 2 % pro Jahr müßte die Energieintensität, das Verhältnis von Energiebedarf und Nettoproduktion der Industrie, in den kommenden 10 Jahren zurückgehen, damit nach den Überlegungen der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" und der Bundesregierung eine berechtigte Aussicht besteht, das CO₂-Minderungsziel von -25 % für das Jahr 2005 auf der Basis von 1987 für Deutschland insgesamt zu erreichen.

Noch ist heute weitgehend unklar, in welchem Umfang die vorhandenen Energieeffizienz- und Emissionsminderungspotentiale in der deutschen Industrie volkswirtschaftlich nutzbringend, kostenneutral oder mit welchen zusätzlichen Kosten zu realisieren sind. Welche neuen Produktionstechnologien sind angesichts der schnellen technischen Entwicklung im Industriebereich zu erwarten, zumal bei dem hohen Reinvestitionstempo in den neuen Bundesländern, deren industrieller Energiebedarf binnen vier Jahren durch den Zusammenbruch der alten Produktionsstruktur auf ein Drittel des Ausgangswertes von 1989 zurückgegangen war? Wie entwickelt sich der Strukturwandel in den nächsten 25 Jahren in der westdeutschen Industrie und in welchen Branchen der ostdeutschen Wirtschaft nimmt der Energiebedarf infolge des Aufschwungs wieder zu? Wie könnte sich die Energieträgerstruktur in den kommenden 10 bis 25 Jahren in der deutschen Industrie entwickeln, und welche Rolle könnte die Kraft-Wärme-Kopplung bei der Emissionsminderung spielen?

Ziel des Teilprojektes "Industrie" im IKARUS-Projekt war es, auf die genannten Fragen Antworten geben zu können; hierzu war es notwendig, auf möglichst detaillierter Datenbasis zu Techniken, Prozessen und Branchen den Energiebedarf, die daraus resultierenden klimarelevanten Emissionen und die entstehenden Kosten für die entsprechenden Emissionsminderungen zu ermitteln. Die **technischen**, zu berücksichtigenden **Möglichkeiten bis zu den Jahren 2005 und langfristig bis 2020** sind:

- Effizienzsteigerungen, die sowohl durch technische als auch organisatorische Maßnahmen erreicht werden können (z.B. Luftzahlregelung an Öfen, Substitution von thermischen Trennverfahren durch Membranverfahren, kontinuierliche Betriebsweise von energieintensiven Anlagen durch vorausschauende Terminplanung),

- Substitution von Energieträgern mit hohen spezifischen CO₂-Emissionen durch andere CO₂-arme oder CO₂-freie Energieträger und verstärktes Recycling energieintensiver Produkte (z.B. Papier- und Glasrecycling, stoffliche Rückführung von Kunststoffen, Stahl und NE-Metallen),
- bessere Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit verschiedener Energieformen, z. B. durch verstärkte Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung oder von Wärmetransformatoren,
- Substitution energieintensiver Materialien durch andere mit geringerem spezifischen Energiebedarf (z. B. langfristig durch nachwachsende Rohstoffe und geschäumte Metalle) sowie
- technische Maßnahmen zur Senkung von Emissionen (z. B. NO_x durch andere Brenner, Brennraumgestaltung oder Katalysatorstechnik).

Ein Teil dieser technischen Möglichkeiten wird autonom im Zuge der allgemeinen technischen Entwicklung und von Reinvestitionen stattfinden. Diese Entwicklung mußte zunächst als **Referenz-Szenario** beschrieben werden. Weitergehende Effizienz- und Emissionsverbesserungen werden nur aufgrund energie- und umweltpolitischer Maßnahmen erfolgen. Für diese Fälle sollten die **zusätzlich erforderlichen Kosten** ermittelt werden. Außerdem war zu berücksichtigen, daß die durch angenommene Energiepreissteigerungen oder durch technischen Fortschritt eröffneten Energieeinsparpotentiale aufgrund vielfältiger Hemmnisse (z. B. fehlendes Wissen oder Kapital, Erwartungen sehr kurzer Amortisationszeiten) nur zum Teil ausgeschöpft werden können.

Die Daten für die west- und ostdeutsche Industrie sollten für das Basisjahr (1989 bzw. 1988) und für das Jahr 2005 jeweils getrennt bereitgestellt werden. Für 2020 wurde allerdings angenommen, daß zu diesem Zeitpunkt technologische Unterschiede in beiden Teilen Deutschlands nicht mehr von Bedeutung sind. Lediglich die Schätzwerte für die Produktion der einzelnen Branchen sollten für das Jahr 2020 getrennt für die ost- und westdeutsche Industrie in der Datenbank des IKARUS-Projektes ausgewiesen werden.

Methodisches Vorgehen

Die Vielzahl der technischen Einzelheiten industrieller Produktionsprozesse und Branchen erfordert eine **Aggregation der gesammelten Daten in zwei Stufen**: einmal erfolgt eine Zusammenstellung von technischen Daten und Kostenangaben in einer überschaubaren Datenstruktur in einer **Datenbank**, die vom Fachinformationszentrum Karlsruhe entwickelt

wurde und die auch on line ab Sommer 1996 von Dritten benutzt werden kann. Da aber die Anzahl der Techniken und deren Detailtiefe noch zu groß für die Integration in das IKARUS-Optimierungsmodell war, mußten die Daten der IKARUS-Datenbank unter energietechnischen und -wirtschaftlichen Kriterien zur Nutzung im Modell weiter komprimiert werden bzw. für den externen Nutzer durch eine entsprechende Software komprimierbar gemacht werden.

Das **Optimierungsmodell** dient dazu, zugegebene CO₂-Reduktionsziele für 2005 und 2020 in einem geeigneten Spektrum technischer Einzelmaßnahmen zu erreichen, die in ihrer Summe möglichst geringe Zusatzkosten erfordern würden.

Abweichend von bisherigen Analysen im industriellen Bereich, denen stets der spezifische Endenergiebedarf einzelner Branchen zugrunde gelegt wurde, liegen die Daten von Datenbank und Modell zum Teil auf dem **Nutzenergieniveau** (z. B. Dampf-, Heißwasser- und Kühlbedarf) vor. Dabei sind der Detaillierungsgrad und die Art der Analysen für die einzelnen Industriezweige infolge der technologischen Vielfalt und Datenverfügbarkeit unterschiedlich. Einzeltechnische Analysen beschränken sich auf etwa **30 Produktionsprozesse innerhalb sehr energieintensiver Industriezweige**, vor allem der Grundstoffindustrie. In weniger energieintensiven Bereichen werden technologisch relativ homogene Branchen und Sparten zusammenfassend behandelt. Dabei erreicht man in der IKARUS-Datenbank eine Disaggregation in etwa 50 Produktionsbereichen bzw. Branchen (vgl. Abbildung 1-1).

Anfang 1995 wurden allein im Industriesektor für mehrere 100 Techniken die betriebstechnischen und emissionsseitigen Daten sowie Kostenangaben und Produktionsschätzungen für 2005 und 2020 gespeichert. Sie werden ab 1995 in einem ein- bis zweijährigen Turnus überprüft und gegebenenfalls ergänzt und verfeinert.

Bei den Querschnittstechniken und einzelnen Prozeßtechniken konnten im allgemeinen die Einsparpotentiale auch mit ihren **Investitions- und Betriebskosten** angegeben werden. Bei diesen Angaben ist aber zu beachten, daß bei Prozeßverbesserungen und -substitutionen der Kapitalrückfluß häufig nicht allein aufgrund einer verbesserten Energienutzung erfolgt, sondern auch aufgrund anderer Verbesserungen wie z.B. durch Rationalisierung von Arbeits- und Kapitaleinsatz, Qualitätsverbesserung oder Ausschußminderung. Sowohl in diesen Fällen des prozeßintegrierten energietechnischen Fortschritts als auch bei den Energieeffizienzschätzungen für jene Branchen, die nicht einzeltechnologisch behandelt werden (z.B. die Branchen der Investitionsgüterindustrie), wurden die Energieeinsparkosten anhand der Methode der anlegbaren Kosten festgestellt (vgl. Kapitel 3.2).

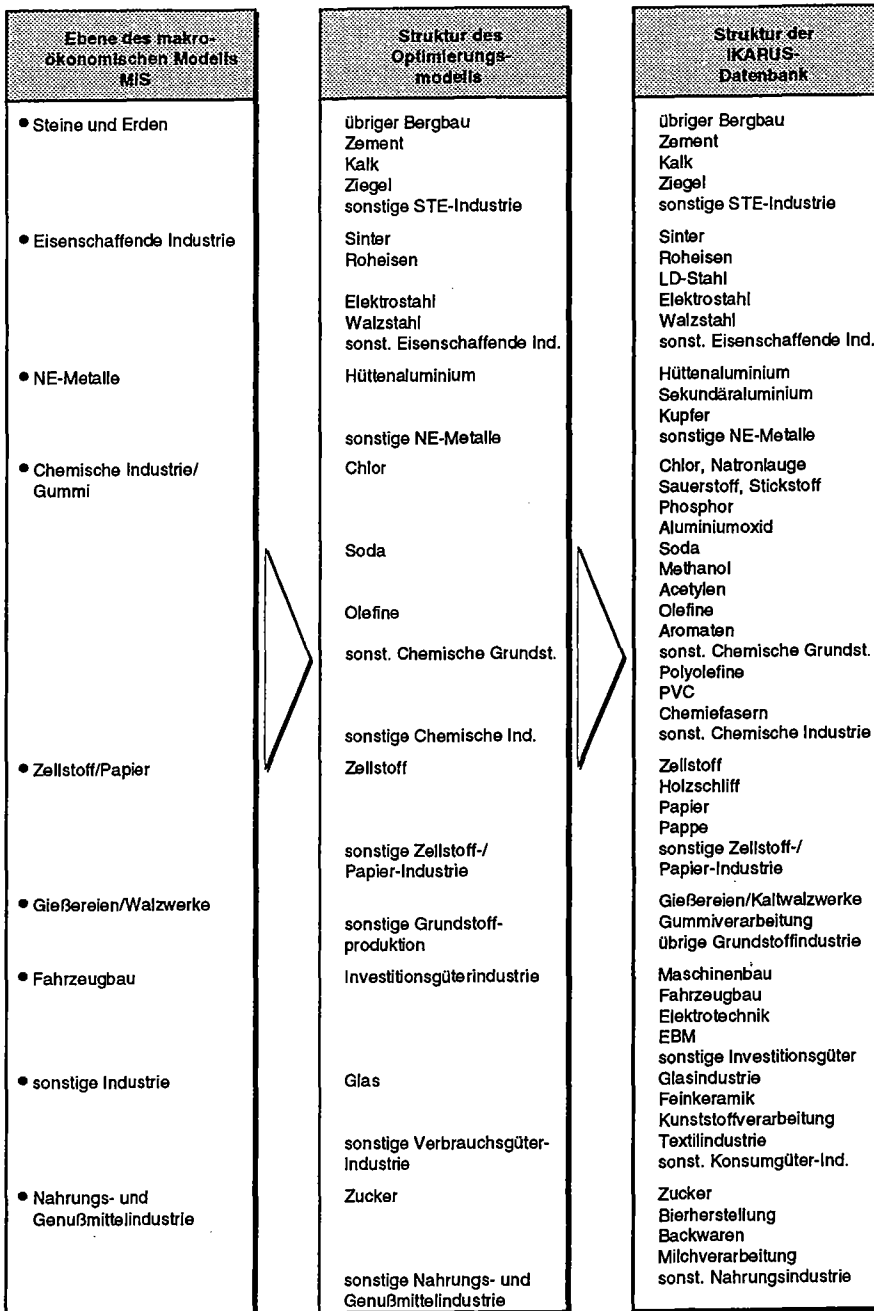


Abb. 1-1: Disaggregation der Industrie in den Modellen und der Datenbank von IKARUS

Energiebedarf und CO₂-Emissionen der deutschen Industrie heute

Der Endenergiebedarf der deutschen Industrie machte im Jahre 1990 mit knapp 3000 PJ etwa 31,5 % des gesamten Endenergiebedarfs aus. Dieser Bedarf verursachte **CO₂-Emissionen** in Höhe von 210 Mio. t (ohne anteilige Emissionen der Stromerzeugung) bzw. **380 Mio. t** oder 37 % der gesamten CO₂-Emissionen (unter Einbezug der anteiligen Emissionen der Stromerzeugung). Im langfristigen Trend sind industrieller Endenergiebedarf und (noch stärker) die CO₂-Emissionen der Industrie seit Anfang der 80er Jahre rückläufig.

Als **Basisjahr** der Modellrechnungen wurde das Jahr **1989 für die westdeutsche und 1988 für die ostdeutsche** Industrie gewählt, um die gesamtdeutsche Entwicklung in ihrer Dynamik nach der Wiedervereinigung miterfassen zu können. Zur Beschreibung der Energiedaten dienten im wesentlichen die Energiebilanzen der Arbeitsgemeinschaft der Energiebilanzen und das statistische Jahrbuch der DDR sowie für die Produktionsdaten auch spezielle Fachstatistiken sowie Erhebungen der Autoren (vgl. Tabelle 1-1). Für einige Produkte und Einzeltechniken, z.B. Roheisen, einige Grundchemikalien, Zellstoff und Hüttenaluminium, mußten die Energieverbrauchswerte anhand von Produktionszahlen und spezifischen Energieverbräuchen ermittelt werden.

Interessant ist der **Vergleich der Energieverbrauchs- sowie der Produktionszahlen** sowohl zwischen den einzelnen Industriesektoren als auch zwischen der ost- und westdeutschen Industrie (vgl. Tabelle 1-1):

- Während die Grundstoffindustrie in den alten Bundesländern 1989 lediglich ein Viertel der Nettoproduktion der gesamten Industrie ausmachte, benötigte sie – ebenso wie die ostdeutsche Industrie – zwei Drittel des industriellen Endenergiebedarfs.
- Diese unterschiedliche Inanspruchnahme von Energie als Produktionsfaktor zeigt sich auch in den Energiekostenanteilen am Bruttoproduktionswert, der 1989 in der westdeutschen Industrie im Durchschnitt 2,4 % betrug, für die Grundstoffindustrieweige aber zwischen 3,4 (übrige Grundstoffindustrie) und 18,8 % (Zement) lag und für die übrigen Sektoren zwischen 1,2 (Investitionsgüterindustrie) und 2,3 % (Verbrauchsgüterindustrie).
- Der Vergleich zwischen der westdeutschen und ostdeutschen Industrie Ende der 80er Jahre zeigt, daß die **Energieintensität in der DDR mehr als doppelt so hoch lag als in den alten Bundesländern**. Denn die Industriepolitik in der DDR hatte zu einem relativ hohen Anteil der Grundstoffproduktion an der Gesamtproduktion der ostdeutschen Industrie geführt. Zudem war ihr Anlagenbestand teilweise extrem überaltert und hatte schon deshalb einen relativ hohen spezifischen Energiebedarf.

Branchen bzw. Produkte	Endenergieverbrauch		Produktion		Nettoproduktion	
	in PJ		in Mio. t		in Mrd. DM	
	ABL, 1989	DDR, 1988	ABL, 1989	DDR, 1988	ABL, 1989	DDR, 1988 ¹⁾
übriger Bergbau	14,86	13,9	-	-	1,6	0,2
Eisenschaffende Ind.	637,2	128,7	-	-	17,2	-
- Roheisen	387,0	38,5	32,8	2,79	2,6	0,22
- Elektrostahl	22,2	7,1	7,13	2,50	1,04	0,36
NE-Metallindustrie	98,7	28,5	-	-	8,8	-
- Hüttenaluminium	47,4	3,9	0,742	0,061	0,91	0,075
Steine und Erden	184,3	116,9	-	-	11,53	-
- Zement	89,2	51,0	29,8	12,5	1,85	0,78
Chemische Industrie	464,6	288,3	-	-	79,5	-
- Chlor	41,4	9,8	3,44	0,59	1,2	0,21
- Soda	3,4	3,1	1,44	0,91	0,22	0,14
- Olefine	76,1	7,6	6,34	0,60	1,78	0,17
Zellstoff u. Papier	113,6	39,6	13,78	1,80	7,1	0,93
Übrige Grundstoffind.	79,5	49,9	-	-	23,2	-
Grundstoffindustrie	1.578,0	651,9	-	-	147,3	-
Investitionsgütergewerbe	304,1	170,8	-	-	311,2	-
Verbrauchsgütergewerbe	233,9	108,3	-	-	82,4	-
- Glas	53,9	19,7	5,0	0,83	6,3	1,05
Nahrungsmittelgewerbe	153,1	86,8	-	-	49,1	-
- Zucker	27,1	12,1	2,75	0,79	1,8	0,52
Industrie insgesamt	2.284,0	1.031,7	-	-	591,7	-
- pro Kopf in GJ/cap.	38	62	-	-	-	-

1) Einzelprodukte bewertet mit spezifischen Nettoproduktionswerten der westdeutschen Industrie

Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Stat. Bundesamt: verschiedene Statistiken, Jahrbuch der DDR, Verbandsstatistiken der Grundstoffindustrieweige, GEU, 1995; Schätzungen des FhG-ISI

Tab.1-1: Endenergieverbrauch und Produktion der west- und ostdeutschen Industrie in den Jahren 1989 bzw. 1988

- Hinzu kam eine intensive Nutzung der einheimischen Braunkohle, nachdem die Sowjetunion nach der zweiten Ölpreiskrise ab 1980 von den COMECON-Staaten wesentlich höhere Preise für Rohöl und Erdgas verlangt hatte. So lag der Stein- und Braunkohleeinsatz in der ostdeutschen Industrie Ende der 80er Jahre bei etwa 50 % (westdeutsche Industrie: 20 %).

Seit Ende der 80er Jahre verlief der Energieverbrauch der Industrie in Ost- und Westdeutschland sehr unterschiedlich: Während er in der Hochkonjunktur der alten Bundesländer bis 1992 kaum abnahm und dann bis 1993 um 8 % gegenüber 1989 zurückging, brach er infolge der Betriebsschließungen und der gravierenden Produktionsrücknahmen in der ostdeutschen Industrie bis 1993 um fast 70 % ein. Der **industrielle Energieverbrauch pro Einwohner**, der 1988 in der DDR noch bei 62 GJ/cap.a gelegen hatte, dürfte **1995 bei 19 GJ/cap.a in den neuen Bundesländern** und bei **32 GJ/cap.a in den alten Bundesländern** liegen. Viele dieser Produktionseinbrüche in der ostdeutschen Industrie sind nicht reversibel. Lediglich kleine und hocheffiziente Produktionsstandorte haben in der Grundstoffindustrie eine längerfristige Chance.

Entwicklung der energiebedarfsbestimmenden Größen für 2005 und 2020

Ausgehend vom jeweiligen Basisjahr mußte die Entwicklung der Nettoproduktion bzw. der physischen Produktionsmengen als energiebedarfsbestimmende Größen für die Jahre 2005 und 2020 geschätzt werden. Hierzu dienten zunächst Prognosewerte für die Bruttowertschöpfung von neun Industriesektoren (vgl. Abbildung 1-1), die vom makro-ökonomischen Modell (MIS) des IKARUS-Projektes geliefert wurden. Durch zusätzlich verfügbare Informationen über die Entwicklung einzelner Branchen und Produktionsbereiche wurden dann die Werte weiter heruntergebrochen und Fachleuten aus den jeweiligen Branchen zur Prüfung vorgelegt (vgl. Abbildung 1-2).

Grundsätzlich verbirgt sich hinter vielen Einzelannahmen die Fortschreibung des **intra- und inter-industriellen Strukturwandels** zu höheren Produktionsanteilen energieextensiver Sektoren, insbesondere der Investitions- und der Verbrauchsgüterindustrie, zu Lasten der energie-intensiven Produktionen, insbesondere im Bereich der Grundstoffindustrie (vgl. Tabelle 1-2). Dabei wird auch unterstellt, daß der Trend des Wechsels der deutschen Industrie vom Nettoexporteur energieintensiver Grundstoffe und Halbfertigerzeugnisse zum Nettoimporteur dieser Waren anhält:

IKARUS, Teilprojekt Industrie Produktionsdaten (Mengen und Werte)
5.10.1995

Branche (SYPRO)	Alte Bundesländer						Neue Bundesländer						Gesamtdeutschland		
	Produktion			Nettoproduktionswert (Preise von 1985)			Produktion			Nettoproduktionswert (Preise von 1985)			Nettoproduktionswert (Preise von 1985)		
	1000 t 1989	1000 t 2005	1000 t 2020	Mrd.DM 1989 1)	Mrd.DM 2005	Mrd.DM 2020	1000 t 1988	1000 t 2005	1000 t 2020	Mrd.DM 1988 1)	Mrd.DM 2005	Mrd.DM 2020	Mrd.DM 1989 1)	Mrd.DM 2005	Mrd.DM 2020
Übriger Bergbau (2130/41/50/71/80)				1,60	1,48	1,37				0,20	0,20	0,20		1,68	1,57
Eisenschaffende Industrie (27)				17,20	20,28	23,52					1,62	2,83		21,90	26,35
• Hochofen-, Stahl- u. Warmwalzw. (2711)				13,66	12,06	11,58				0,94	1,49	1,34	14,60	13,55	12,90
• Roheisen	32777	20000	13500	2,60	1,55	1,00	2786	1000	1000	0,22	0,08	0,08	2,82	1,63	1,08
• Rohstahl	41073	31000	28000	5,51	4,23	3,89	8133	4000	3500	1,09	0,54	0,50	6,60	4,78	4,26
• LD-Stahl (Oxygenstahl)	33943	21000	14000	4,48	2,77	1,85	2307	1000	1000	0,30	0,13	0,00	4,78	2,90	1,85
• Elektrostahl	7130	10000	14000	1,04	1,46	2,04	2501	3000	2500	0,36	0,41	0,50	1,40	1,90	2,54
• Walzstahl	31702	26300	25000	5,55	6,28	6,69	5439	3500	3100	0,95	0,75	0,84	6,50	7,25	7,60
NE-Metallindustrie (28; ohne 2950)				8,80	10,77	12,33					0,72	0,94		11,49	13,27
• Hüttenaluminium (2811)	742	400	200	0,91	0,49	0,25	61	0	0	0,75	0,00	0,00	0,98	0,49	0,25
• Sonst. NE-Metalle (2850, T.v.2813/16)				7,90	10,28	12,09				0,37	0,72	0,94	8,27	11,00	13,02
Steine-Erden-Industrie (25)				11,53	18,67	22,90					7,69	16,68		26,36	39,60
• Zement (22531)	29799	28000	25000	1,85	1,80	1,60	12510	8000	6000	0,78	0,50	0,40	2,63	2,30	2,00
Chemische Industrie				79,50	122,04	145,70					21,42	35,64		143,46	181,38
• Chem. Grundstoffe (4031)				44,08	60,51	69,00				1,32	4,28	6,00	45,40	64,79	75,00
• Chlor	3443	3100	2000	1,20	1,11	0,92	591	530	320	0,21	0,09	0,06	1,30	1,20	0,98
• Soda (4159 31)	1443,1	1000	850	0,22	0,15	0,13	914	900	800	0,14	0,14	0,12	0,36	0,29	0,25
• Olefine	6336	6500	6770	1,78	1,83	1,90	601	900	1450	0,17	0,25	0,41	1,95	2,08	2,31
Zellstoff-Papier-Industrie (55)	13779	20650	25790	7,10	12,87	15,96	1800	4600	6000	0,93	2,91	5,01	8,03	15,78	20,96
• Zellstoff	874	850	850	0,49	0,49	0,49	520	250	250	0,29	0,15	0,15	0,78	0,64	0,64
Übr. Grundstoff- u. Produktionsgewerbe				23,21	35,03	44,80					6,97	11,20		42,00	56,00
Investitionsgütergewerbe				311,21	490,00	655,00					77,76	138,00		567,75	793,00
Verbrauchsgütergewerbe				82,39	134,02	179,00					26,14	41,00		160,17	220,00
• Glas (52)	5000	6900	7600	6,30	9,65	11,00	828	1200	1200	1,04	1,68	1,80	7,34	11,33	12,80
Nahrungs- u. Genußmittelgew. (68, 69)				49,13	65,16	74,69					22,66	35,15		87,82	109,84
• Zucker (6821)	2746	3300	3300	1,80	2,15	2,15	791	900	900	0,52	0,59	0,59	2,32	2,73	2,73
Industrie insgesamt	-	-	-	591,67	910,32	1175,33	-	-	-		168,09	286,65		1078,41	1461,98

1) DDR vorläufige Werte, Einzelprodukte mit westdeutschen Nettoproduktionswerten angegeben

Tab. 1-2: Entwicklung der Produktion als energiebedarfsbestimmende Größe der einzelnen Industriezweige und Produkte, -West- und Ostdeutschland, 1989 bzw. 1988, 2005 und 2020

- Während die Industrie in den westdeutschen Ländern ihre Nettoproduktion um 52 % in der Zeit 1989 bis 2005 erhöht und um weitere 30 % in der Periode 2005 bis 2020, sind die Steigerungen der energieintensiven Grundstoffindustrie mit 45 % bzw. 25 % jeweils geringer.
- Verschiedene energieintensive Produktionen in der Grundstoffindustrie werden sogar als rückläufig angenommen, darunter Roheisen, Rohstahl, Hüttenaluminium, Zement, Chlor, Al₂O₃, Soda, Methanol und Ammoniak. Andere Produktionen stagnieren auf dem heutigen Niveau wie z.B. Walzstahl, Olefine und Zellstoff. Dies bedeutet, daß auch innerhalb der Branchen der Grundstoffindustrie ein erheblicher Strukturwandel zu besseren Qualitäten oder zu anderen wertschöpfungsintensiven Produktgruppen (z.B. Feinchemikalien, Pharmaka, Spezialstähle, Alufolien, Spezialpapiere und hochwertige Baustoffe) bzw. mehr Dienstleistungsgehalt der Wertschöpfung stattfindet.

MIS-Modell Wertschöpfung ABL in Mrd. DM	1988	2005	2020
	15,06	17,76	20,59

umgerechnet auf Nettoproduktion in Mrd. DM	1988	2005	2020
	17,20	20,3	23,50

Annahmen ¹⁾ für physische Produktion in Mio t von			
- Roheisen	32,70	20,00	13,50
- Rohstahl			
• LD Stahl	33,90	21,00	14,00
• Elektro-Stahl	7,13	10,00	14,00
- Walzstahl	31,70	26,30	25,00

Restbildung für sonstige Eisenschaffende Industrie in Mrd. DM	1988	2005	2020
	3,54	8,22	11,90

¹⁾ Annahmen nach Literaturstudien und Expertenbefragung zunächst in physischen Größen, dann Umrechnung auf Nettoproduktion

Quellen: Pfaffenberger u.a., 1995, Annahmen und Schätzungen des FhG-ISI

Abb. 1-2: Schema der Ableitung der energiebedarfsbestimmenden Größen für die Industrie im IKARUS-Projekt am Beispiel der Eisenschaffenden Industrie

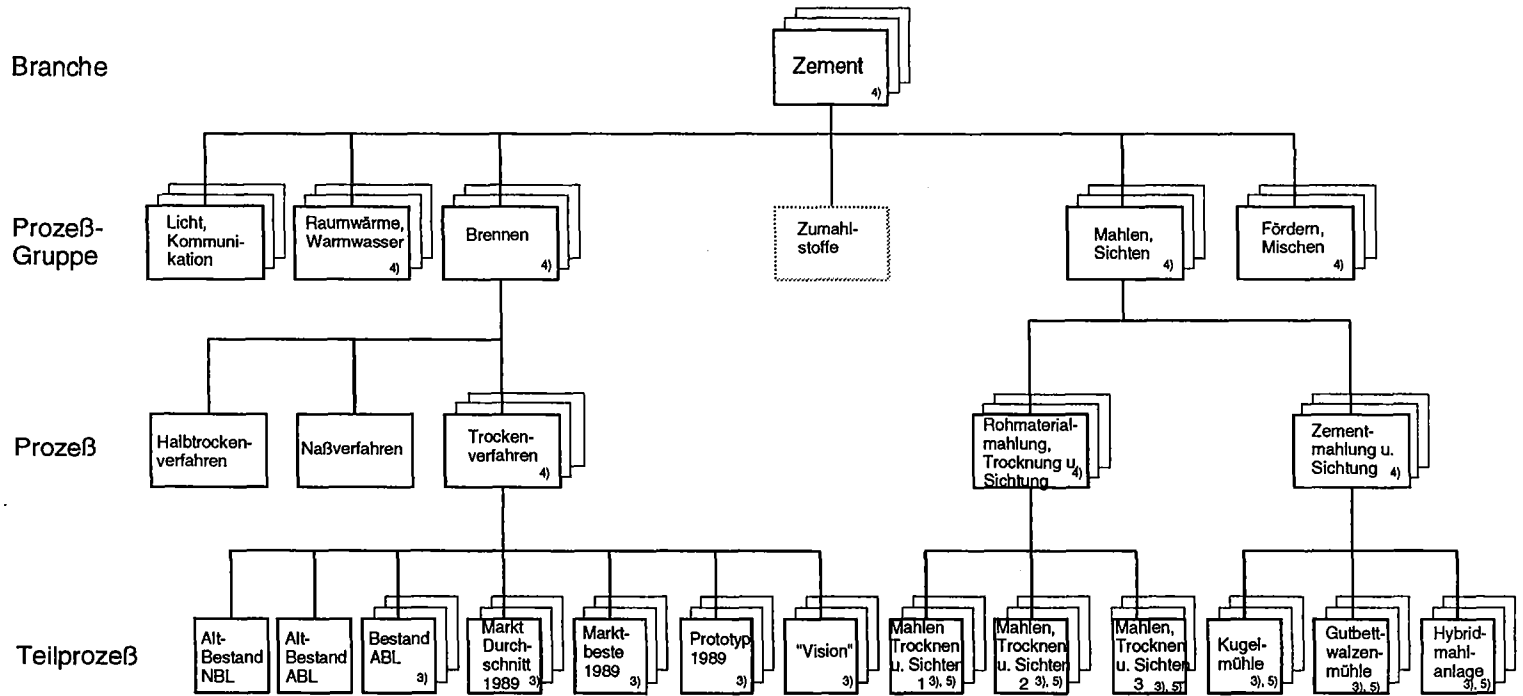
Gerade für die **neuen Bundesländer** bestehen noch **erhebliche Unsicherheiten**, wie sich einzelne Produktionszweige behaupten können und wie sich ihr Wachstumspotential auswirken könnte. Nicht zuletzt wegen dieser Unsicherheiten werden die Schätzwerte der energiebedarfsbestimmenden Größen in 1996 einer Revision unterzogen. Sie werden in der IKARUS-Datenbank - jeweils aktualisiert - verfügbar sein.

Methodik zur Abbildung des industriellen Energiebedarfs

In der IKARUS-Datenbank werden die Daten für einzelne Techniken und Branchen stark disaggregiert abgelegt. Die Aufteilung erfolgt dabei sowohl horizontal nach einzelnen Nutzenergien als auch vertikal in die technischen Details. Als **Nutzenergien** werden unterschieden:

- Umwandlungstechniken, d.h. Techniken, die einen Energieträger, z.B. Gas, in einen anderen Energieträger, z.B. Dampf oder Heißwasser, umwandeln. Dies sind Querschnittstechniken wie z.B. Heizkessel, Dampferzeuger, Kraft-Wärme-Kopplung.
- Raumwärme, Warmwasser: Hierbei wird der Nutzenergiebedarf ermittelt, der von einer Umwandlungstechnik, z.B. Heizkessel oder Fernwärme-Übergabestation bereitzustellen ist, soweit sie nicht durch Abwärmenutzung oder Sonneneinstrahlung gedeckt wird.
- Beleuchtung, EDV und Kommunikationstechnik.
- branchenspezifische Prozeßgruppen: Hier werden die eigentlichen produktions- und branchenspezifischen Energieverbräuche detailliert analysiert, wie z.B. das Brennen oder Mahlen von Zement.

Beispielsweise werden die technischen Daten für drei Brennverfahren der Zementherstellung oder für drei Mahlanlagen zum Zementmahlen in der Datenbank abgelegt (vgl. Abbildung 1-3). Die Teilprozesse sind teilweise nach dem Bestand, soweit er 2005 noch verfügbar oder bereits außer Betrieb genommen ist, noch einmal unterschieden. Außerdem werden die technischen Daten und Kostenangaben für die heute marktbesten Anlagen bzw. für die zusätzlichen Energieeffizienzverbesserungen oder -substitutionen erhoben und mit Hinweis ihrer Herkunft in der Datenbank abgelegt. Soweit die Teilprozesse oder Prozesse substitutiv eingesetzt werden können, müssen jeweils auch ihre Anteile an der Gesamtproduktion oder Anteilsbereiche festgelegt werden, soweit sie nicht vom Optimierungsmodell berechnet werden. Hiermit werden auch Grenzen der Marktdurchdringung einer neuen Technik aus zeitlichen oder technischen Beschränkungen abgebildet.



11

"Alt-Bestand" = Anlagen, die 2005 nicht mehr existieren
 "Bestand" = Anlagen, die 2005 noch betrieben werden

- 1) Drehofen, Kühle, Vorwärmer, Feuerung, Prozeßregelung
- 2) Mühle, Sichter, Motoren
- 3) ein Datenblatt je Energieträger
- 4) eine oder mehrere Varianten je Jahr-Raum-Kombination
(ABL 1989, NBL 1989, ABL 2005, NBL 2005, DE 2020)
- 5) Standard und Varianten mit energieeffizienteren Komponenten

Abb. 1.3: Beispiel der Disaggregation der Zementherstellung nach Nutz- und Prozeßenergiearten in der Datenbank des IKARUS-Projektes

Der Nutzer der IKARUS-Datenbank benötigt ein möglichst komfortables **Retrieval**, das ihm auch Daten verdichtet oder vergleicht oder für die eigene Datei Änderungen und Ergänzungen erlaubt. Dazu müssen die Daten der Industriedatenbank aufbereitet, überprüft und eventuell verdichtet werden. Darüber hinaus ist es möglich, die Daten aus der Datenbank mittels eines Nutzerprogramms in diejenige Struktur zu transformieren und zu verdichten, wie sie vom Optimierungsmodell verlangt wird.

Angesichts des erfahrungsgemäß großen Zeitaufwands für die Erstellung weitgehend ausgetesteter und benutzerfreundlicher Programme wurde zunächst ein Werkzeug für den internen Gebrauch erstellt. Dieses erlaubt die Aggregation und Verdichtung der technischen Daten zur Datenaufbereitung für das Optimierungsmodell und für das Retrieval. Durch die laufende Benutzung wird das Werkzeug getestet und verbessert sowie in 1996/97 zu einem Industrie-Simulationsmodell ausgebaut, das den Bedürfnissen externer Nutzer angepaßt ist.

Energieeinspar- und -substitutionspotentiale sowie Zusatzkosten

Für die energieintensiven Branchen wurde in vielen Fällen auf der Produktionsebene eine genaue technische Analyse zu den wesentlichen Energieeffizienz- und -substitutionspotentialen durchgeführt (vgl. Tabelle 1-3 als Beispiel für die Zementherstellung). Am Beispiel des Zementbrennens bzw. des Zementmahlens seien hier die Methodik und die benutzten Zahlen zur **Ermittlung der Energieeinsparpotentiale** erläutert: Für jede Einzeltechnologie und Einzelmaßnahme wird das spezielle Brennstoff- oder Stromeinsparpotential ausgewiesen, wenn der gesamte Anlagenbestand so ausgerüstet wäre. Meist waren diese Maßnahmen in 1989 nicht völlig neu, sondern wurden zwischen 5 und 50 % in Westdeutschland schon praktiziert. Infolge von Reinvestitionszyklen werden diese Einsparmöglichkeiten auch im Jahre 2005 nicht in jedem Brennofen oder in jeder Zementmühle realisiert sein. Allerdings kann die Energiepreis- und Umweltpolitik auf die Durchdringungsrate der Energieeinspartechniken einen Einfluß haben. Dementsprechend sinkt der spezifische Brennstoff- bzw. Strombedarf im Jahre 2005 nochmals um 10 % bzw. 13 %.

Wo derartige Einzelmaßnahmen wegen technischer Vielfalt nicht branchenübergreifend zu beschreiben waren, wurden anhand von Einzelfällen oder anhand von Vergangenheitstrends die Energieeinsparpotentiale geschätzt. Dabei mußte auf Besonderheiten der neuen Bundesländer eingegangen werden, weil der bestehende Anlagenpark und Kapitalstock meist noch sehr energieintensiv arbeitet, aber man wegen der Erneuerungsinvestitionen einen hohen technischen Stand bis 2005 erwarten kann. **Unsicherheiten** bestehen auch bei der Abschätzung

Energieeinsparotechniken beim Brennen (Trockenverfahren) von Zement					
Technologie	Einsparung Brennstoff [%]	Ofen 1989	Ofen 1 2005	Ofen 2 2005	Ofen 3 2005
		Durchdringungen in %			
Kurzer Drehrohfen/Tertiärluftleitungen	15	10	65	70	80
Verbesserte Prozeßoptimierung/-leitsysteme	10	25	90	100	100
Verminderung von Falschluff	2,5	25	65	100	100
Verbesserung am Klinkerkühler	5	10	50	70	90
Reduzierung der Wandwärmeverluste	5	10	30	60	90
Optimierung der Zyklonvorwärmer	5	10	65	75	90
Optimierung der Drehofenfeuerung	2,5	10	65	85	100
spezifischer Brennstoffbedarf in kJ/kg Zement	-	2531	2080	1950	1880
spezifische Energieeinsparkosten in DM/jato Zement	-	-	-	1,0	2,3

Energieeinsparotechniken beim Mahlen und Sichten von Zement					
Technologie	Einsparung Strom [%]	Antriebe 1989	Antriebe 1 2005	Antriebe 2 2005	Antriebe 3 2005
		Durchdringungen in %			
Verbesserungen an den Sichten	5	10	65	70	90
Vorzerkleinerung	5	5	50	70	90
Hochdruckzerkleinerung	25	5	50	80	100
Verbesserte Elektromotore/Transformatoren	2,5	0	80	90	100
Drehzahlregelung	5	50	80	90	100
spezifischer Strombedarf in kJ/kg Zement	-	369	315	295	275
spezifische Energieeinsparkosten in DM/jato Zement	-	-	-	0,3	0,8

Quelle: FhG-ISI

Tab. 1-3: Energieeinsparpotentiale und Durchdringungsraten nach Teilprozessen für die Zementherstellung zur Ermittlung eines Einsparpotentials zu einem bestimmten Zeitpunkt (Beispiel für das Jahr 2005)

des meist unbekanntem Strukturwandels zu höherwertigen Produkten und bei den Kostenschätzungen für zusätzliche Energieeffizienzinvestitionen relativ zur Referenzentwicklung. Da das Ausmaß der **gehemmten Energieeinsparpotentiale** in den vorliegenden Daten nicht explizit erfaßt ist, die Hemmnisse aber durch energiepolitische oder neue unternehmerische Maßnahmen (z. B. Contracting) reduziert werden, sind die **ausgewiesenen Energieeffizienzpotentiale als konservativ**, d.h. zu gering, anzusehen. Auch die ausgewiesenen zusätzlichen

Energieeinsparungskosten dürften eher zu hoch liegen, weil Energieeffizienz zunehmend durch prozeßinterne Verbesserungen an Bedeutung gewinnen wird.

Die Möglichkeiten, Brennstoffe, Wärme und Strom in der deutschen Industrie effizienter als bisher zu nutzen, sind von Branche zu Branche deutlich unterschiedlich. Insgesamt nimmt die Energieintensität, das Verhältnis von Endenergiebedarf zur Nettoproduktion, an der Referenzentwicklung des Optimierungsmodells für die westdeutsche Industrie bis 2005 um gut 30 % ab. Gegenüber einer Entwicklung mit gegenüber dem Jahr 1989 unveränderter Industriestruktur und unveränderter Energieeffizienz ("frozen efficiency") bedeutet dies ein Energieminderbedarf von 1060 PJ. Hiervon sind 590 PJ oder 55 % auf den Einfluß des industriellen Strukturwandels zurückzuführen; der Rest entfällt auf Energieeffizienzgewinne und Trends zu höherwertigen Produkten in diesem Szenario ohne besondere energiepolitische Eingriffe.

Zusätzlich zur Referenzentwicklung des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie sind Energieeinsparungen in Höhe von 6 bis 11 % bis 2005 (oder 165 bis 295 PJ) und von weiteren 195 bis 360 PJ oder 6,5 bis 12 % zwischen 2005 und 2020 denkbar (vgl. Tab. 1-4). Hierfür wären Mehrinvestitionen in Höhe von 24 bis 50 Mrd. DM bis 2005 und weitere 45 bis 100 Mrd. DM bis 2020 erforderlich (vgl. Abbildung 1-4).

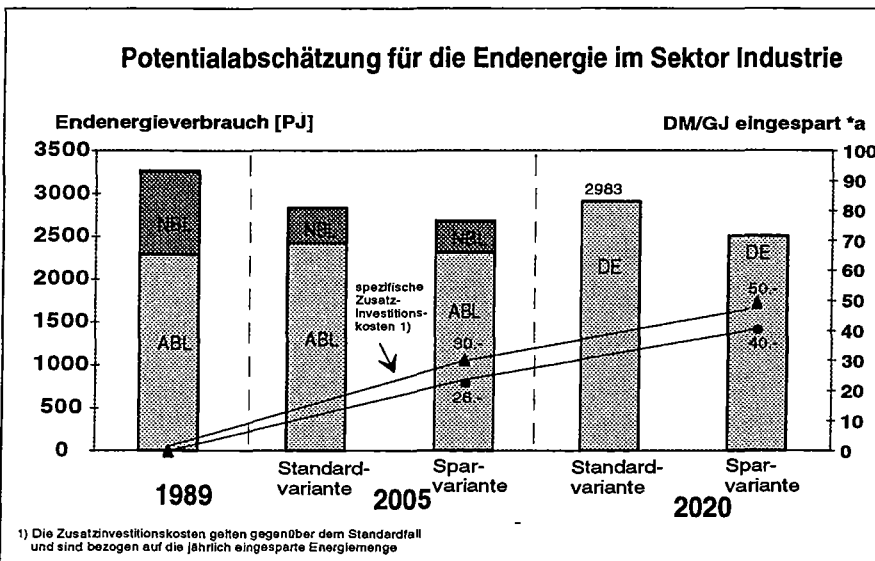
Unterstellt man - je nach Branche - eine durchschnittliche Nutzungsdauer (vgl. Tab. 3.2.1-1) und eine Verzinsung von 4 %, so bedeuten die Mehrinvestitionen Zusatzkosten von durchschnittlich 26 bis 30 DM je eingesparte GJ bis 2005 und 40 bis 50 DM je eingesparte GJ in der zweiten Betrachtungsperiode.

Die direkten **CO₂-Emissionen der Industrie** (ohne strombedingte CO₂-Emissionen) gehen in der Referenzentwicklung von rd. 238 Mio. t im Basisjahr 1989 um gut 25 % bis 2005 und dann verlangsamt bis 2020 auf rd. 150 Mio. t zurück. Der hohe Rückgang der CO₂-Emissionen in der ersten Periode ist im wesentlichen auf den Zusammenbruch der ostdeutschen Wirtschaft und die erhebliche Substitution der Braunkohle nach 1989 zurückzuführen. Der Rückgang betrug zwischen 1988 und 1994 etwa 65 Mio t CO₂, d. h. etwa zwei Drittel der Ausgangsemissionen im Jahre 1988. Zwar steigt der Strombedarf in der Referenzentwicklung noch um 6 bzw. um 19 % an, aber die spezifischen CO₂-Emissionen der öffentlichen Stromerzeugung werden höchstwahrscheinlich schneller rückläufig sein, so daß man davon ausgehen kann, daß selbst in einer Referenzentwicklung die insgesamt von der Industrie verursachten CO₂-Emissionen von 380 Mio. t in 1990 auf etwa 300 Mio. t in 2005 und deutlich darunter in 2020 sinken werden.

Branche	ABL+NBL 1989		ABL+NBL 2005	ABL+NBL 2005-Referenz		ABL+NBL 2005-Super-Spar	
	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
	Strom	Brennstoffe		Strom	Brennstoffe	Strom	Brennstoffe
	PJ	PJ	Mrd.DM NPW	PJ	PJ	PJ	PJ
Grundstoff-Ind	493,6	1706,2	256,0	426,8	1371,1	383,2	1250,6
Investitionsgüt.	153,9	297,4	568,0	216,5	214,7	192,9	180,3
Konsumgüter	92,1	247,0	160,0	132,8	208,6	118,6	176,8
NuG	40,7	193,9	86,0	51,9	147,1	46,3	126,5
SUMME	780,4	2444,5	1070,0	828,0	1941,5	740,9	1734,2

Branche	ABL+NBL 2020	ABL+NBL 2020-Referenz		ABL+NBL 2020-Super-Spar	
	Produktions- menge	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Strom	Brennstoffe	Strom	Brennstoffe
	Mrd.DM NPW	PJ	PJ	PJ	PJ
Grundstoff-Ind	337,0	452,7	1391,7	389,1	1238,6
Investitionsgüt.	793,0	261,4	256,0	240,9	210,5
Konsumgüter	220,0	158,2	256,0	144,8	216,8
NuG	110,0	57,4	149,2	51,3	132,4
SUMME	1460,0	929,7	2052,9	826,1	1798,3

Tab. 1-4: Erste Projektionsergebnisse des IKARUS-Instrumentariums für den Energiebedarf der deutschen Industrie, 2005 und 2020



Quelle: ISI

Abb. 1-4: Entwicklung des Endenergiebedarfs der west- und ostdeutschen Industrie und die spezifischen Zusatzkosten für verstärkte Energieeinsparung

Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse, dargestellt in der Referenzentwicklung, deuten darauf hin, daß der **inter- und intraindustrielle Strukturwandel** in den kommenden Jahrzehnten eine **erhebliche Rolle** bei der Verminderung der Energieintensität der deutschen Industrie spielen dürfte. Dabei sind die Unsicherheiten über die Entwicklung in der ostdeutschen Industrie nach wie vor sehr groß, aber auch für die westdeutsche Wirtschaft nicht zu unterschätzen (z. B. Hüttenaluminium, einige Grundchemikalien sowie ungeklärte Auswirkungen der zunehmenden Kreislaufwirtschaft und die Verflechtungen mit Osteuropa). Da die Arbeiten im IKARUS-Projekt auch in den kommenden Jahren fortgeführt werden, wird man manche Unsicherheiten bzgl. der energiebedarfsbestimmenden Größen und der strukturellen Entwicklungen weiter eingrenzen können.

In wenigen Jahren dürften die spezifischen Energieverbräuche häufig unterhalb der Werte der westdeutschen Industriezweige liegen, weil der Kapitalstock der ostdeutschen Industrie in der Regel jünger sein wird. Automation und nachsorgender Umweltschutz sind inzwischen soweit vorangeschritten, daß diese Technologieaspekte in Zukunft **kaum mehr zu einer Erhöhung des spezifischen Strombedarfs** beitragen werden. Im Gegenteil: nachsorgender Umweltschutz der 80er Jahre dürfte zunehmend durch emissionsarme Verfahren substituiert werden.

Derzeit scheinen Potentiale rationeller Energieanwendung auf zwei Gebieten in erheblichem Umfang unausgeschöpft zu sein:

- Alte und **abgeschriebene Anlagen** haben trotz höheren Energieverbrauchs häufig die gleichen Gesamtkosten wie Neuanlagen. Manche abgeschriebene Produktionsanlagen in der Grundstoffindustrie stehen zur **Reinvestition** in den nächsten Jahren an. Allen diesen Reinvestitionen gemeinsam ist ein Energieeinsparpotential zwischen 10 und 25 %.
- Aber auch bei den **Reinvestitionen** der **off-sites** stecken erhebliche Effizienzpotentiale, beispielsweise KWK-Anlagen statt Kesselanlagen und Strombezug, neue Druckluftherzeugungs- und -verteilungssysteme, neue Kälte- und Klimatisierungsanlagen, verbesserte Beleuchtung und elektronisch gesteuerte Elektromotoren mit ihren vielfältigen Aufgaben.

Für die am 10. März 1995 eingegangenen Selbstverpflichtungen von zehn Branchen der deutschen Industrie bietet das Teilprojekt Industrie eine ausgezeichnete Datengrundlage für genauere Analysen. Aber auch die Aktualisierung und Erweiterung der Industriedatenbank würde von derartigen Analysen und Überlegungen profitieren.

Immer wieder wird bei derartig langfristigen Vorausschätzungen der Energieeffizienz die Frage aufgeworfen, ob angesichts der Effizienzerfolge in der Vergangenheit sich die Potentiale nicht erschöpfen. Denn schon aus theoretischen Gründen können bestimmte spezifische Verbräuche nicht unterschritten werden. Bei genauer Analyse zeigt sich aber, daß in vielen Fällen der Abstand zum theoretischen Minimum noch mehr als 30 % beträgt, daß die Definitionen des theoretischen Minimums die Abwärmenutzung oder Prozeßsubstitutionen noch nicht miteinbeziehen, daß viele Prozesse durch neue energieeffiziente Prozesse substituiert werden und dadurch meist ein neues theoretisches Minimum erhalten. **Die Energieeffizienzpotentiale haben die gleiche Geschichte in den letzten 50 Jahren wie die statische Reichweite der Erdölreserven: Die Potentiale liegen stets bei etwa 20 bis 30 %** und die Reichweite der Erdölreserven bei 30 bis 40 Jahren, jeweils entsprechend dem Planungshorizont der Investitionsgüterhersteller bzw. der Erdölproduzenten.

Im IKARUS-Optimierungsmodell selbst dürften i.a. jene energiepolitischen Instrumente und Maßnahmen behandelt werden können, die **pretiale Lenkungsmaßnahmen, Investitionsanreize sowie Gebote und technische Standards** oder (alternativ) freiwillige Selbstverpflichtungen umfassen. Denn entweder werden durch die Veränderungen der Kapitalkosten die wirtschaftlichen CO₂-Minderungspotentiale verändert, oder die Verordnungen, Standards und Selbstverpflichtungen sind durch Veränderung der technischen Koeffizienten im Modell abbildbar.

Nicht modellendogen zu behandeln sind zweifellos eine Reihe von Maßnahmen, die sich einmal dadurch auszeichnen, daß sie nicht direkt am Entscheidungsprozeß des Energieverbrauchers ansetzen und zum anderen dadurch, daß ihre Wirksamkeit zum Teil nur wenig bekannt ist. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Maßnahmen zur **Verbesserung des Informations- und Kenntnisstandes** in den Betrieben (z. B. Beratung, berufliche Fortbildung), neue Instrumente der Versorgungsunternehmen wie z.B. **Least-Cost-Planning**, die **Pinch-Methode** in den Betrieben und das Wärmekonzept für genehmigungspflichtige Anlagen im Rahmen einer angedachten WärmenutzungsVO, neue Unternehmens- und Dienstleistungsformen wie das **Contracting**.

Bisher **nicht berücksichtigt ist der nicht-energetische Verbrauch**, der aber in einer getrennten Analyse in vergleichbarer Analysetiefe vom FhG-ISI betrachtet wird. Längerfristig wird auch dieser energiewirtschaftliche Sektor ein Bestandteil der IKARUS-Datenbank sein können.

Somit entsteht z.Zt. eine rechnergestützte Datenbasis von einer energie-, emissions- und kostenseitiger Aussagekraft, wie es sie zuvor in dieser Breite und Detaillierung für den Industriesektor noch nicht gegeben hat. Dies gibt zwar Anlaß zur Hoffnung, in Zukunft die eingangs gestellten Fragen präziser als in der Vergangenheit beantworten zu können. Aber letztlich basieren auch diese Ergebnisse auf "Wenn-Dann"-Aussagen, deren Vorteil in der Transparenz der Annahmen und Wirkungszusammenhänge liegt.

2 Aufgabenstellung des Teilprojektes Industrie

Ziel des Teilprojektes Industrie im IKARUS-Projekt war es, auf möglichst detaillierter Datenbasis zu Techniken, Prozessen und Branchen der Industrie den Energiebedarf, die daraus resultierenden klimarelevanten Emissionen und die entstehenden Kosten für zusätzliche Emissionsminderungen gegenüber einer "autonomen", d.h. sowieso stattfindenden technologischen Entwicklung zu ermitteln.

Die **technischen**, zu berücksichtigenden **Möglichkeiten** der Minderung energiebedingter Treibhausgase bis zu den Jahren 2005 und langfristig bis 2020 sollten sowohl in einer Datenbank erfaßt als auch in Modellen abgebildet werden:

- **Effizienzsteigerungen**, die sowohl durch technische als auch organisatorische Maßnahmen erreicht werden können (z.B. Luftzahlregelung an Öfen, Substitution von traditionellen Produktionsverfahren durch neue Verfahren wie z. B. Ersatz thermischer Trennverfahren durch Membranverfahren, eine verbesserte kontinuierliche Betriebsweise von Öfen durch eine vorausschauende zeitliche Produktionsplanung),
- **Substitution von Energieträgern**, hier insbesondere von Kohle und Heizöl durch Erdgas, im geringen Umfang auch durch Abfallstoffe auf natürlicher Basis (z. B. Rinden-, Schalen- und Holzabfälle), durch sonstige Abfallstoffe (z. B. Kunststoffabfälle, Autoreifen) sowie erneuerbare Energiequellen (z. B. Solar-Absorber zur Warmwasservorerwärmung),
- **verstärktes Recycling energieintensiver Produkte** (z.B. Papier- und Glasrecycling, stoffliche Rückführung von Kunststoffen, Stahl und NE-Metallen),
- **bessere Ausnutzung der Arbeitsfähigkeit** verschiedener Energieformen (z. B. durch verstärkte Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen oder von Wärmetransformatoren) sowie
- **technische Maßnahmen zur Senkung von Emissionen** (z. B. NO_x durch andere Brenner, Brennraumgestaltung oder Katalysator-technik, SO₂ durch Rauchgas- oder Brennstoffentschwefelung).

Ein Teil dieser technischen und organisatorischen Maßnahmen wird „autonom“ im Zuge der allgemeinen technischen Entwicklung, von Reinvestitionen und absehbaren politischen Rahmenbedingungen (z. B. WärmeschutzVO, Kreislaufwirtschaftsgesetz) stattfinden. Diese Entwicklung sollte zunächst als **Referenz-Szenario** in den Datensätzen der IKARUS-Datenbank beschrieben werden; weitergehende Effizienzverbesserungen sollten nur aufgrund weiterer energie- und umweltpolitischer Maßnahmen erfolgen. Für diese Politik- und Technologievarianten sollten die **zusätzlich erforderlichen Kosten** ermittelt werden können.

Außerdem war zu berücksichtigen, daß die durch angenommene Preisanstiege oder durch technischen Fortschritt möglich werdenden **Energieeinsparpotentiale** aufgrund vielfältiger **Hemmnisse** und Fakten (z. B. Reinvestitionszyklen, fehlendes Wissen oder Kapital in den Betrieben, hohe Erwartungen der Betriebe auf kurze Amortisationszeiten, ohne die Lebensdauer der Investitionsgüter zu berücksichtigen, Investor/Nutzer-Dilemma bei Miet- und Leasingverhältnissen) nur zum Teil ausgeschöpft werden können.

Nicht miteingeschlossen wurden Effekte auf der Werkstoffseite, z. B. Substitution energieintensiver Materialien durch andere mit geringerem spezifischen Energiebedarf (z. B. nachwachsende Rohstoffe und geschäumte Metalle), verbesserte Materialien und Konstruktionen oder Verlängerung der Produktlebensdauer. Diese Veränderungen könnten bis 2020 einen merklichen Einfluß auf den Energiebedarf der Grundstoffindustrie haben.

Neben den o. g. Möglichkeiten der Effizienzverbesserung und Substitution wird der Energiebedarf wesentlich auch von der Wirtschaftsentwicklung, also der Nachfrage nach Industrieprodukten, beeinflußt. Hierbei ist nicht nur die absolute Höhe des Produktionswachstums entscheidend, sondern auch der Strukturwandel innerhalb der Industrie und der intrasektorale Strukturwandel innerhalb einer betrachteten Branche (z. B. geringeres Wachstum energieintensiver Grundstoffsektoren, Rückgang der Hüttenaluminium-Produktion zugunsten von Sekundäraluminium und Aluminium-Importen). Deshalb war es Ziel der Untersuchung, neben den technischen Möglichkeiten zur Reduktion der CO₂-Emissionen der Industrie in West- und Ostdeutschland die **Entwicklung der industriellen Produktion bis 2005** und für das Stichjahr 2020 einschließlich der absehbaren **strukturellen Veränderungen in den energieintensiven Sektoren** der Industrie zu schätzen.

Die Arbeiten wurden von vornherein als so umfangreich eingeschätzt, daß mehrere Institute an der Datenerhebung arbeiten sollten:

- Da die Produktionsprozesse in der **Industrie** auf dem Gebiet **der ehemaligen DDR** viele Besonderheiten aufweisen und Anfang der 90er Jahre auf einem geringeren Effizienzniveau arbeiteten, mußte ihr Ist-Energieverbrauch (1988) sowie die mögliche Entwicklung bis 2005 **separat ausgewiesen** werden. Hierzu war die Gesellschaft für Energieanwendung und Umwelttechnik (GEU), Leipzig, in das Projekt miteingebunden, die auch Teile der Grundstoffindustrie und das Konsumgütergewerbe bearbeitete. Für das **Jahr 2020** wurde allerdings angenommen, daß **technologische Unterschiede in beiden Teilen Deutschlands in der Industrie nicht mehr von Bedeutung** sind. Lediglich die Schätzwerte für die Produktion einzelner energieintensiver Branchen sollten für das

Jahr 2020 getrennt für die ost- und westdeutsche Industrie in der Datenbank des IKARUS-Projektes ausgewiesen werden.

- Die Ermittlung des Ist-Zustandes (1989) und der Einsparpotentiale in den Bereichen **Investitionsgütergewerbe sowie im Nahrungs- und Genußmittelgewerbe** wurde von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München, durchgeführt.
- Bei der Ermittlung und Überprüfung der **Emissionsfaktoren** der Industrieprozesse und energiewandelnder Anlagen arbeitete das Öko-Institut, Darmstadt, mit.
- Das **FhG-ISI** bearbeitete die **Grundstoffindustrie** in ihren technischen Details, kooperierte als Federführer bei der Bildung, Kalibrierung und Überprüfung des **Industrieteils des Optimierungsmodells** mit Teilprojekt 1, Federführung der STE im Forschungszentrum Jülich, kooperierte bei der Konzeption des Industrieteils der **IKARUS-Datenbank** mit Teilprojekt 2, Federführung Fachinformationszentrum des Forschungszentrums Karlsruhe, und entwickelte ein spezielles **Industriemodell**, um die Daten für das Optimierungsmodell aus der Datenbank vom Nutzer zusammenstellen zu können.

Die Aufgabenstellung erwies sich in der Durchführung als zeitlich wesentlich umfangreicher, als ursprünglich gedacht. Dadurch kam es zu zeitlichen Verzögerungen, die durch Wechsel von kommerzieller Software für die Datenbank weiter verstärkt wurden.

Der erhebliche Aufwand zur Modellentwicklung und Datenbeschaffung ist erst dadurch gerechtfertigt, daß die Nutzung von Modellen und Datenbank auf lange Sicht angelegt ist. Daher war es auch wichtig, die **Zugänglichkeit seitens Dritter** zu Modellen und Datenbank von vornherein zu bedenken und das IKARUS-Instrumentarium so zu verstehen, daß es durch eine ständige Nutzung **prozeßhaft verbessert und an die Notwendigkeiten der Nutzer angepaßt und im Datenbestand aktualisiert** wird.

3 Methodisches Vorgehen und Datenaspekte

Während in der Vergangenheit bei Analysen zum Energiebedarf der Industrie meist vom spezifischen Endenergiebedarf einer Branche ausgegangen und mit erwarteten Produktionswerten (meist in monetären Werteinheiten) geschätzt wurde, sollte dieses Teilprojekt - soweit im Rahmen der Analyse möglich - auf das **Niveau des Nutzenergiebedarfs** zurückgehen, z. B. Warmwasser-, Dampf- und Kältebedarf. Bei den energieintensiven Branchen werden außerdem die wichtigsten **Prozesse einzeltechnologisch** in ihrer möglichen Entwicklung beschrieben (z. B. Zement-, Ziegel-, Kalk- oder Hochöfen). Diese einzeltechnologische Betrachtungsweise hat gegenüber den traditionellen, mehr statistisch orientierten Methoden den Vorteil, daß absehbare technologische Entwicklungen explizit und nachvollziehbar - einschließlich der damit verbundenen Kosten - berücksichtigt werden können.

Allerdings läßt sich dieses Konzept technologischer Detailtiefe nur für einen Teil der Industrie, insbesondere für die energieintensiven Prozesse der Grundstoffindustrie sowie den Raumwärmebedarf oder spezielle Stromnutzungen, wegen des großen Aufwandes für Datenrecherchen und -aufbereitung durchführen. Für jene Branchen der Investitions- und Konsumgüterindustrie, in denen der Strukturwandel zu weniger energieintensiven Produkten nicht direkt aus der technologischen Analyse abgeleitet werden kann, wurde dennoch mittels statistischer Analysen auf möglichst disaggregiertem Niveau und mittels Literaturlauswertungen versucht, den Trend zu höherwertigen Produktstrukturen (z. B. hochqualitative Werkstoffe, Maschinen, Pharmaka, Feinchemikalien und Mikroelektronikeinsatz) miteinzubeziehen. Hierbei wurden die Veröffentlichungen der Strukturberichterstattung und andere Brancheninformationen mitberücksichtigt.

Weiterhin wurde bei der Analyse ermittelt, welche **Kosten** zur Verminderung des spezifischen Endenergieeinsatzes erforderlich sind. Dieses Untersuchungsziel ist für den Industriesektor sehr ehrgeizig und macht eine Reihe von Annahmen und die Anwendung verschiedener Methoden erforderlich (vgl. Kapitel 3.2).

Die Vielfalt der technologischen Einzelheiten erfordert eine **Aggregation** der im Teilprojekt gesammelten Daten in **zwei Stufen** (vgl. Abbildung 3-1):

- einmal erfolgt eine Zusammenstellung der technischen Daten und Kostenangaben für Techniken und Branchen für die drei Untersuchungszeitpunkte in eine überschaubare und in sich selbst konsistente Datenstruktur für die **IKARUS-Datenbank**, die vom Fachinformationszentrum Karlsruhe im Teilprojekt 2 entwickelt wurde, ab 1996 von Dritten genutzt werden kann (vgl. Kapitel 3.1).

- Da aber die Anzahl der Techniken und deren Detailtiefe zu groß für eine Integration in das **IKARUS-Optimierungsmodell** wäre, wurden die Daten unter energietechnischen und -wirtschaftlichen Kriterien für Teilprojekt 1 mittels eines eigens entwickelten Modells weiter komprimiert (vgl. Kapitel 3.3).

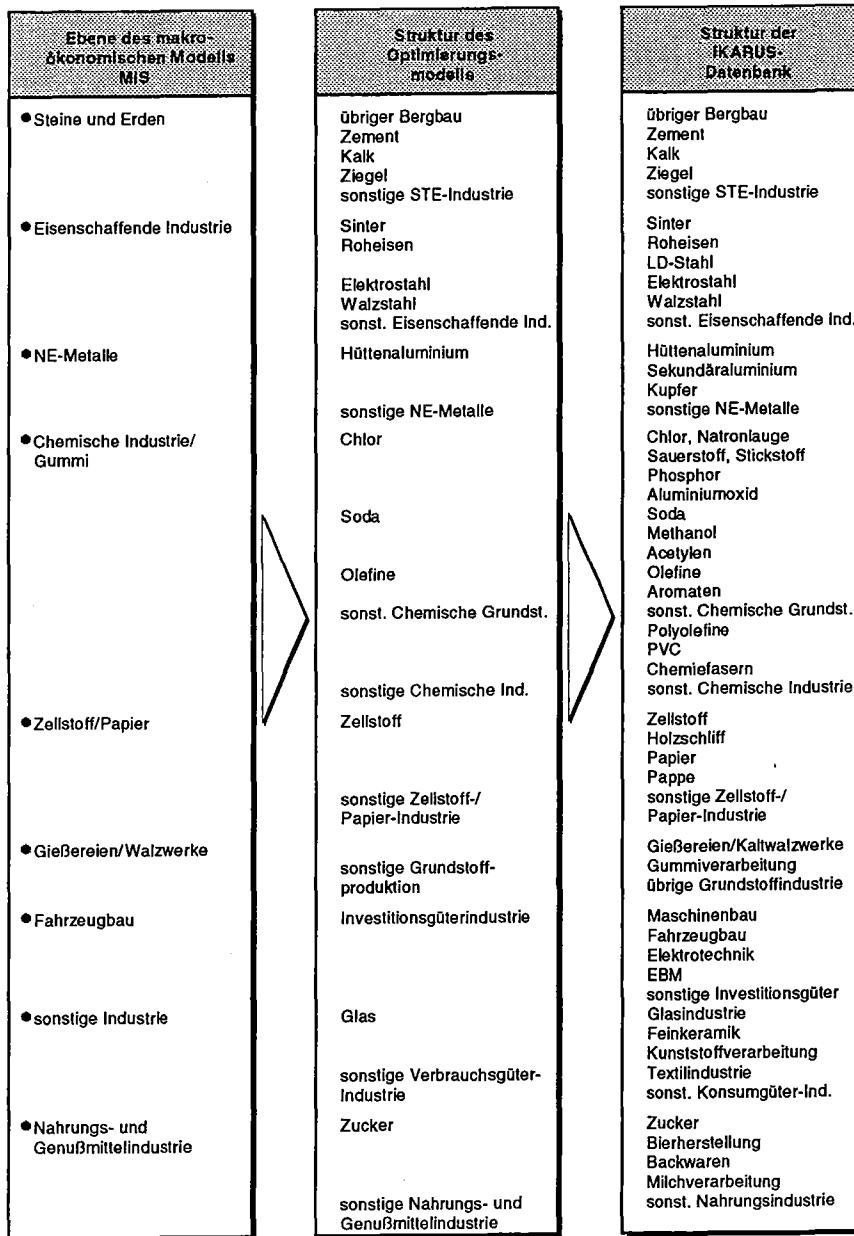


Abb. 3-1: Disaggregation der Industrie in den Modellen und der Datenbank von IKARUS

Schließlich mußten für die zwei Zukunftszeitpunkte aus den Produktionsdaten für neun Industriesektoren des makroökonomischen Modells disaggregierte einzelne Produktionszahlen für energieintensive Produkte **als energiebedarfsbestimmende Größen** abgeleitet werden (vgl. Kapitel 5). Dies erfolgte unter Einschluß von Überlegungen zum Recycling und zum Außenhandel energieintensiver Halbzeuge und Sekundärrohstoffe. Hierbei wurde auch versucht, den sich innerhalb der Branchen vollziehenden Produktstrukturwandel (**intra-industrieller Strukturwandel**) mitzubersichtigen, d. h. das unterschiedliche Produktionswachstum der - in der Regel unterschiedlich energieintensiven - Produkte und Produktgruppen innerhalb der betrachteten Branche oder Sparte.

Ebenso wurden energiebedarfssteigernde Einflußgrößen berücksichtigt, wie z. B. steigende Umweltschutz- oder Qualitätsanforderungen, deren Erfüllung mit zusätzlichem Energiebedarf verbunden sein kann, zunehmende Fertigungs- und Büroautomatisierung oder auch neue Energieanwendungen, insbesondere im Bereich der Stromnutzung.

Die wirtschaftlichen energiesparenden und -substituierenden Maßnahmen werden häufig wegen **bestehender Hemmnisse** nicht voll realisiert /Gruber/Brand, 1991; IEA, 1995/. Deshalb sind für einen Teil der mittelständischen Industrie empirische Erhebungen im ersten Halbjahr 1996 vorgesehen, um die Bedeutung der Hemmnisse genauer einschätzen zu können.

3.1 Disaggregation des Sektors Industrie

Entsprechend dem gewählten methodischen Vorgehen, den Energiebedarf soweit wie möglich über den Nutzenergiebedarf sowie die Produktion in physikalischen Einheiten zu bestimmen, wird die Industrie in möglichst viele Prozeßgruppen wie z. B. in der Glasindustrie in "Hohlglas-" und "Flachglasproduktion" untergliedert, wobei die Querschnittstechniken (z. B. "Wärmeerzeugung in Kesseln", "Beleuchtung") separat betrachtet werden. Die technisch inhomogenen Rest-Produktionen der einzelnen Branchen werden im höheraggregierten "Rest" zusammengefaßt (z. B. Restliche Glasproduktion). Für die Analyse des Ist-Zustandes und die Ermittlung der Energieeinsparpotentiale werden die Techniken in die weiteren Ebenen "Prozeß" und "Teilprozeß" unterteilt. Diese sowohl horizontal wie vertikal stark disaggregierten Daten können mit einem PC-gestützten "Werkzeug" entsprechend exogen vorgegebener Randbedingungen wie Produktionswachstum, Reinvestitionszyklen usw. für die Platzhalter des Optimierungsmodells verdichtet werden. Der folgende Abschnitt stellt die gewählte Dekomposition in der IKARUS-Datenbank dar und zeigt die Überlegungen zur Synthese der Einzeldaten aus der Datenbank für die Abbildung im Optimierungsmodell.

Disaggregation

Die beiden Teilziele von IKARUS - sowohl die Erstellung einer Datenbank als Informationsquelle auch für Detailinformationen als auch eines Optimierungsmodells zur Ermittlung von CO₂-Reduktionsstrategien - erfordern zwei verschiedene Disaggregationsgrade. Bei beiden war ein Kompromiß zu finden zwischen einer Konzentration auf das Wesentliche zur Reduzierung des Aufwands und Erreichung einer Übersichtlichkeit auf der einen Seite und einem möglichst großen Detaillierungsgrad zur besseren Nachvollziehbarkeit und Vermeidung von größeren Fehlern durch zu starke Vereinfachungen auf der anderen Seite.

Als Auswahlkriterien wurden berücksichtigt:

- der absolute Energieverbrauch als Indikator für die Problemrelevanz der betrachteten Technik oder Branche und
- der spezifische Energieverbrauch als Indikator für den Problemdruck je Produktionseinheit.

Darüber hinaus wurden Aspekte wie technische Homogenität, Größe der absehbaren Einsparpotentiale, Hochrechenbarkeit aufgrund vorliegender statistischer Unterlagen und Prognostizierbarkeit der Leitindikatoren berücksichtigt.

Entsprechend den oben genannten Kriterien ist die Industrie in 41 Einzeltechniken und 11 Restbranchen aufgeteilt, im Modell werden 14 Einzeltechniken und 11 Restbranchen abgebildet (vgl. Abbildung 3-1).

Datenstruktur und Datenhandling

In der Datenbank werden die Daten stark disaggregiert abgelegt. Die Aufteilung erfolgt dabei sowohl horizontal nach einzelnen Nutzungsarten als auch vertikal in die technischen Details (siehe Abbildung 3.1-1). Als Nutzungsarten werden unterschieden:

- **Umwandlungstechniken**, d. h. Techniken, die einen Energieträger, z. B. Gas, in einen anderen Energieträger, z. B. Dampf, umwandeln. Diese sind Querschnittstechniken wie z. B. Heizkessel, Dampferzeuger, Kraft-Wärme-Kopplung usw. Die technischen Daten der Querschnittstechniken werden vom Teilprojekt 8 ermittelt. Innerhalb des Teilprojekts 6 (Industrie) werden die für einzelne Verbrauchergruppen typischen Bestände, Auslastungsgrade, Betriebsweisen usw. ermittelt. Die mit diesen Informationen aus den Datenblättern von TP 8 ermittelten Energieverbräuche, Einsparmöglichkeiten und Kosten werden bei TP 6 in die Industrie-Datenblätter eingetragen.

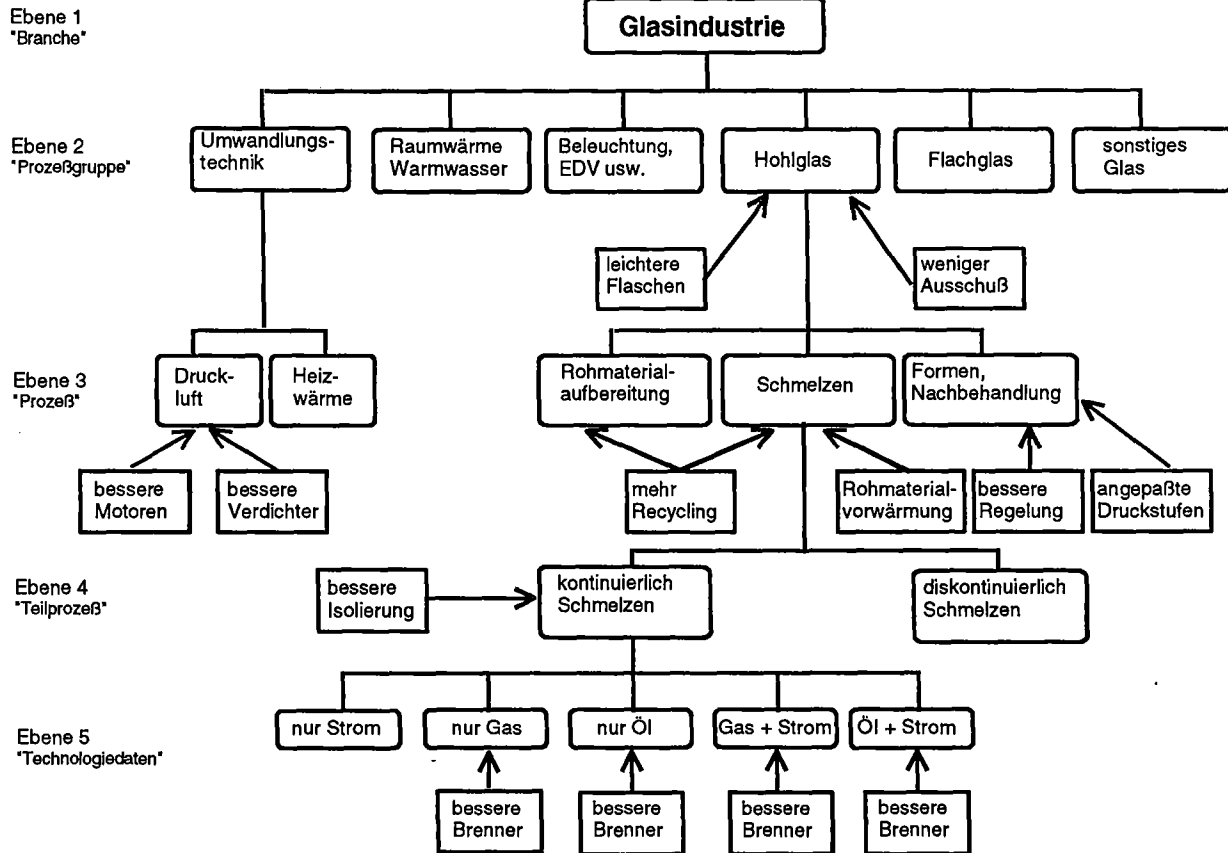


Abb.3.1.1: Struktur der Industriedaten am Beispiel der Glasindustrie

- Raumwärme, Warmwasser: Hierbei wird der **Nutzenergiebedarf** ermittelt, der von einer Umwandlungstechnik, z. B. Heizkessel oder Fernwärme-Übergabestation bereitzustellen ist, soweit sie nicht durch die Sonneneinstrahlung oder Geräteabwärme gedeckt wird. Einsparmöglichkeiten ergeben sich hier z. B. durch Wärmedämmung an der Fassade, kontrollierte Belüftung usw. Die Bestimmung der Techniken sowie ihrer Potentiale und Kosten erfolgt in enger Abstimmung mit dem Teilprojekt Kleinverbraucher.
- Beleuchtung, EDV usw.: hier gilt sinngemäß das oben Gesagte.
- branchenspezifische Prozeßgruppen: Hier werden die eigentlichen produktions- oder branchenspezifischen Energieverbräuche detailliert beschrieben.

Wird als Branche z. B. die "Glasproduktion" gewählt, sind in Ebene 2 ("Prozeßgruppe") "Hohlglas-", "Flachglas-" und "sonstige Glas-Produktion" aufgeführt. In der Ebene 3 ("Prozeß") erfolgt die weitere Untergliederung. Bei der "Hohlglasproduktion" wird hier in "Rohmaterialaufbereitung", "Schmelzen" und "Formen und Nachbehandlung" unterschieden. Die in Abb. 3.1-1 dargestellten Ebenen 4 und 5 sind zur Vereinfachung des Retrievals zusammengefaßt. Hier erfolgt die überwiegende Eingabe der Energie-, Kosten- und Emissionsangaben; von dieser untersten Ebene erfolgt die Datenaggregation zu den darüberliegenden Ebenen. Einspartechiken und alternative Verfahren können als Alternativen angekoppelt werden. So sind Verbesserungen am Brenner, eine bessere Isolierung von Ofen und Regenerator oder Rohmaterialvorwärmung als alternative Öfen ablegbar. Diese aus datenbanktechnischen Gründen notwendige Art der Handhabung von Einspartechiken hat zwar den Nachteil von möglicherweise redundanten Daten, hat auf der anderen Seite jedoch auch den Vorteil, daß Wechselwirkungen zwischen verschiedenen, gleichzeitig realisierbaren Einspartechiken besser dokumentiert werden können.

Maßnahmen wie die Produktion leichterer Flaschen oder eine Reduzierung des Ausschusses wirken sich auf alle Fertigungsschritte und sonstigen Maßnahmen aus, der verstärkte Einsatz von Fremdscherben (Glasrecycling) wirkt sich dagegen nur auf die "Rohmaterialaufbereitung" und das "Schmelzen" aus. Ebenso wirkt sich das im Vergleich zur gesamten Glasindustrie stärkere oder schwächere Wachstum z. B. der Hohlglasproduktion z. B. aufgrund von Verbraucherverhalten oder Umweltschutzauflagen (Einweg/Mehrweg, Glas-/Alu-/Kunststoff-/Karton-Verpackungen) auf den Energiebedarf der gesamten Branche aus. Zur Abbildung dieser Maßnahmen und Einflüsse sind die Gewichtungsfaktoren zwischen den einzelnen Ebenen zu ändern, mit denen z. B. die Energieverbräuche pro Tonne Glas aus den Verbräuchen pro Tonne Hohlglas, Flachglas und sonstigem Glas ermittelt werden.

Die Verwendung der Gewichtungsfaktoren sind ein wichtiger Schlüssel zur Aggregation der einzelnen Prozessschritte und Prozessalternativen zum Branchenwert: Bezogen auf eine einzelne Komponente bestehen zwar entweder/oder-Entscheidungen, bezogen auf ein Aggregat aus mehreren Komponenten und erst recht für noch größere Systeme wie eine ganze Branche existieren in starkem Maße sowohl/als auch-Entscheidungen, die im Zeitablauf zusätzlich variabel sind. So kann sich die Marktdurchdringung einer neuen Technik von 0 % bis 100 % und dann wieder auf 0 % im Laufe des Produkt-Lebenszyklus ändern.

Grund für die gewählte Disaggregation in Verbindung mit den Aggregationstools ist die Möglichkeit, einzelne Techniken bzw. Systeme auszutauschen, ihre Auswirkungen auf den Energieverbrauch der Branche nachvollziehbar zu machen und gleichzeitig eine Redundanz in den Daten zu vermeiden. Entsprechend werden in den einzelnen Ebenen nur die Daten abgelegt, die für alle darunterliegenden Ebenen zutreffen und von Änderungen in diesen nicht betroffen werden. So werden in der Ebene 1 neben den Ergebnissen der Datenverdichtung aus den unteren Ebenen im wesentlichen wirtschaftliche Daten, Spannungsebenen des Strombezugs und einige Kenngrößen zur Charakterisierung der Branche, wie z. B. der Energiekostenanteil oder spezifische Energieverbräuche, angegeben. In den Datenstrukturen der Ebene 2 und 3 werden neben den Ergebnissen der unteren Ebenen überwiegend differenzierte Wirtschaftsdaten, Betriebszeiten usw. aufgelistet. Die "echten" Technikdaten wie Temperaturen, Leistungen, Wirkungsgrade, Investitionskosten, Lebensdauer und vor allem Emissionen sind primär in der Ebene 4 abgelegt.

Da die Datenstruktur in einer frühen Projektphase festgelegt wurde, ist sie bewußt flexibel gehalten. So lassen sich aus Gründen der Datenverfügbarkeit nicht weiter disaggregierte Prozeßgruppen, Prozesse oder Teilprozesse später weiter aufteilen, z. B. Trockner in Ziegeleien in Kammer- und Tunneltrockner.

3.2 Vorgehen und Probleme bei der Erhebung/Schätzung der Kosten

Das Vorgehen im IKARUS-Projekt erfordert die Behandlung der Kosten zur Verminderung des spezifischen Endenergieeinsatzes in den einzelnen Prozessen und Branchen. Diese Aufgabe war (und ist) selbst bei der sehr einfachen Behandlung **einzelner Prozesse und Energiewandler** nicht einfach, weil es sich in vielen Fällen nicht nur um eine isolierte Investition zur rationellen Energienutzung als "add on-Investition" wie z. B. einen Wärmetauscher handelt und weil auch die Preise der Anlagen- und Maschinenhersteller aufgrund von betrieblichen Besonderheiten oder von Preispolitiken erheblich ($\pm 20\%$) schwanken können. Grundsätzlich sind in der Bestimmung der Investitions- und Betriebskosten folgende idealtypische Fälle zu unterscheiden (vgl. auch /Johnson, 1994/):

- (1) **Monofunktionale Energieeffizienz-Investitionen:** Für einzelne mehr oder minder energieeffiziente Energiewandler (z. B. Dampf- oder Heißwassererzeuger, Beleuchtung oder Wärmerückgewinnung) werden die gesamten Investitionskosten bzw. ihre laufenden Betriebskosten ermittelt. Diese können dann in den Modellrechnungen problemlos weiterverwendet werden, ähnlich wie bei den Techniken im Umwandlungssektor.
- (2) **Multifunktionale Investitionen:** Bei Verbesserungsinvestitionen oder Reinvestitionen von Industrieprozessen (z. B. Dünnbandgießen statt Walzen von Stahl) erfolgt der Kapitalrückfluß i.a. aufgrund **mehrerer Effekte** (z. B. durch Rationalisierung von Arbeits- und Kapitaleinsatz, Qualitätsverbesserungen oder Ausschußminderung, Verminderung von Emissionen, Arbeitsplatzverbesserungen) und nicht allein aufgrund rationeller Energienutzung. Die nicht-energieeffizienzbezogenen Anteile der Kostenreduktionen sind häufig sogar dominant, so daß die Investition bei "fast jedem Energiepreis" sowieso vorgenommen wird. Man spricht auch vom "autonomen" energiesparenden technischen Fortschritt (auch wenn die eingesparten Energiekosten zur Rentabilität der Investition beitragen).

Aus dieser Sachlage heraus ist es verständlich, daß der Bundesverband der Deutschen Industrie /BDI, 1993/ die Bedeutung allgemeiner günstiger Rahmenbedingungen für Re- und Erweiterungsinvestitionen der Unternehmen hervorhebt und den energiepreisbedingten Investitionen rationeller Energienutzung bei Energiepreisssteigerungen nur eine relativ geringe Bedeutung beimißt /Böke, 1990/. Dieser Einschätzung muß allerdings entgegengehalten werden, daß gerade in den energieintensiven Industriezweigen monofunktionale, d.h. energiepreisabhängige Energieeffizienz-Investitionen sehr häufig sind (z. B. Wärmetauscher, Energiebedarfsregelung durch Leittechnik), und auch bei den hohen Energiekostenanteilen (zwischen 10 bis 20 %) in den Branchen der Grundstoffindustrie die Energiekostenentlastungen multifunktionaler Investitionen einen erheblichen Einfluß auf die Gesamtrentabilität von Prozeßsubstitutionen haben können.

Aus vielen Gründen des beschränkten Datenzugangs (bestehende Kapazitäten und Altersstruktur, Betriebskosten der laufenden Produktionsanlagen) ist es häufig nicht möglich oder wesentlich zu aufwendig, für die unzähligen Prozesse und Maschinen der Industrie prozeßbezogene Gesamtkostenvergleiche zu machen. Deshalb blieb in der Praxis dieses Projektes meist nur die Methode des **Vergleichs des spezifischen Energiebedarfs zweier Optionen multifunktionaler Investitionen, um dann die Methode der "anlegbaren Investitionskosten"** anzuwenden (vgl. Kapitel 3.2.1).

- (3) **Unspezifizierbare diskrete Energieeinsparinvestitionen ganzer Branchen:** Für die technologisch sehr inhomogenen Bereiche in der Investitionsgüter-, Verbrauchsgüter- und Nahrungsmittelindustrie ist es häufig wegen des extrem hohen Erhebungsaufwandes un-

möglich, für ungezählte Prozeßschritte und Produktionsverfahren ihre jeweils möglichen energietechnischen Verbesserungen einschließlich der jeweils damit verbundenen Investitions- und Betriebskosten zu erheben und zu den erforderlichen Aggregationsniveaus eines Industriezweiges zu verdichten. Auch in diesen Fällen ist es nur möglich, anhand der Methode der "anlegbaren Investitionskosten" die zusätzlichen Kosten der Energieeffizienzverbesserungen gegenüber einer technischen Referenzentwicklung zu schätzen.

3.2.1 *Methode der anlegbaren Investitionskosten*

Diese Methode versucht, für jene Branchen oder Technologiebereiche für zusätzliche Energieeinsparinvestitionen (zusätzlich zu den sowieso stattfindenden Reinvestitionen) die Kosten zu schätzen, wo es sich **nicht** um monofunktionale und diskrete Energieeffizienz-Investitionen (wie z. B. Kesselanlagen, Blockheizkraftwerke, Heizkraftwerke) handelt. Hierbei wird zunächst für eine gegebene Periode (z. B. zwischen 1989 und 2005) ein gegenüber der Referenzentwicklung zusätzlich für realisierbar gehaltenes Energieeinsparpotential geschätzt. Dieses orientiert sich an heute verfügbaren Informationen zu den technischen Verbesserungsmöglichkeiten und zu den heutigen und möglichen Durchdringungsraten der effizienteren Techniken (vgl. Kapitel 3.1). In diese Schätzungen fließen auch Informationen über die Verteilung der spezifischen Energieverbräuche in einer Branche, die durchschnittliche Zahl der Beschäftigten und der Energiekostenanteil am Bruttoproduktionswert einer Branche ein, die als Indikatoren für die gehemmten Energieeinsparpotentiale gewählt wurden.

Diese zusätzlichen Energieeinsparpotentiale ΔE_k einer Branche oder Technologie k sind als wirtschaftliche Einsparpotentiale definiert, so daß sie sich unter branchen- oder technologie-spezifischen Refinanzierungszeiten n_k mit branchenspezifischen Energiepreisen P_k als rentabel erweisen müssen. Die hier verwendeten branchenspezifischen Energiepreise orientieren sich an den statistischen Zahlen des Jahres 1989 zuzüglich einer moderaten Preissteigerung, die in den allgemeinen Rahmenannahmen des IKARUS-Projektes zu den Brennstoffen gemacht wurden bzw. die für den Strom in den ersten Referenzläufen ermittelt wurden. Soweit bei den einzelnen Branchen und Effizienzinvestitionen zusätzliche Betriebsmittelkosten ΔB_k (z. B. für Tenside, Abwasserbehandlung) oder für zusätzliche Personalkosten ΔL_k in merklichem Umfang benötigt würden, müssen sie bei der Ermittlung der maximalen Investitionssumme I , die als "**anlegbare Investitionskosten**" definiert ist, mitberücksichtigt werden:

$$I_k = (\Delta E_k \cdot P_k - \Delta B_k - \Delta L_k) \cdot n_k$$

In der Regel werden ΔB_k und ΔL_k sehr klein sein, so daß sie häufig Null gesetzt werden können angesichts der Tatsache, daß die Unsicherheitsmargen der geschätzten Energieeinsparpo-

tentiale und Energiepreise mit jeweils vielleicht $\pm 20\%$ erheblich sind. Die üblichen Refinanzierungszeiten für die Branchen und Technologien orientieren sich an den Abschreibungszeiten (vgl. Tabelle 3.2.1-1). In begründeten Fällen wird allerdings davon abgewichen.

Branche, Technologie	Abschreibungszeit n_k in Jahren	Bemerkungen
Hüttenaluminium	10	Öfen
Restliche NE-Metallindustrie	8	Öfen, Walzwerke Zieherei
Zementherstellung	10	Ofen und Zementmühle
Kalkherstellung	10	Kalkofen
Ziegelherstellung	7	Trockner und Ofen
Restliche Steine- und Erdenindustrie	6	Naturstein, Kalksandstein, Fertigbeton, Maschinen
Chlor (Natronlauge)	10	Diaphragma-Verfahren
Sodaherstellung	10	Solvay-Verfahren
Olefinherstellung	9	Öfen und Trennkolonnen
Restliche Chemische Grundstoffe	8	Großanlagen
Restliche Chemische Industrie	5	Maschinen, Anlagen
Übriger Bergbau	10	Maschinen, Anlagen
Roheisenerzeugung	12	Hochofen, Winderhitzer
Elektrostahlöfen	7	Elektroofen
Walzstahlerzeugung	7	Walzgerüste, Öfen
Sinteranlagen	10	Ofen
Restliche Eisenschaffende Industrie	7	Schmiedewerke
Zellstoffherstellung	7	Kocher, Apparate
Restliche Papier- und Pappherzeugung	7	Papiermaschine, Schleifer
Investitionsgüterindustrie	5	Produktionsmaschinen
Glaserzeugung	5	Glaswannenofen
Restliche Konsumgüterindustrie	4	Maschinen, Apparate
Zuckerherstellung	8	Eindickeranlagen
Restliche NuG-Industrie	4	Maschinen, Apparate

Quelle: FhG-ISI

Tab. 3.2.1-1: Verwendete Abschreibungszeiten im Rahmen der Berechnungen der anlegbaren Investitionskosten für zusätzliche Energieeffizienzinvestitionen (Beispiele aus dem Optimierungsmodell)

3.2.2 Grenzen der verwendeten Kosten- und Potentialangaben

Die drei o. g. idealtypischen Fälle werden somit in ihrem Datenbedarf auf zwei verschiedene Weisen behandelt. Bei der Methode des **direkten Investitions- und Betriebskostenvergleichs** für mono- oder multifunktionale Investitionen möchte man vermuten, daß die Daten aufgrund der direkten Erhebung bei Herstellern nur in sehr engen Margen schwanken können. Es stellt sich aber in der Praxis heraus, daß die Anbieterpreise zum Teil erheblich schwanken und die Abgrenzung zu Fragen der Gebäude- oder Kesselhauserstellung und der erforderlichen Offsites (z. B. Sauerstoffherstellung, Drucklufterzeugung, Lagerhaltung) so schwierig oder zeitaufwendig sind, daß dieser Weg manchmal nicht oder nur mit Abstrichen an die Genauigkeit beschritten werden konnte.

Ohne Zweifel ist die in Kap. 3.2.1 beschriebene Vorgehensweise der anlegbaren Investitionskosten eine relativ grobe Schätzmethode, deren Ergebnisse nur mit folgenden Einschränkungen in **Rechenmodellen genutzt und interpretiert werden dürfen**:

- Bei den monofunktionalen und den diskreten multifunktionalen Investitionen (vgl. oben Punkt (1) und (2)) werden bei Anwendung des direkten Investitionskostenvergleichs keine Innovations- und Diffusionshemmnisse unterstellt. Dagegen basieren die Schätzungen zu den Energieeinsparpotentials in vielen Industriebranchen nicht auf der Addition einzelner Techniken, sondern auf der Einschätzung von Fachleuten, die im wesentlichen ihre Kenntnisse und Erfahrungswissen zur Frage des realisierbaren Potentials der unspezifizierbaren diskreten Einsparinvestitionen unter **nicht wesentlich veränderten betrieblichen Bedingungen (und den damit gegebenen Hemmnissen)** einbringen. Die in den meisten Studien gemachten Angaben unterstellen somit, daß in den Branchen, in denen Hemmnisse rationeller Energienutzung bedeutend sind (**z.B. in den meisten Branchen der Investitionsgüter-, Konsumgüter- und Nahrungsmittelindustrie**) und in denen Energieeinsparinvestitionen nicht diskret spezifiziert werden können (vgl. (3)), **kein Hemmnisabbau stattfindet. Somit sind die wirtschaftlichen Potentiale rationeller Energienutzung in diesen Branchen bei gegebenen Energiepreisen höher, als in der Literatur und in der IKARUS-Datenbank ausgewiesen** (vgl. ① in Abbildung 3.2.2-1). Allerdings liegen zu wenig empirische Ergebnisse vor, hier einen branchenspezifischen Hemmnisfaktor schätzen und damit Angaben zu den ungehemmten wirtschaftlichen Potentials machen zu können. Grobe Hinweise findet man zwar in der Literatur /Gruber/Brand, 1991; Jaffe/Stavins, 1994; Sanstadt/Howarth, 1994/; aber weitere empirische Daten sind erforderlich, um hier zu fundierten Schätzungen kommen zu können.

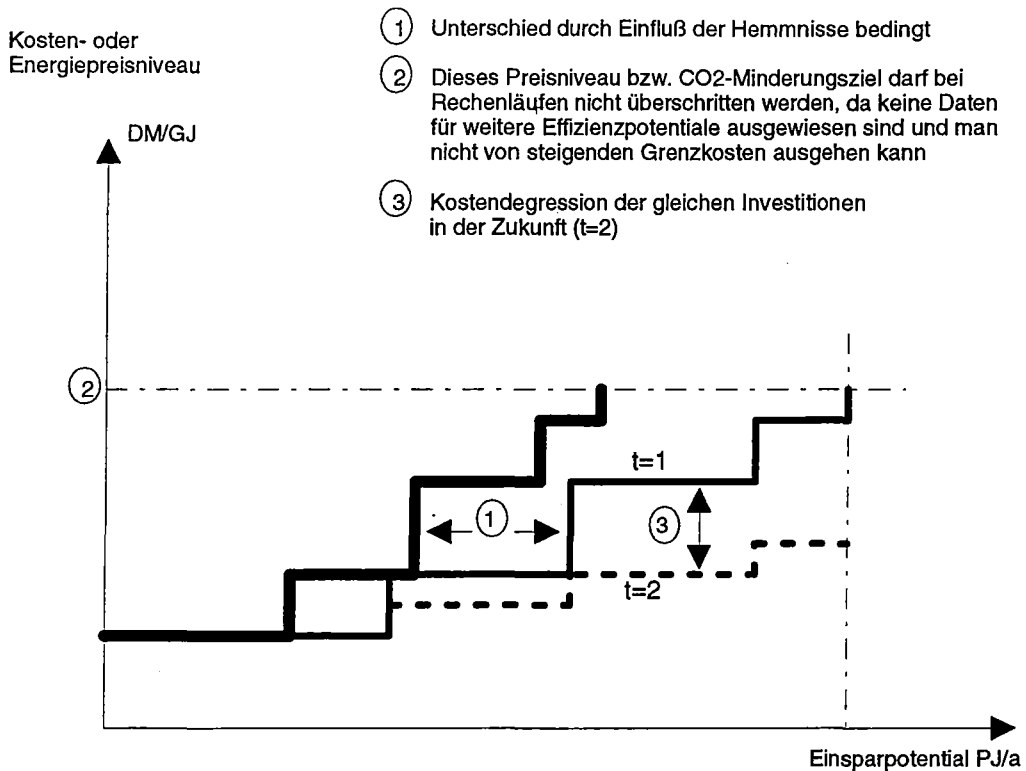


Abb. 3.2.2-1: Schema der Grenzen der Aussagefähigkeit von Kosten-Einsparpotentialkurven im Industrie- und Gewerbesektor

- Erhebliche Energiepreissteigerungen führen mittelfristig über die Anpassungsprozesse bei den Endverbrauchern und der industriellen Zwischennachfrage zu Materialeinsparungen und -Substitutionen, zu organisatorischen Maßnahmen in den Betrieben und verstärktem Outsourcing von energieintensiven Hilfsproduktionen (wie z. B. Kälte- und Drucklufterzeugung). Diese **Anpassungsreaktionen** führen zu Veränderungen von Nettoproduktion und Energiebedarf und sind bei den Schätzungen der vorliegenden Energiebedarfswerte durch die Fachleute **nur für einen engen Energiepreiskorridor angegeben** worden ; sie sind ohne vertiefte Analysen auch schwerlich für erhebliche Energiepreissteigerungen zu schätzen, weil die empirische Basis für diese Arbeiten fehlt. Wenn deshalb beispielsweise Optimierungsrechnungen bei den CO₂-Reduktionsläufen auf Einspartechnologien im Industriebereich mit der höchsten Sparstufe zurückgreifen, dann sind die Grenzen der Aussagefähigkeit des Industrie-Modellteils schon fast überschritten. Denn hebt man die Emissionsrestriktionen weiter an, so wird **eine Inflexibilität des industriellen Sektors im**

Modell infolge fehlender weiterer technischer Energieeffizienzmaßnahmen vorgetäuscht, die es so in der Realität nicht gibt. Dieses trifft insbesondere für Prozeßsubstitutionen (z. B. natürliche Trocknung statt thermischer Trocknung, Membran- oder Extraktionsverfahren statt thermischer Trennverfahren, biotechnologische Verfahren statt chemischer Reaktionsverfahren) sowie für eine erhöhte Kreislaufschließung energieintensiver Werkstoffe zu, die ab einem bestimmten Energiepreisniveau erhebliche Energieeinsparpotentiale eröffnen können. Aus diesem Grund ist auch der häufig aus wirtschaftstheoretischen Überlegungen angenommene stetige Anstieg der Kosten-Potentialkurven nicht haltbar (vgl. ② in Abbildung 3.2.2-1). Vielmehr muß man davon ausgehen, daß die **Kosten-Potentialkurven ausgeprägte Plateaus bei bestimmten Energiepreisniveaus** aufweisen.

- Für die drei Investitionstypen (vgl. Kapitel 3.2) bzw. zwei Berechnungsmethoden wurde bei der bisherigen Datenerhebung nicht unterstellt, daß die Investitionskosten infolge von Lerneffekten und Prozeßsubstitutionen in Zukunft sinken könnten, die Standzeiten infolge besserer Material- und Oberflächeneigenschaften sich verlängern oder die Betriebskosten (z. B. im nachsorgenden Umweltschutzbereich) gesenkt werden könnten. Aus einzelnen technischen Untersuchungen im In- und Ausland ist aber bekannt, daß derartige **Kostendegressionseffekte aufgrund technischer Fortschritte in Zukunft häufiger zu erwarten** sind /Turkenberg u.a., 1994/. Dies gilt insbesondere für Prozeßsubstitutionen und die moderne Prozeßsteuerung (mittels Prozeßsimulation). Diese Kostendegressionen wurden bei der Datenerhebung i. a. nicht berücksichtigt, weil die empirische und methodische Basis zur Vorausschätzung derartiger Degressionseffekte nicht ausreichten (vgl. ③ in Abbildung 3.2.2-1). Für erste Branchen wird dies erstmals im IKARUS-Projekt versucht, diese Ergebnisse werden ab Ende 1996 verfügbar sein.

Zwei der drei genannten Punkte (unberücksichtigte Hemmnisse bei der Methode der anlegbaren Investitionskosten und unberücksichtigte Kostendegression der Investitionen in Zukunft) führen zu überhöhten Kostenangaben bzw. zu geringen Potentialangaben in der IKARUS-Datenbank und anderen Autoren in der Literatur, die auf diesen Tatbestand meist nicht einmal hinweisen (z. B. /IBFG, 1994/) (vgl. Abbildung 3.2.2-1).

Der dritte Aspekt grenzt zudem den Untersuchungsraum grundsätzlich kostenseitig ein. Es ist nicht auszuschließen (und anhand vieler Beispiele zu belegen), daß die **aggregierte Kosten-Energieeinsparkurve einer Branche nicht den theoretisch abgeleiteten Verlauf steigender Grenzkosten hat**, sondern in der Praxis in Stufen mit konstanten Kostenniveaus und erheblichen zusätzlichen Energieeinsparpotentialen verläuft. Ein prägnantes Beispiel ist hier die

z. Zt. laufende Substitution kompletter Warmwalzstraßen für Walzstahl durch das Dünnbandgießen.

Diese **Mängel einer Überschätzung der Kosten und einer Unterschätzung der Energieeffizienzpotentiale infolge bestehender Hemmnisse in der Industrie und infolge zukünftiger technischer Fortschritte** sind untrennbar mit dem bottom-up Untersuchungsansatz verbunden. Der Analytiker könnte diesen Mangel durch spekulative Annahmen zwar überwinden, aber mangelnde empirische Evidenz und Anforderungen der Nachvollziehbarkeit hindern ihn an derartigen Setzungen. **Wenn diese Mängel und Einschränkungen bei den Modell- und Kostenrechnungen nicht beachtet werden, wird man schnell zu falschen Schlußfolgerungen kommen, d.h. auf relativ teure Energiewandlungstechnologien – z. B. auf erneuerbare Energiequellen in anderen Sektoren – zurückgreifen und den realen Lösungsbeitrag der Energieeffizienztechniken in der Industrie unterschätzen.**

Außerdem wird sich der Ökonometriker mit seinen meist geringen Energiepreis-Nachfrage-Elastizitäten bestätigt fühlen, wenngleich die Elastizitäten meist mit zu hohen Aggregationsniveaus bestimmt und nicht von anderen Einflüssen wie Strukturwandel und Wettereinflüssen zuvor bereinigt wurden (vgl. /Schloman, 1995/).

Als **Fazit** für beide Methoden der Gewinnung der Kostendaten bleibt festzuhalten, daß die Angaben von Kosten zu Energieeinsparinvestitionen in der Industrie mit erheblichen Unschärfen und Unsicherheiten verbunden sind und z.Zt. ein eher **zu ungünstiges Bild** zeichnen. Dies erfordert einmal **Sensitivitätsanalysen** bei Modellrechnungen, um die Stabilität der Rechenergebnisse zu überprüfen und zu eher qualitativen Schlußfolgerungen zu kommen. Zum anderen wird die Forderung verständlich, daß die meisten Kostendaten und Angaben zu Energieeffizienzpotentialen periodisch aktualisiert werden müssen, was in 1996/1997 für die IKARUS-Datenbank erfolgen wird.

3.3 Datenzugriff über die IKARUS-Datenbank

Die Daten in der internen Datenstruktur müssen für die externe Datenbankstruktur aufbereitet, überprüft und eventuell verdichtet werden. Darüber hinaus ist es notwendig, die Daten aus der Datenbank in die Struktur zu transformieren und zu verdichten, wie sie von dem LP-Modell verlangt wird. Angesichts des erfahrungsgemäß großen Zeitaufwands für die Erstellung weitgehend ausgetesteter und benutzerfreundlicher Programme wurde zunächst ein Werkzeug für

den internen Gebrauch erstellt. Im folgenden werden einige Grundüberlegungen zu diesem Werkzeug vorgestellt.

Als erstes müssen die Daten aus der Datenbank gelesen werden. Hierzu wird ein Programm verwendet, das sowohl auf die ORACLE-Datenbank zugreifen als auch aus jener gestartet werden kann. Zweitens müssen die einzelnen "Techniken" eindeutig den jeweiligen hierarchisch darüberliegenden Ebenen zuordenbar sein. Hierzu werden die Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen den jeweiligen Ebenen sowie die gewählten Anteile in Verknüpfungstabellen zwischen den Ebenen in der ORACLE-Datenbank abgelegt. So wird z. B. die Glasherstellung in die parallelen Produktionslinien "Hohlglas", "Flachglas" und "sonstiges Glas" unterteilt, die unabhängig voneinander betrachtet werden können. Innerhalb des Stranges "Hohlglas" werden die hintereinander stattfindenden Verfahrensschritte "Rohmaterialaufbereitung", "Schmelzen", "Formgebung und Nachbehandlung" beschrieben. Das "Schmelzen" wiederum kann in das nur alternativ zu betreibende "diskontinuierliche Schmelzen" und "kontinuierliche Schmelzen" unterteilt werden. Die "Spar-Versionen" dieser Verfahren wie verbesserte Brenner oder die Abwärmennutzung mit Abhitzekeßeln oder Rohstoffverwässerung sind wiederum als parallele Prozesse in den verschiedenen Ebenen abgelegt.

In der Datenbank werden somit die Komponenten beschrieben, die z. B. für die Glasproduktion notwendig sind, sowie ein "Bauplan", mit dessen Hilfe die einzelnen Komponenten zum Gesamtsystem zusammensetzen sind. Über die angegebenen Anteile der einzelnen Komponenten für das Basisjahr bei alternativen Möglichkeiten läßt sich nun der Energiebedarf für das Basisjahr ermitteln. Hierbei ist in dem "Tool", mit dem die Ermittlung des Energiebedarfs erfolgt, zu berücksichtigen, daß sich manche Einsparmaßnahmen gegenseitig ausschließen oder in ihrer Wirkung beeinflussen können. So reduziert z. B. die Erhöhung der Luftvorwärmung das zur Verfügung stehende Abwärmepotential. Die verbleibende Abwärme kann noch, allerdings weniger wirtschaftlich, zur Rohstoffvorwärmung oder zur Stromerzeugung genutzt werden, wobei bei entsprechend "scharfen" Randbedingungen im Jahr 2005 oder 2020 auch eine Kombination aller drei Maßnahmen vorstellbar wäre.

Durch die "automatische" Ermittlung der Durchdringungsraten bzw. Anteile wird aus dem Tool letztlich ein Modell (siehe Abbildung 3.3-1). Mit den Investitionskosten, Betriebszeiten und Energieverbräuchen aus der Datenbank und den vorzugebenden Energiepreisen und gegebenenfalls fiskalischen Lenkungsmaßnahmen kann die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme in Verbindung mit den Vorgaben für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung wie Zinssätze oder Amortisationszeiterwartungen ermittelt werden. Darüber hinaus sind jedoch noch eine Reihe von weiteren Einflußfaktoren zu berücksichtigen, die **neben der reinen Wirtschaftlichkeit den Durchdringungsgrad einer Technik bestimmt**:

- Ordnungspolitische Maßnahmen wie Emissionsgrenzwerte, WärmenschutzVO oder technische Standards für Elektromotoranwendungen können den Einsatz auch wenig rentabler oder häufig unbeachteter technischer Maßnahmen erzwingen.
- Marktentwicklungen und Sortimentsbereinigungen können dazu führen, daß bestimmte Produkte z. B. nur noch mit (auch den Energiebedarf reduzierenden) elektronischen Regelungen angeboten werden und somit energiepreisunabhängig zum Einsatz kommen.
- Die Multifunktionalität von Produkten wie z. B. Verbesserung der Produktqualität, einfachere Automatisierbarkeit, Erhöhung der Fertigungsflexibilität u. a. entzieht sich häufig einer monetären Bewertung im Rahmen einer einfachen Wirtschaftlichkeitsberechnung (vgl. Kap. 3.2).
- Hemmnisse wie mangelnde Fachkenntnisse, Finanzierungsengpässe, Erwartungen zu kurzer Amortisationszeiten, konservative Einstellungen zu Innovationen usw. können wirtschaftliche Maßnahmen an ihrem Einsatz hindern.
- Soweit Maßnahmen nur bei Re- oder Neuinvestitionen zum Einsatz kommen können, beeinflussen Rest-Nutzungsdauer der Altanlagen und Wirtschaftswachstum die Durchdringung.
- Darüber hinaus sind die bisherige und die technisch maximal mögliche Durchdringung bzw. Durchdringungsgeschwindigkeit zu berücksichtigen, die neben Produkt- und Rohmaterialanforderungen auch von der Produktions- bzw. Installationsgeschwindigkeit und -kapazität abhängen.

Die Bestimmung des quantitativen Einflusses dieser Faktoren auf den Durchdringungsgrad einer Technik entzieht sich gegenwärtig häufig einer mathematischen Behandlung und ist auf eine gewisse "Ingenieurintuition" angewiesen, die auf einer detaillierten Branchenkenntnis beruhen muß. Daher wird zumindest vorläufig eine plausible Ermittlung der zukünftigen Energieverbräuche den jeweiligen Branchenexperten vorbehalten bleiben müssen. Aufbauend auf den Erfahrungen bei der Bildung verschiedener "Pakete" für das Optimierungsmodell ist vorgesehen, das Industrie-"Tool" in Verbindung mit weiteren empirisch abgesicherten Erkenntnissen so weiterzuentwickeln, daß es als "Industriemodell" allgemein anwendbar sein wird (vgl. Abb. 3.3-1). Die Arbeiten werden zunächst auf den Aspekt der Hemmnisse konzentriert, um das Modell für die Analyse energiepolitischer Maßnahmen nutzen zu können.

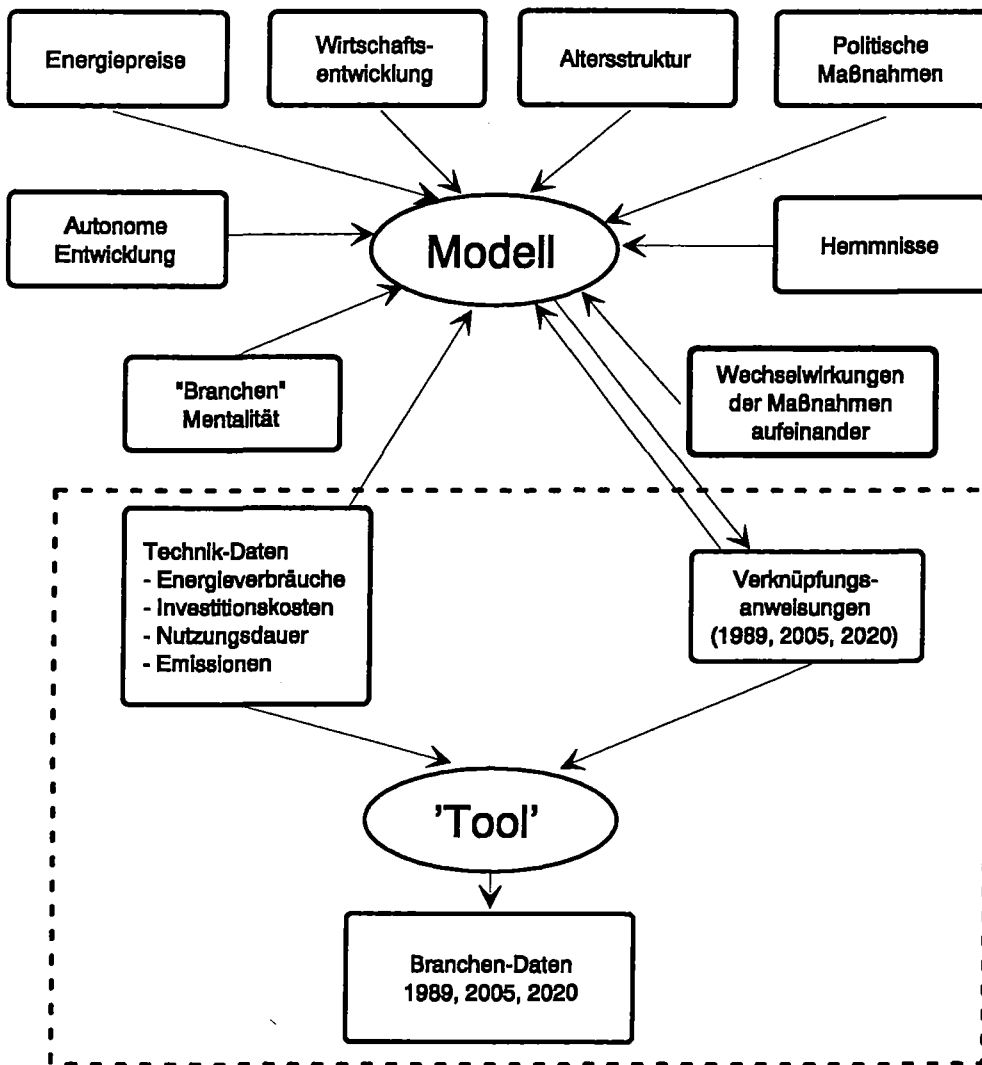


Abb. 3.3-1: Prinzipielle Einflüsse auf das Industrie-Modell und sein Zusammenwirken mit dem "Tool" (umstrichelter Teilbereich derzeit realisiert)

4 Die heutige energiewirtschaftliche Situation und ein kurzer Blick auf die Vergangenheitsentwicklung der deutschen Industrie

Zum besseren Verständnis der sehr unterschiedlichen Ausgangslagen der west- und ostdeutschen Industrie zum Zeitpunkt des Basisjahres von 1989 sei kurz auf die Vergangenheit von Energieverbrauch und Produktion in der west- und ostdeutschen Industrie eingegangen, bevor in Kapitel 5 Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der energiebedarfsbestimmenden Größen des Verarbeitenden Gewerbes gemacht werden. Die Industrie (Verarbeitendes Gewerbe) trug 1989, mit insgesamt rund 3 254 PJ (alte und neue Bundesländer) entsprechend 34,3 % zum Endenergieverbrauch bei. Hiervon entfielen knapp 30 % auf die neuen Bundesländer /BMW, 1994/.

Als Basisjahr der Modellrechnungen wurde das Jahr 1989 für die westdeutsche und 1988 für die ostdeutsche Industrie deshalb gewählt, um die gesamtdeutsche Entwicklung in ihrer Dynamik nach der Wiedervereinigung miteinfassen zu können. Zur Beschreibung der Energiedaten dienten im wesentlichen die Energiebilanzen der Arbeitsgemeinschaft der Energiebilanzen und das statistische Jahrbuch der DDR sowie für die Produktionsdaten auch spezielle Fachstatistiken und Erhebungen der Autoren (vgl. Tabelle 4-1). Für einige Produkte und Einzeltechniken, z.B. Roheisen, einige Grundchemikalien, Zellstoff und Hüttenaluminium, mußten die Energieverbrauchswerte anhand von Produktionszahlen und spezifischen Energieverbräuchen ermittelt werden, deren Werte aus technischen Einzelanalysen stammten.

Interessant ist der **Vergleich der Energieverbrauchs- sowie der Produktionszahlen** sowohl zwischen den einzelnen Industriesektoren als auch zwischen der ost- und westdeutschen Industrie (vgl. Tabelle 4-1):

- Während die Grundstoffindustrie in den alten Bundesländern 1989 lediglich ein Viertel der Nettoproduktion der gesamten Industrie ausmachte, benötigte sie – ebenso wie die ostdeutsche Industrie – zwei Drittel des industriellen Endenergiebedarfs. Damit war die westdeutsche Grundstoffindustrie siebenmal energieintensiver als die übrigen Industriesektoren.
- Diese unterschiedliche Inanspruchnahme von Energie als Produktionsfaktor zeigt sich auch in den Energiekostenanteilen am Bruttoproduktionswert, der 1989 in der westdeutschen Industrie im Durchschnitt 2,4 % betrug, für die Grundstoffindustrieweige aber zwischen 3,4 (übrige Grundstoffindustrie) und 18,8 % (Zement) lag und für die übrigen Sektoren zwischen 1,2 (Investitionsgüterindustrie) und 2,3 % (Verbrauchsgüterindustrie).

Branchen bzw. Produkte	Endenergieverbrauch		Produktion		Nettoproduktion	
	in PJ		in Mio. t		in Mrd. DM	
	ABL, 1989	DDR, 1988	ABL, 1989	DDR, 1988	ABL, 1989	DDR, 1988 ¹⁾
übriger Bergbau	14,86	13,9	-	-	1,6	0,2
Eisenschaffende Ind.	637,2	128,7	-	-	17,2	-
- Roheisen	387,0	36,6	32,8	2,79	2,6	0,22
- Elektrostahl	22,2	6,6	7,13	2,50	1,04	0,36
NE-Metallindustrie	98,7	28,5	-	-	8,8	-
- Hüttenaluminium	47,4	3,9	0,742	0,061	0,91	0,075
Steine und Erden	184,3	116,9	-	-	11,53	-
- Zement	89,2	51,0	29,8	12,5	1,85	0,78
Chemische Industrie	464,6	288,3	-	-	79,5	-
- Chlor	41,4	9,8	3,44	0,59	1,2	0,21
- Soda	3,4	3,1	1,44	0,91	0,22	0,14
- Olefine	76,1	7,6	6,34	0,60	1,78	0,17
Zellstoff u. Papier	113,6	39,6	13,78	1,80	7,1	0,93
Übrige Grundstoffind.	79,5	49,9	-	-	23,2	-
Grundstoffindustrie	1.578,0	651,9	-	-	147,3	-
Investitionsgütergewerbe	304,1	170,8	-	-	311,2	-
Verbrauchsgütergewerbe	233,9	108,3	-	-	82,4	-
- Glas	53,9	19,7	5,0	0,83	6,3	1,05
Nahrungsmittelgewerbe	153,1	86,8	-	-	49,1	-
- Zucker	27,1	21,1	2,76	0,79	1,8	0,52
Industrie insgesamt	2.284,0	1.031,7	-	-	591,7	
- pro Kopf in GJ/cap	38	62	-	-	-	

1) Einzelprodukte bewertet mit spezifischen Nettoproduktionswerten der westdeutschen Industrie

Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Stat. Bundesamt: verschiedene Statistiken, Jahrbuch der DDR, Verbandsstatistiken der Grundstoffindustrieweige, GEU 1995, Schätzungen des FhG-ISI

Tab. 4-1: Endenergieverbrauch und Produktion der west- und ostdeutschen Industrie in den Jahren 1989 bzw. 1988

- Der **Vergleich zwischen der westdeutschen und ostdeutschen Industrie** Ende der 80er Jahre zeigt, daß die Energieintensität in der DDR mehr als doppelt so hoch lag als in den alten Bundesländern. Selbst für das Jahr 1992 liegen die spezifischen Energieverbräuche, berechnet als Energiebedarf je Umsatz, für alle Industriebauptgruppen für die neuen Bundesländer jeweils um mindestens den Faktor 2 über den westdeutschen Werten /Riesner, 1995/. Der Hauptgrund dieser Unterschiede liegt in der Industriepolitik der DDR in den letzten Jahrzehnten, die zu einem relativ hohen Anteil der Grundstoffproduktion an der Gesamtproduktion der ostdeutschen Industrie geführt hatte. Zudem war der Anlagenbestand teilweise extrem überaltert und hatte schon deshalb einen relativ hohen spezifischen Energiebedarf (vgl. Kap. 4.2).
- Hinzu kam eine intensive Nutzung der einheimischen Braunkohle in der ostdeutschen Industrie, nachdem die Sowjetunion nach der zweiten Ölpreiskrise ab 1980 von den COMECON-Staaten wesentlich höhere Preise für Rohöl und Erdgas verlangt hatte. So lag der Stein- und Braunkohleeinsatz in der ostdeutschen Industrie Ende der 80er Jahre bei etwa 50 % (westdeutsche Industrie: 20 %), der nicht nur zu höherem spezifischen Endenergiebedarf, sondern auch zu wesentlich höheren spezifischen CO₂-Emissionen der ostdeutschen Industrie führte.

Seit Ende der 80er Jahre verlief der Energieverbrauch der Industrie in Ost- und Westdeutschland sehr unterschiedlich: Während er in der Hochkonjunktur der alten Bundesländer bis 1992 kaum abnahm und dann bis 1993 um 8 % gegenüber 1989 zurückging, brach er infolge der Betriebsschließungen und der gravierenden Produktionsrücknahmen in der ostdeutschen Industrie bis 1993 um fast 70 % ein gegenüber dem Jahr 1988 zusammen. Der **industrielle Energieverbrauch pro Einwohner**, der 1988 in der DDR noch bei 62 GJ/cap.a gelegen hatte, dürfte 1995 bei 19 GJ/cap.a in den neuen Bundesländern und bei 32 GJ/cap.a in den alten Bundesländern liegen. Viele dieser Produktionseinbrüche in der ostdeutschen Industrie sind nicht reversibel. Lediglich kleine und hocheffiziente Produktionsstandorte haben in der Grundstoffindustrie eine längerfristige Chance (vgl. Kapitel 4.2). Aber auch in der westdeutschen Industrie verliert die Grundstoffindustrie seit Anfang der 70er Jahre langsam an Gewicht, deren Anteil am industriellen Energiebedarf von 73 % in 1974 auf 67 % in 1992 abnimmt.

4.1 Die westdeutsche Industrie 1970-1994

Der Endenergiebedarf der Industrie in den alten Bundesländern in Höhe von 2 284 PJ wurde 1989 zu knapp 70 % für Prozeßwärme verwendet, 20 % wurden für mechanische Energie, 1,6 % für Beleuchtung und der Rest für Raumwärme verwendet. Als Energieträger kamen 1989 23 % Kohle, 13 % Öl, 35 % Gas, 27 % Strom sowie 2 % Fernwärme und sonstiges zum

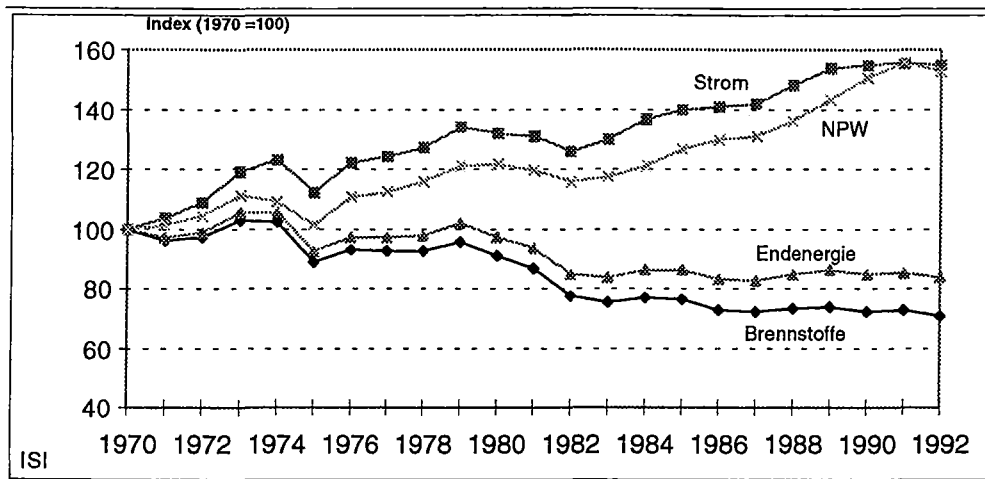
Einsatz. Hieraus wurden 1 274 PJ Nutzenergie erzeugt, d. h., **44 % des Endenergieverbrauches der Industrie sind Verlustenergie** /RWE Energie, 1990/. Bis zum Jahre 1993 verschob sich der Anteil der Endenergieträger weiter zu Lasten der Kohle (17 %) und zugunsten des Stroms (28,3 %) /Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 1994/.

Der Endenergieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe (ohne Mineralölverarbeitung) und Übrigen Bergbau sank in den alten Bundesländern zwischen 1970 und 1993 um 20 % von 2 660 PJ auf 2 110 PJ /Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 1994/. Dabei verlief die Entwicklung beim **Strom** und bei den **Brennstoffen** jedoch gegenläufig (vgl. Abbildung 4.1-1). Während in diesem Zeitraum ein Rückgang des Brennstoffverbrauchs um 30 % - von 2 255 PJ auf 1 512 PJ - zu verzeichnen war, stieg der Stromverbrauch von 405 PJ im Jahr 1970 auf 600 PJ in 1993, d. h. um 54 %, an.

Ein wesentlicher Einflußfaktor auf die Entwicklung des industriellen Energieverbrauchs ist das Wachstum der **industriellen Produktion**, hier gemessen über die reale Entwicklung des Nettoproduktionswertes. Zwischen 1970 und 1993 stieg der Nettoproduktionswert des Verarbeitenden Gewerbes (ohne Mineralölverarbeitung) um ca. 60 % (vgl. Abbildung 4.1-1). Wenn trotz dieses deutlichen realen Produktionswachstums der Endenergiebedarf der Industrie abnahm, dann ist dies daraus zu erklären, daß andere Einflußfaktoren struktureller, technischer, organisatorischer und verhaltensbedingter Art im gleichen Zeitraum den allein aufgrund des industriellen Wachstums zu erwartenden Anstieg des Endenergieverbrauchs weit überkompensiert haben. Beim Strom allerdings wurde der wachstumsbedingte Stromverbrauchsanstieg durch andere Einflußfaktoren (wie z. B. zunehmende Mechanisierung und Automatisierung, Kreislaufführung von Stoffen und Wärme, Umweltschutzmaßnahmen sowie Substitution von brennstoffbasierten Prozessen) noch etwas bis Mitte der 70er Jahre verstärkt.

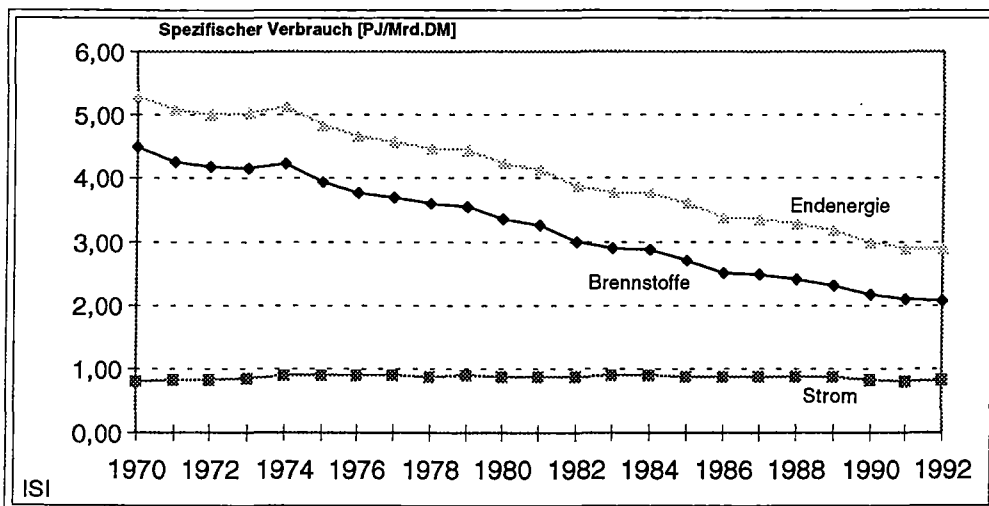
4.1.1 Energieintensitäten, Strukturwandel und rationelle Energieanwendung

Eine Betrachtung der **spezifischen Energieverbräuche**, hier definiert als Energieverbrauch je Einheit Nettoproduktionswert oder auch als Energieintensität bezeichnet, verdeutlicht diese Zusammenhänge, da auf diese Weise der Einfluß des Produktionswachstums bereits herausgerechnet ist. Zwischen 1970 und 1992 ging der spezifische Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes relativ kontinuierlich um durchschnittlich 2,7 %/a zurück (vgl. Abbildung 4.1.1-1). Dieser Rückgang war überwiegend auf den Rückgang des spezifischen Brennstoffverbrauchs zurückzuführen, der im Zeitraum 1970 bis 1992 durchschnittlich rund 3,4 %/a betrug. Dies bedeutet, daß sich der Brennstoffbedarf je Einheit realer Nettoproduktionswert (in 1985er Preisen) zwischen 1970 und 1992 mehr als halbierte, d.h.



Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Statistisches Bundesamt, 1992

Abb. 4.1.1-1: Entwicklung des Brennstoff-, Strom- und Endenergieverbrauchs sowie des realen Nettoproduktionswertes im Verarbeitenden Gewerbe (ohne Mineralölverarbeitung) und Übrigen Bergbau zwischen 1970 und 1992, altes Bundesgebiet



Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Statistisches Bundesamt, 1992

Abb. 4.1.1-2: Entwicklung des spezifischen Brennstoff-, Strom- und Endenergieverbrauchs im Verarbeitenden Gewerbe (ohne Mineralölverarbeitung) zwischen 1970 und 1989, altes Bundesgebiet

von 4,48 PJ/Mrd. DM auf 2,07 PJ/Mrd. DM Nettoproduktionswert zurückging. Demgegenüber stieg der spezifische Stromverbrauch vor allem bis Mitte der 70er Jahre an und blieb in den Folgejahren relativ konstant bei knapp 0,9 PJ/Mrd. DM. Insbesondere seit 1989 ist jedoch auch beim Strom ein deutlicher Rückgang des spezifischen Verbrauchs in der westdeutschen Industrie zu verzeichnen, so daß 1992 mit 0,81 PJ/Mrd. DM Nettoproduktionswert wieder etwa die Stromintensität von 1970 erreicht wurde.

Ein wesentlicher Teil des deutlichen Rückgangs des spezifischen Brennstoffverbrauchs war auf eine **technisch verbesserte Wärme- und Brennstoffnutzung** durch investive und organisatorische Maßnahmen (autonom oder preisinduziert), d. h. eine **rationellere Energienutzung** zurückzuführen. Auch die Brennstoffsubstitution (Übergang zu Energieträgern mit höherem Nutzungsgrad) trug zu den beobachteten Brennstoffeinsparungen bei.

Beim Strom blieb der resultierende Einfluß technischer Faktoren auf den spezifischen Stromverbrauch insgesamt relativ gering, was das Ergebnis **gegenläufig wirkender Faktoren** gewesen ist: Einerseits gibt es beim Strom - anders als bei den Brennstoffen - eine deutliche Tendenz zu einem technologisch bedingten Mehrverbrauch durch steigende Mechanisierung und Automatisierung, gestiegene Umweltschutzanforderungen oder Substitution von Brennstoff- durch Stromanwendungen. Andererseits kommt es auch beim Strom zu Einsparungen aufgrund investiver und organisatorischer Maßnahmen zur rationellen Stromnutzung, die wiederum autonom und auch preisinduziert sein können. Lediglich Anfang der 70er Jahre war im Betrachtungszeitraum ein nennenswerter, technisch bedingter Anstieg des spezifischen Stromverbrauchs zu verzeichnen, der allerdings auch strukturell bedingt war (z. B. durch den Anstieg der Hüttenaluminiumproduktion oder Elektrostahlherstellung).

Neben technischen hatten auch Faktoren struktureller Art Einfluß auf die Entwicklung des spezifischen Strom- und Brennstoffbedarfs der Industrie. Dies gilt zum einen für den **interindustriellen Strukturwandel**, d. h. für Branchenverschiebungen innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes, die in den 70er und 80er Jahren mit zum Rückgang des spezifischen Brennstoffbedarfs beitrugen. Denn in diesem Zeitraum hat sich der Anteil der weniger brennstoffintensiven Industriezweige, insbesondere der Branchen des Investitionsgüter produzierenden Gewerbes, am Nettoproduktionswert des Verarbeitenden Gewerbes deutlich zu Lasten einiger brennstoffintensiver Branchen des Grundstoff- und Produktionsgütergewerbes (insbesondere Eisenschaffenden Industrie, Steine-Erden-Industrie, Gießereien), und des Verbrauchsgütergewerbes (insbesondere Feinkeramik, Textilgewerbe) sowie des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes erhöht. Beim Strom wirkte der interindustrielle Strukturwandel bis zur zweiten Hälfte der 80er Jahre hingegen leicht verbrauchssteigernd, da wichtige stromintensive Branchen (insbesondere z. B. NE-Metalle, Zellstoff und Papier, Kunststoffverarbeitung) überdurch-

schnittlich gewachsen waren. Bei den Interpretationen der strukturwandelbedingten Veränderungen ist auch zwischen konjunkturell bedingten Auswirkungen und langfristigen Strukturveränderungen zu unterscheiden /Morovic u.a., 1989/.

Neben generellen Branchenverschiebungen hatten in der Vergangenheit auch Produkt- und Produktgruppenverschiebungen innerhalb einzelner Branchen (**intraindustrieller Strukturwandel**) Einfluß auf die Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs. Dies gilt insbesondere für energieintensive Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, in denen die Energieintensitäten einzelner Produkte häufig erheblich voneinander abweichen. Auch hier kamen Untersuchungen /Garnreiter u. a., 1985; FhG-ISI/DIW/ENERWA, 1990/ zu dem Ergebnis, daß der intraindustrielle Strukturwandel in den 70er und 80er Jahren leicht brennstoffsparend, jedoch leicht stromverbrauchserhöhend (vor allem durch vermehrte Produktion von Elektrostahl, von Hüttenaluminium bis 1988 und von einer Reihe chemischer Grundstoffe bis Ende der 80er Jahre) gewirkt hat. Dies änderte sich ab Mitte der 80er Jahre, in denen viele stromintensive Industriezweige durch Produktstrukturwandel ihre spezifischen Stromverbräuche reduzierten (z. B. Steine und Erden-Industrie seit 1984: -12 % und NE-Metallindustrie: -29 % oder chemische Grundstoffe: -14 % jeweils bis 1992).

Für die Analyse des Energiebedarfs der Industrie bis zum Jahr 2005 bzw. 2020 ergeben sich damit folgende Anknüpfungspunkte:

- Der wachstumsbedingte Anstieg des Brennstoff- und Strombedarfs wird durch das erwartete Wachstum der industriellen Produktion **insgesamt** (hier gemessen durch den realen Nettoproduktionswert) bestimmt.
- Der Einfluß des **interindustriellen Strukturwandels** ergibt sich aus der erwarteten Entwicklung der Nettoproduktionswerte der einzelnen Branchen, wobei energieintensiven Branchen i.a. nur ein unterdurchschnittliches Produktionswachstum vorausgesagt wird (vgl. /Prognos, 1992 und 1995; Pfaffenberger u.a., 1995/). Die darin zum Ausdruck kommenden Annahmen über den Verlauf des interindustriellen Strukturwandels haben - wie die Vergangenheitsanalyse zeigte - Einfluß auf die Entwicklung des Energieverbrauchs, der um so stärker ausfällt, je deutlicher sich die Wachstumserwartungen für die energieintensiven und die weniger energieintensiven Branchen unterscheiden.
- Die Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs der Industrie wird stark von technologischen Faktoren geprägt. Deshalb kommt einer detaillierten Analyse des zukünftig zu erwartenden Beitrags allgemeiner und **branchenspezifischer Techniken zur Brennstoff- und Strom einsparung** besondere Bedeutung zu. Daneben sind vor allem beim Strom auch bedarfssteigernde Einflüsse zu berücksichtigen.

- Wie die Vergangenheitsanalyse zeigte, kann auch vom intraindustriellen Strukturwandel und veränderten Produktmix ein bedeutender Einfluß auf die Entwicklung des spezifischen Strom- und Brennstoffverbrauchs ausgehen, wenn sich innerhalb einer Branche die spezifischen Energieverbräuche einzelner Produkte oder Produktgruppen stark unterscheiden und die Wachstumsaussichten für diese Produkte ebenfalls unterschiedlich sind, wie z. B. für Hüttenaluminium innerhalb der NE-Metallindustrie oder für Chlor, Methanol, Ammoniak und Soda innerhalb der Chemischen Industrie.

Für die westdeutsche Industrie verliefen diese Einflußfaktoren über die letzten drei Jahrzehnte relativ kontinuierlich; es wird auch für die Zukunft davon ausgegangen, daß sowohl Struktureinflüsse als auch technologische Einflüsse nur langfristig ihre Einflußstärke auf die Energieintensitäten in den Industriebranchen verändern (vgl. Kapitel 5.2.1). Der intraindustrielle Strukturwandel dürfte in Zukunft seinen Einfluß infolge verstärkten Dienstleistungsangebots der Hersteller in Form von Betreibergesellschaften, Systemführerschaften und Contracting erhöhen.

Der Rückgang des industriellen Endenergieverbrauchs um etwa 18 % und Änderungen der Energieträgerstruktur führten zwischen 1980 und 1993 zu einer CO₂-Emissionsminderung der westdeutschen Industrie von ca. 30 % auf etwa 135 Mio. t CO₂ im Jahre 1993/BMWi, 1995/.

4.1.2 *Der Wechsel vom Nettoexporteur zum Nettoimporteur „grauer Energie“*

Der zukünftige Energiebedarf und das Ausmaß der Treibhausgasemissionen der energieintensiven Industriezweige sind sowohl durch Strukturwandel als auch durch rationelle Energienutzung und Energieträgersubstitution bestimmt (vgl. Kapitel 4.1.1). Für den Strukturwandel in der Grundstoffindustrie sind zunächst die Ursachen und die energiewirtschaftlichen Wirkungen zu klären. Handelt es sich um eine Substitution der inländischen Produktion durch Anteilsgewinne der Importe? Oder werden z. B. auf Grundchemikalien basierende Kunststoffe durch andere Stoffe ersetzt? Strukturwandel durch Substitution der Produktion durch Importe würde energiewirtschaftlich die Tatsache verschleiern, daß in den Produkten netto mehr "graue Energie" importiert wird. Bei inländischer Werkstoffsubstitution (z. B. durch Stahl, Aluminium, Holz, Baumwolle und natürliche Öle) dagegen wäre zu klären, ob die anderen Grund- und Werkstoffe mit geringerem spezifischen Energieaufwand hergestellt werden oder nicht. Für die Zukunftsprojektionen kommt erschwerend der Einfluß des vereinheitlichten EU-Marktes, der neuen Handelsbeziehungen mit den osteuropäischen Staaten, der Globalisierungstendenz vieler Unternehmen und der Einfluß von Umweltauflagen, z. B. der VerpackungsVO, der ElektronikschrottVO oder der AutoschrottVO, hinzu. Ein verstärkter

Trend zum Recycling energieintensiver Materialien, die nicht mehr in den Primärkreislauf, sondern als Zwischenprodukte (z. B. als Polymer, Papier) in den Sekundärkreislauf zurückgeführt werden, könnte den Strukturwandel innerhalb der Grundstoffindustrie in Zukunft beschleunigen.

Methodisches Vorgehen und Ergebnisse

Zur Beantwortung der Frage, wie sich die Produktion energieintensiver Grundstoffe langfristig entwickeln könnte, wurde zunächst mit quantitativ-statistischen Methoden versucht, bestehende Zusammenhänge zu analysieren und dann mit zusätzlichen Informationen - soweit verfügbar - fortzuschreiben. Hierbei wurde für die Beschreibung der Veränderungen des Außenhandels der RCA (Revealed Comparative Advantage) gewählt, um Trends des Außenhandels insbesondere von energieintensiven Produkten beschreiben zu können /Grupp/Legler, 1987/. Zweifellos müssen die Ergebnisse dieser Vorgehensweise in Tiefeninterviews mit Marktkennern periodisch kritisch betrachtet und wahrscheinlich teilweise korrigiert werden. Eine erste Revision ist für das Jahr 1996 vorgesehen.

Während in der Vergangenheit die Produktion der **Chemischen Industrie** in Westdeutschland insgesamt um etwa 50 % bzw. 2,3 % pro Jahr (1973-1991) zunahm und lediglich die Produktion der Aromaten im gleichen Umfang anstieg,

- legten Olefine, Chlor und PVC im gleichen Zeitraum nur um 30 % (1,6 %/a) zu,
- stagnierte die Produktion von Polyethylen und Soda auf dem Niveau von 1973 und
- ging die Produktion von Ammoniak (-20 %), Methanol (- ein Drittel) und Acetylen (fast -50 %) erheblich zurück.

Die relative Wettbewerbsposition im internationalen Handel dieser Grundchemikalien und Zwischenprodukte entwickelte sich zwischen 1973 und 1991, gemessen am RCA, wie folgt:

- lediglich die Aromaten und PVC verbessern ihre Wettbewerbsposition seit 1973 auf den Industriedurchschnitt in 1991 (Aromate) bzw. auf den RCA-Wert um 100 (PVC).
- Viele der in 1973 noch als industriedurchschnittlich oder überdurchschnittlich zu bezeichnenden Grundstoffprodukte haben 1991 eine unterdurchschnittliche Position (Polyethylen und -propylen sowie Chlor mit jeweils RCA-Werten von -50 und die Olefine mit etwa -150).
- Methanol, Phosphor und Selen konnten ihre relativ schlechte Wettbewerbsposition seit Anfang der 70er Jahre nicht verbessern (-100 bis -150).

Für die Entwicklung des Außenhandels chemischer Grundstoffe wird von folgenden Annahmen ausgegangen: für reine Grundchemikalien, die relativ leicht transportierbar sind, aber bei der Weiterverarbeitung für know-how-intensive Produkte verwendet werden, nimmt die Importquote weiter zu: Methanol, Olefine, Aromate und Chlor. Für Polymerisate (Polyethylen, PVC und Polypropylen) gilt dies für einfache Massenware ebenfalls, so daß die Nettoimporte für PE und PP weiter zunehmen. Allerdings nimmt wegen des Qualitätswettbewerbs auf diesen Märkten auch die Exportquote noch leicht zu, insbesondere beim PVC, dessen Preisunterschied zwischen Exporten und Importen 1991 wegen der Qualitätsunterschiede bereits bei 40 % lag.

Die Produktion von Walzstahl, dem Hauptprodukt der **Eisenschaffenden Industrie**, stagniert seit Mitte der 70er Jahre bei rund 36 Mio. t pro Jahr. Sowohl die Importquote als auch die Exportquote hat sich seitdem erhöht, so daß die Nettoexporte lange Zeit zwischen 2,0 und 2,5 Mrd. DM pro Jahr lagen. Die RCA-Werte waren bis 1991 leicht positiv (zwischen 10 und 30). Für die Zukunft gehen wir davon aus, daß sich sowohl die Importquote als auch die Exportquote wegen des internen Marktes und der Öffnung der osteuropäischen Märkte noch weiter auf etwa 45 % bzw. 50 % erhöhen. Es ist damit nicht auszuschließen, daß sich die Nettoexporte in den nächsten Jahren auf Null abgebaut haben und **Deutschland Nettoimporteur von Stahl** sein wird, wie es für eine Reihe von Grundchemikalien seit den 80er Jahren der Fall ist.

Bis Mitte der 80er Jahre befand sich die Herstellung von **Hüttenaluminium** in Westdeutschland noch im Aufbau, obwohl sich schon Ende der 70er Jahre abzeichnete, daß die Bundesrepublik kein sehr geeigneter Standort für die Hüttenaluminiumerzeugung sein würde. So verschlechterte sich auch der RCA-Wert gegen Ende der 80er Jahre. Für das Jahr 2005 wird angenommen, daß die Hüttenaluminiumimporte stark ansteigen werden und die inländische Produktion um 45 % fällt. Auf diesen Rückgang weisen bereits die Betriebsschließungen der Hütten in Rheinfelden (1992) und Essen (1994) hin. Dagegen hat sich die Wettbewerbsposition von **Umschmelz-Aluminium** wesentlich verbessert und ist seit 1990 überdurchschnittlich. Wegen der Nähe zu den Weiterverarbeitern und der zu erwartenden Erhöhung des Aluminium-Recyclings wird dem Umschmelz-Aluminium eine gute Wettbewerbsposition auch für die kommenden Jahrzehnte eingeräumt.

Seit 20 Jahren liegt die Importquote für **Zellstoff** über 95 %, und der RCA-Wert variiert dementsprechend um die -300. Trotz der in Zukunft steigenden Papierproduktion geht man davon aus, daß die inländische Zellstoffproduktion nicht ausgeweitet wird, sondern die benötigten Zellstoffmengen über erhöhte Zellstoffimporte zur Verfügung stehen werden. **Holzschliff** wird

wegen seiner Integration im Papierherstellprozeß relativ wenig gehandelt. Deshalb liegt die Importquote nur bei etwa 5 bis 10 %, während Holzschliff aus Deutschland nur in sehr kleinen Mengen ausgeführt wurde. Im **Papierhandel** nahmen in den letzten 20 Jahren sowohl die Importquote als auch der Export zu. Dennoch stiegen die Nettoimporte (mit noch schnellerem Tempo) für Papier noch erheblich, insbesondere aus den skandinavischen Ländern (1991: fast 3 Mrd. DM). Für die Zukunft ist mit weiter wachsenden Importquoten - auch wegen veränderter Besitzerverhältnissen - zu rechnen, auch wenn sich die Wettbewerbsfähigkeit (RCA-Wert 1991: -38) in den letzten 20 Jahren kaum geändert hat.

Zement ist ein typisches Beispiel energieintensiver Produkte, deren Mengenpreis zu gering ist, um längere Transporte mittels Energiepreisdifferenzen finanzieren zu können. Deshalb liegen Import- und Exportquoten für Zement (aber auch Kalk) unter 10 %. Die Wettbewerbsposition von Zement hat sich in jüngster Zeit in den unterdurchschnittlichen Bereich zurückgebildet. Die Eröffnung des Main-Donau-Kanals könnte diesen Trend durch verstärkte Importe aus den osteuropäischen Anrainerstaaten noch intensivieren. Für Kalk und Ziegel gleichen sich die Werte für Import- und Exportquoten sowie zur Charakterisierung der Wettbewerbsposition aus.

Insgesamt spricht eine Reihe von Gründen dafür, daß sich die einheimische Produktion energieintensiver Produkte in den nächsten 10-25 Jahren auch deshalb unterdurchschnittlich entwickeln dürfte, weil sich die Rolle der Bundesrepublik als **Nettoimporteur energieintensiver Grundstoffe eher noch verstärkt**.

4.2 Die Industrieentwicklung der DDR seit 1980 und der Neuen Bundesländer bis 1994

Um den gravierenden Strukturwandel in der ostdeutschen Industrie seit 1989 zu verstehen, mag ein kurzer Rückblick auf die 70er und 80er Jahre sehr hilfreich sein. Denn folgende Industriepolitik und -tradition in der ehemaligen DDR führten zu einem **relativ hohen Anteil der Grundstoffindustrie** an der gesamtindustriellen Produktion, zu einem relativ veralteten Anlagenbestand mit meist hohem spezifischem Energiebedarf und extrem hohen spezifischen Emissionen, insbesondere bei der Energieumwandlung /Jochem/Seidel, 1994/:

- Infolge der nur begrenzt am Weltmarkt wettbewerbsfähigen Industriewaren der ehemaligen DDR war es für dieses Mitgliedsland der COMECON sehr schwierig, notwendige Importe von fortschrittlichen Investitionsgütern in Hartwährung ordern zu können. Hinzu kamen Handelsbarrieren seitens des Westens für militärtaugliche dual use-Produkte und politisch

bedingte Informations- und Reisebarrieren seitens der Länder jenseits des "Eisernen Vorhangs".

- Die Industrialisierung und Konzentration der Investitionen auf die Produktionsausweitung in der ehemaligen DDR führte in erheblichem Ausmaß zu einer Vernachlässigung von Erneuerungsinvestitionen. Damit wurden mögliche Energieeffizienzpotentiale nicht realisiert.
- Nach der zweiten Ölpreiskrise (1979/80) verlangte die Sowjetunion von den COMECON-Staaten erheblich höhere Preise für Erdöl und Erdgas, worauf die Energiepolitik der DDR-Regierung mit einer noch stärkeren Nutzung der einheimischen Braunkohle reagierte, die sich bis 1978 auf 63 % Anteil am Primärenergieverbrauch zurückgebildet hatte (1970: 75 %) und Ende der 80er Jahre wieder 70 % erreichte. Wurden im Jahre 1980 in der Industrie noch 2,6 Mio. t Heizöl eingesetzt, so waren es 1985 nur noch 0,68 Mio. t.
- Der Versuch der Unternehmen, die Planvorgaben einzuhalten - und dies auch unter Vernachlässigung von Kostengesichtspunkten beim Aufbau betriebsautonomer Versorgung - verschlang notwendige Ressourcen, mit denen man Erneuerungsinvestitionen hätte durchführen müssen.

Das Ergebnis dieser Industriepolitik läßt sich sowohl am industriellen Energieverbrauch je Einwohner oder anhand eines Vergleichs des spezifischen Energiebedarfs energieintensiver Produkte verdeutlichen: während der industrielle Energieverbrauch bei den alten Bundesländern zwischen 1970 und 1989 von 44 GJ/cap auf 36 GJ/cap um rd. 20 % zurückging, erhöhten sich die Werte in der DDR von 55 auf 59 GJ/cap um weitere 10 %. Dieser Pro-Kopf-Unterschied spiegelt sich ebenfalls in den Energieintensitäten der beiden Staaten für 1988, die 3,3 GJ/1000 DM Nettoproduktion für die westdeutsche und 7,9 GJ/1000 DM für die ostdeutsche Industrie betragen /DIW, 1991/. Bei einzelnen energieintensiven Produkten lag der spezifische Energiebedarf in der DDR um 10 bis 50 % über denjenigen in der alten Bundesrepublik, in Ausnahmefällen sogar über 100 % (vgl. Tabelle 4.2-1). Trotz des massiven Produktionsrückgangs energieintensiver Produktionen liegen sowohl die Brennstoffintensitäten wie die Stromintensitäten der ostdeutschen Industrie auch 1992 mehr als doppelt so hoch wie die entsprechenden Werte der westdeutschen Industriehauptgruppen (mit Ausnahme der Stromintensität der Nahrungs- und Genußmittelindustrie) /Riesner, 1995/.

Die oben allgemein genannten Gründe sind nachfolgend **exemplarisch für einige Produktionen** in der ehemaligen DDR präzisiert:

- In den 80er Jahren wurden die Zementdrehrohröfen von Heizöl bzw. Erdgas auf Braunkohlenstaub umgerüstet. Im Jahre 1988 wurde für die Zementproduktion kein Heizöl mehr eingesetzt. Drehrohröfen stammten noch aus den 20er, 30er und 50er Jahren /Gundlach, 1990/.

Erhebliche Zementmengen mit dieser ineffizienten Produktionsweise wurden für den Export produziert.

- In den 70er Jahren wurden in der Ziegelindustrie Kurztunnelöfen (KTO-Programm) eingeführt. Zu Beginn der 80er Jahre mußte auf Beschluß der Partei- und Staatsführung der bisher eingesetzte Brennstoff Heizöl durch einheimische, feste Brennstoffe ersetzt werden. Die Umstellung der konstruktiv für Öl- bzw. Gasfeuerungen ausgelegten Tunnelöfen auf Kohlefeuerung wurde technisch nicht ausreichend beherrscht. Schlechte Qualität der eingesetzten Braunkohle und ungenügende Regelbarkeit der Feuerungssysteme führten dazu, daß die Öfen nur selten kontrolliert gefahren werden konnten.
- In der Feuerfestindustrie existierten in 1988 noch in zwei Werken eigene Gaserzeugungsanlagen, sogenannte Generatorgasanlagen, die auf der Basis von Braunkohlebriketts sogenanntes Schwachgas erzeugten.
- In der Stahlproduktion wurden 1988 noch 43 % nach dem energieintensiven Siemens-Martin-Verfahren hergestellt, ein Verfahren, das in Westdeutschland bereits Mitte der 70er Jahre wegen seiner hohen Energie- und Emissionsintensität eingestellt wurde.

Technik bzw. Erzeugnis	ostdeutsche Produktions- entwicklung 1989 - 1991	Spezifische Energieverbräuche ¹⁾		
		Alt-BRD 1989 GJ/t	DDR 1988 GJ/t	Verhältnis Ost-/West- Deutschland
Zement	- 80 %	3,2	4,2	1,3
Olefine ²⁾	+/- 0 %	35,6	39,4	1,1
Walzstahl	- 43 %	1,7	2,2	1,3
Hüttenaluminium	- 100 %	62,0	71,1	1,15
Chlor/Natronlauge	- 72 %	14,1	16,1	1,15
Glas	- 25 %	10,7	22,3	2,1
Sinteranlage	- 60 %	1,7	2,6	1,5
Zellstoff	- 62 %	13,5	17,6	1,3
Kalk	- 83 %	4,0	4,3	1,1
Zucker	+12 %	9,8	34	3,4
Ziegel	- 40 %	1,5	3,4	2,3
Soda	k.A.	9,2	12,4	1,3
Elektrostahl	- 35 %	2,5	2,6	1,05
Al ₂ O ₃	- 100 %	8,6	24	2,8

¹⁾ Abgrenzungsprobleme wegen energiewirtschaftlicher Zuordnung und statistischer Abweichungen konnten nicht gelöst werden

²⁾ inklusive nicht-energetischer Verbrauch

Quelle: Jochem u.a. 1992; Matthies, 1993; eigene Erhebungen

Tab. 4.2-1: Spezifischer Endenergieverbrauch von Einzeltechniken zur Herstellung energieintensiver Erzeugnisse in der alten BRD und der DDR in GJ/t

- Flachglas wurde vorwiegend nach dem sogenannten Fourcault-Verfahren produziert, während nach dem energetisch günstigeren Floatglasverfahren nur eine Anlage in Torgau arbeitete.
- Die Produktion von Calciumcarbid lag bei 1 Mio. t und benötigte sowohl große Mengen an Branntkalk als auch etwa 700 000 t Stein- und Braunkohlenhochtemperaturkoks, eine un-
gemein energieintensive Verfahrenskette, die im zweiten Weltkrieg aus Autonomiegründen in Deutschland praktiziert und seitdem von der DDR nicht aufgegeben worden war (Produktionsrückgang 1989-1991: -97 %).

Insgesamt reduzierten sich die CO₂-Emissionen der ostdeutschen Industrie zwischen 1980 und 1993 wegen der extremen strukturellen Veränderungen von Produktionen und Energieträgern um 75 % auf etwa 24 Mio. t CO₂ in 1993.

Strukturwandel der ostdeutschen Industrie zwischen 1989-1993 in unerwartetem Ausmaß

Die Entwicklung in den neuen Bundesländern verlief nach Einführung der Wirtschafts- und Währungsunion und der deutschen Vereinigung im Bereich der energieintensiven Industriezweige wesentlich dramatischer als ursprünglich von Politikern und Wirtschaftsfachleuten eingeschätzt. Die völlige Auflösung von Wirtschafts- und Handelsbarrieren zu einem festen Termin und der gleichzeitige Zerfall der Wirtschaftsbeziehungen zu den osteuropäischen Staaten und den GUS-Staaten führte "über Nacht" zu einem ungeahnten Zusammenbruch der energieintensiven Produktionen, die in der Regel sehr kapital- und umweltintensiv sind und bei denen aus diesen Gründen häufig eine Sanierung nicht mehr in Betracht kam.

Die osteuropäischen Handelspartner mußten häufig ihre Abnahmeverträge wegen mangelnder harter Devisen stornieren, eine Kompensation über Bartergeschäfte war nicht immer möglich, und westeuropäische Hersteller konnten häufig preisgünstiger in die neuen Bundesländer liefern. Dementsprechend erodierte die Produktion energieintensiver Grundstoffe binnen ein bis drei Jahren (vgl. Tabelle 4.2-1):

- Folgende **Produktionen wurden völlig eingestellt**: die Sinter- und Roheisenerzeugung, die Stahlerzeugung nach dem Siemens-Martin-Verfahren, die Primärerzeugung von Aluminium, Zink, Kupfer und Zinn, die Erzeugung von Ferrosilicium und Phosphor, die Flachglaserzeugung nach dem Fourcault-Verfahren, die Viskosefasererzeugung sowie die industrieeigene Gaserzeugung auf Basis Braunkohle.

Eine Reihe von **Produktionen mußte Verminderungen um mehr als zwei Drittel** hinnehmen, darunter die Produktion von Calciumcarbid, Zement, Zellstoff, synthetischem

Kautschuk, Farben und Lacken, Voll- und Hauptwaschmitteln, Chlor und Natronlauge, PVC und anderen hier nicht aufgezählten Produktgruppen /Riesner, 1995/.

Bei der Ziegelherstellung erfolgte, bedingt durch die **Bautätigkeit** und einer daraus folgenden starken inländischen bzw. regionalen Nachfrage nach einem Abfallen bis etwa 1991, ein deutlicher Wiederanstieg der Produktion. Hier vollzog sich der Strukturwandel sehr rasch. In der DDR hatten 160 Ziegelwerke etwa 17.000 Beschäftigte. Heute sind in der Ziegelindustrie in den neuen Bundesländern ca. 2800 - 3000 Personen in 30 neu gebauten oder vollständig rekonstruierten Werken beschäftigt. Bei der Rekonstruktion erfolgte eine nahezu völlige Umstellung von Braunkohle auf Erdgas bzw. Flüssiggas, der Endenergieverbrauch für Trocknen und Brennen in diesen Ziegeleien ist nach Müller (1993) mit dem Durchschnittsniveau in den alten Bundesländern vergleichbar. Produzierte man in den neuen Bundesländern 1989 etwa 1 Milliarde Mauerziegel (Normalformat) so wird die Produktion für 1995 auf 1,5 Milliarden geschätzt /Müller, 1993/. Die Dachziegelproduktion - in der DDR bis zur Bedeutungslosigkeit heruntergefahren mit der "Schutzbehauptung", daß keine geeigneten Rohstoffe mehr für Dachziegel vorhanden seien - entsteht wieder neu. Produzierte man 1989 etwa 12 Millionen Biebereinheiten (BE), so ist für 1995 bereits eine Produktionskapazität von 120 bis 150 Millionen BE vorgesehen.

In Erwartung eines raschen Anstiegs der Bauproduktion, der großen Bedeutung der Transportkosten sowie zur Sicherung von Rohstofflagerstätten wurden trotz des Einbruchs der Zementproduktion und weitgehend veralteter sowie umweltbelastender Produktionstechnik alle vier Zementunternehmen der ehemaligen DDR zügig privatisiert /Frisch, 1992/. Umfangreiche Investitionen wurden für den Neubau eines Zementwerkes in Bernburg, für die Modernisierung bestehender Anlagen und zur Verbesserung des Umweltschutzes (Luftentstaubung) getätigt. Mit einem erneuten raschen Anstieg der Kapazitätsauslastung dieser Zementwerke wird gerechnet, zumal die Bundesregierung inzwischen Importbeschränkungen für osteuropäischen Zement erlassen hat.

Insgesamt verminderte sich der **Endenergiebedarf der ostdeutschen Industrie** von 1031 PJ im Jahre 1988 auf 281 PJ in 1994 /BMW, 1995/; er dürfte auch in 1995 wegen weiterer Effizienzgewinne noch leicht abgenommen haben und damit **auf etwa 30 % seines Ausgangswertes** von 1988 geschrumpft sein. Der industrielle Energieverbrauch pro Einwohner liegt damit 1994 bei etwa 18 GJ/cap und damit um mehr als ein Drittel unterhalb des Vergleichswertes der westdeutschen Industrie. Die Verminderung des spezifischen Energiebedarfs von 62 auf 18 GJ/cap verdeutlicht einmal mehr den dramatischen Strukturwandel der ostdeutschen Industrie zu weniger energieintensiven Erzeugnissen binnen vier bis fünf Jahren. Auch der Einsatz der emissionsintensiven Braunkohle ging zugunsten von

Erdgas und Heizöl in noch schnelleren Schritten zurück (z. B. Braunkohleanteil 1991: 30 % und 1993: 21 %).

Nach den jetzigen Erkenntnissen werden die meisten dieser Produktionseinbrüche nicht rückgängig gemacht werden können. Lediglich kleinere und hocheffiziente Produktionsstandorte haben längerfristig eine Chance:

- Die Zinkproduktion erfolgt nur noch über das Zinkrecycling und auch dort nur bis zur pyrometallischen Stufe, aber nicht mehr die Raffinationsstufe mittels Elektrolyse.
- Bei Kupfer ist, wenn überhaupt, nur noch die Sekundärmetallaufbereitung vorgesehen.
- Der Stahlschrott wird lediglich im Elektrostahlverfahren zu neuem Stahl verarbeitet werden.
- Bei den 1990 privatisierten Sodawerke GmbH wurde in Bernburg (Sachsen-Anhalt) in eine moderne Dampfkalzinationsanlage und in eine Anlage zur Schwesodaherstellung investiert. Der Standort Bernburg ist für die Sodaherstellung vor allem durch die Rohstoffverfügbarkeit attraktiv.

In der **Zellstoff- und Papierindustrie** sank die Beschäftigtenzahl im Vergleich 1990 zu 1992 um fast 80 % auf rund 7 000 bei gleichzeitig mehr als 50 Betriebsstillegungen. Die Produktion verringerte sich 1991 gegenüber 1990 bei Papier, Karton und Pappe um 30 % auf 630 000 t. Die weitere Entwicklung ist noch nicht abzusehen, zumal die ostdeutsche Papierindustrie 15 % der Produktion und 30 % des Umsatzes mit den Ländern Osteuropas abwickelte, ein Markt, der gegenwärtig nicht kalkulierbar ist, zumal auch dort die Konkurrenz aus den skandinavischen Ländern sehr groß ist. Eine Produktionsanlage für Eiverpackungen aus 100 % Altpapier wurde Ende 1991 in Betrieb genommen. 1994 wurde ein neues Werk für Zeitungsdruckpapier auf Altpapierbasis errichtet. Mit einem Investitionsvolumen von 12,5 Mill. DM wurde die Möglichkeit geschaffen, mehr Altpapier für hochwertige Papiere einzusetzen /Wochenblatt für Papierfabrikation, 1992/.

Nach Feststellung des Bundesverbandes der **Glas- und Mineralfaserindustrie** war in der Glas- und Mineralfaserindustrie die wirtschaftliche Talsohle 1991 noch nicht durchschritten. Im Vergleich des 1. und 2. Halbjahres 1991 ging die Anzahl der Unternehmen von 85 auf 79 zurück, bei einem gleichzeitigen Rückgang der Beschäftigtenzahlen um 27 % (von 23 506 auf 17 196 im Halbjahresdurchschnitt). Im Jahresdurchschnitt betrug die Beschäftigtenzahl 1992 lediglich noch 11 000. Von den allgemeinen Umsatzeinbußen der ostdeutschen Glasindustrie offenbar nicht so stark betroffen sind die Behälterglashütten, die mit einer Produktion von 337 000 t (1991) noch knapp 74 % des Produktionsausstoßes der ehemaligen DDR erreichten /BV Glas, 1992/.

Insgesamt zeichnet sich ab, daß die **Grundstoffindustrie in Ostdeutschland** im Vergleich zur Gesamtproduktion in der Bundesrepublik **eine relativ geringe Rolle** spielen wird; aber infolge der erheblichen Neuinvestitionen der verbleibenden Produktion könnte der Kapitalstock der energieintensiven Produktionen Ende der 90er Jahre hoch modern, sehr energieeffizient und emissionsarm sein. Die Entwicklung wird zugunsten der Erzeugnisse für die Weiterverarbeitung in der Konsumgüter- und Nahrungsmittelindustrie und im Baugewerbe verlaufen (z.B. Zement, Baustahl, Kunststoffprofile, Ziegel, Papier, Glas und Zucker) /DIW/IfW 1993/.

5 Die Entwicklung der energiebestimmenden Größen für die Zieljahre 2005 und 2020

Das Wirtschaftsmodell (MIS), das sowohl die wirtschaftliche Entwicklung in der BRD als auch die makroökonomischen Auswirkungen von verschiedenen Klimaschutzstrategien im Rahmen des IKARUS-Projektes behandelt, bildet u.a. die Industrie in neun Sektoren ab, die somit sehr aggregiert sind (vgl. /Pfaffenberger u.a. 1995/) und die von dieser - eher nach ökonomischen Gesichtspunkten geprägten - Struktur auf jene Struktur des Optimierungsmodells disaggregiert werden müssen, die nach Energieverbrauchsgesichtspunkten strukturiert ist.

Ausgehend vom jeweiligen Basisjahr mußte die Entwicklung der Nettoproduktion bzw. der physischen Produktionsmengen der west- und ostdeutschen Industrie als energiebedarfsbestimmende Größen für die Jahre 2005 und 2020 geschätzt werden. Hierzu dienten zunächst Prognosewerte für die Bruttowertschöpfung von neun Industriesektoren (vgl. Abbildung 3-1), die vom makro-ökonomischen Modell (MIS) geliefert wurden. Durch zusätzlich verfügbare Informationen über die Entwicklung einzelner Branchen und Produktionsbereiche wurden dann die Werte weiter heruntergebrochen (siehe Kapitel 5.1 und 5.2) und Fachleuten aus den jeweiligen Branchen zur Prüfung vorgelegt.

Grundsätzlich verbirgt sich hinter vielen Einzelannahmen **der Trend des industriellen Strukturwandels** zu höheren Produktionsanteilen energieextensiver Sektoren und Produktgruppen, insbesondere der Investitions- und der Verbrauchsgüterindustrie, zu Lasten der energie-intensiven Produktionen, insbesondere im Bereich der Grundstoffindustrie. Dabei wird auch unterstellt, daß der Trend des Wechsels der deutschen Industrie **vom Nettoexporteur energieintensiver Grundstoffe** und Halbfertigerzeugnisse **zum Nettoimporteur** dieser Waren anhält (vgl. auch Kap. 4.1.2).

Im folgenden werden die Methodik der Disaggregation und die Annahmen für die energiebedarfsbestimmenden Größen erläutert. Dies erfolgt in zwei Schritten:

- Disaggregation der Industrie für das Basisjahr 1989 (alte Bundesländer) bzw. 1988 (neue Bundesländer) (vgl. Kapitel 5.1) sowie
- Erläuterung der Wachstumsannahmen für 2005 und 2020 für die energiebedarfsbestimmenden Größen des LP-Modells (vgl. Kapitel 5.2).

Während die Disaggregation der Industrie für das Optimierungsmodell in den kommenden Jahren wahrscheinlich nicht verändert wird, allenfalls in vereinzelt Ausnahmen, werden die Wachstumsannahmen für die energiebedarfsbestimmenden Größen regelmäßig überarbeitet.

Ein komplett neuer Wertesatz wird im Jahre 1996 vorliegen, der insbesondere für die ostdeutsche Industrie Veränderungen, aber auch mehr Aussagesicherheit mit sich bringen wird.

5.1 Disaggregation und Werte für das Basisjahr 1989 (1988) für die west- bzw. ostdeutsche Industrie

Wenngleich die Struktur des MIS-Modells bereits fünf energieintensive Branchen des Verarbeitenden Gewerbes separat behandelt /Kempf/Kuckshinrichs 1995/, so sind einerseits die fünf energieintensivsten Industriezweige (Steine und Erden, Eisenschaffende Industrie, NE-Metalle, Chemische Industrie und Zellstoff/Papier) mit einem Anteil von 20 % an der Nettoproduktion, aber 66 % am Endenergieverbrauch weiter aufzuschlüsseln (Zahlenangaben für Westdeutschland, 1989); andererseits sind in den übrigen im allgemeinen energieextensiven Branchen einige wenige energieintensive und technisch homogene Produktionen enthalten, wie z. B. die Glas- oder Zuckerherstellung, die für das Optimierungsmodell ebenfalls als getrennte Produktion herausgezogen werden (vgl. Tabelle 5.1-1).

Das MIS-Modell weist die Produktionszahlen zunächst auf der Ebene der funktionalen Branchenstruktur aus /Pfaffenberger u.a., 1994/. Diese wurden zunächst von AGEF auf Nettoproduktionswerten in der institutionellen Abgrenzung für das Verarbeitende Gewerbe umgerechnet. Am Beispiel der Steine und Erden Industrie und der Zementherstellung ist die Disaggregation in ihren einzelnen Schritten exemplarisch erläutert (vgl. Tabelle 5.1-2). Das gesamte Zahlenwerk ist in der Rahmendatenbank der IKARUS-Datenbank abgelegt und der jeweils aktuelle Stand auch über die Autoren verfügbar.

Im Ergebnis werden aus den neun Branchen des MIS-Modells insgesamt 26 Branchen und Produktionen im Optimierungsmodell bzw. etwa 40 in der IKARUS-Datenbank (vgl. auch Abbildung 3-1). Dabei haben die o.g. fünf energieintensiven Branchen des MIS-Modells sowie die Glas- und Zuckerherstellung eine durchschnittliche Energieintensität, d.h. ein Verhältnis von Endenergieverbrauch zu Nettoproduktion, das mit 11,6 MJ/DM für 1989 in Westdeutschland etwa 8,5-fach so hoch ist wie die Energieintensität der übrigen energieextensiven Branchen (mit 1,37 MJ/DM). Bei der weiteren Aufschlüsselung der energieintensiven Branchen wurde nicht versucht, die Wirtschaftsstatistik heranzuziehen, sondern mehr von rein technologischen Gesichtspunkten auszugehen. Dieses Vorgehen führt zu einer Disaggregation in relativ homogene Einzelproduktionen (Zement, Ziegel, Kalk, Sinter, Roheisen, Elektro- und Oxygenstahl) und Restgrößen der jeweils behandelten Branchen (vgl. Beispiel in Tabelle 5.1-2). Damit wird es möglich, für 14 Produktionen im Optimierungsmodell die


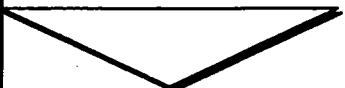
lfd. Nr.	Struktur des MIS-Modells ¹⁾	Sektorale Wertschöpfung 1988 Mrd. DM	lfd. Nr.	Struktur des LP-Modells	Mio.t oder Nettoproduktion
1	Steine und Erden (25)	17,1	1	übriger Bergbau (2130, 41, 50, 71, 80)	NP
			2	Zement (2531)	
			3	Kalk (2535)	NP
			4	Ziegel (2541)	NP
			5	sonstige St.-E. Industrie	NP
2	Eisenschaffende Industrie (27)	15,1	6	Sinter	t
			7	Roheisen	t
			8	Elektrostahl	t
			9	LD-Stahl (Oxygenstahl)	t
			10	Walz-Stahl	t
			11	sonstige Esch-Industrie	NP
3	NE-Metallindustrie (28) ohne NE-Metallgießereien	5,7	12	Hüttenaluminium	t
			13	sonst. NE-Metall-Industrie	NP
4	Chemische Industrie/Gummi (40/59)	92,9	14	Chlor	t
			15	Soda	t
			16	Olefine	t
			17	sonst. chemische Grundstoffe	NP
			18	sonst. Chemische Industrie	NP
5	Zellstoff und Papier (55)	13,3	19	Zellstoff	t
			20	sonst. Zellstoff- und Papierindustrie	t
6	Gießereien und Walzwerke,- NE-Gießereien	27,1	21	sonst. Grundstoffproduktion (29, 3011, 15/30, 53, 59) inklusive Gummierzeugung, NE-Gießereien, Holzbearbeitg.	NP
7	Investitionsgüter- Industrie (3021/25,31 bis 38, 50)	393,1	22	Investitionsgüterindustrie	NP
8	Konsumgüter-Industrie (51, 52, 54, 56 bis 58), übriger Bergbau und Holzbearbeitung	77,2	23	Glas (52)	t
			24	sonstige Konsumgüterindustrie	NP
9	Nahrungs- und Genuß- mittel-Industrie (68, 69)	65,1	25	Zucker (6821)	t
			26	sonstige NuG-Industrie	NP

¹⁾ Angaben in Klammern sind die SYPRO-Nummern der Wirtschaftsstatistik

Quelle: AGEP, 1994 für sektorale Wertschöpfung

Tab. 5.1-1: Umsteiger von der Struktur des MIS-Modells zum LP-Modell mit der sektoralen Wertschöpfung der westdeutschen Industrie, 1988

energiebedarfsbestimmende Größe in Gewichtseinheiten anzugeben. Die Produktionsangaben der übrigen 12 Branchen des LP-Modells müssen weiterhin als Nettoproduktion ausgewiesen werden (vgl. Tabelle 5.1-1).

	1989	2005	2020
Makroökonomisches Modell IKARUS - MIS			
Wertschöpfung der westdeutschen Steine und Erden - Industrie ¹⁾ in Mrd. DM	17,07	27,6	34,0
			
IKARUS - LP - Modell und Datenbank			
umgerechnet auf Nettoproduktion ²⁾ in Mrd. DM	11,53	18,7	23,0
			
Annahmen ³⁾ für einzelne Branchen:			
- Zement, Mio. t	29,8	28,0	25,0
- Kalk, Mio. t	7,03	10,0	10,5
- Ziegel, Mrd. DM	1,46	2,0	2,5
- Sonstige Steine und Erden-Industrie in Mrd. DM	7,23	13,5	17,3

- 1) in der funktionalen Abgrenzung und einschließlich Kleinbetriebe
- 2) in der institutionellen Abgrenzung und Betriebe > 20 Beschäftigte in Preisen von 1985
- 3) Annahme durch Literaturanalysen und Expertenbefragung zunächst in physischen Größen, dann Umrechnung auf Nettoproduktion

Tab. 5.1-2: Disaggregation der Branchen von der Struktur des MIS-Modells zu derjenigen des LP-Optimierungsmodells am Beispiel der westdeutschen Steine- und Erden-Industrie

Alte Bundesländer

Um die Nettoproduktionen der jeweiligen Restbranche zu ermitteln, mußten den einzelnen energieintensiven Produktionen wie Zement oder Oxygenstahl Nettoproduktionswerte zugeordnet werden. Dies erfolgt in der Regel für die westdeutsche Industrie für 1989 auf folgende Weise.

- Nettoproduktionswerte auf Sypro-Viersteller-Ebene wurden für 1985 der Kostenstrukturstatistik des Statistischen Bundesamtes /Stat. Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 4.3/ entnommen und mit dem Produktionsindex für fachliche Unternehmensteile /Stat. Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 3.1/ auf 1989 hochgerechnet. Die so ermittelten Nettoproduktionswerte liegen jedoch, bezogen auf die Gesamtbranche, ca. 10 bis 15 % über dem von Prognos (1993) verwendeten Wert (Preisbasis 1985) und wurden deshalb über eine Berechnung der Anteile am gesamten Nettoproduktionswert der Branche an das niedrigere Niveau von Prognos angepaßt.
- Für die Produkte bzw. Einzeltechniken unterhalb der Sypro-Viersteller-Ebene (Roheisen- und Stahlerzeugung, einzelne chemische Grundstoffe, Zellstoff) sowie für Hüttenaluminium werden in der Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes keine Nettoproduktionswerte ausgewiesen. Diese Produktionswerte mußten daher geschätzt werden. Zu diesem Zweck wurde die physische Produktionsmenge dieser Produkte im Jahr 1989 mit durchschnittlichen Preisen bewertet. Bei der Roheisen- und Stahlerzeugung wurden die Erzeugerpreise für gewerbliche Produkte /Stat. Bundesamt, Stat. Jb. 1991/ zugrunde gelegt, bei den übrigen Produkten ein mit Hilfe der Außenhandelsstatistik /Stat. Bundesamt, Fachserie 7, Reihe 2/ ermittelter durchschnittlicher Preis (Mischpreis aus Import- und Exportpreisen). Die so ermittelten Produktionswerte wurden dann über eine Berechnung der Anteile an der gesamten wertmäßigen Produktion der jeweiligen Branche an den von Prognos genannten Nettoproduktionswert der jeweiligen Gesamtbranche angepaßt.

Disaggregation der sektoralen Rahmendaten für die Neuen Bundesländer

Aus modelltechnischen Gründen wurde von AGEP beim MIS-Modell der wirtschaftliche Zusammenbruch 1991/1992 der ostdeutschen Industrie auf ein fiktives Ausgangsniveau heruntergerechnet (vgl. Abbildung 5.1-1). Die Produktion im Basisjahr 1988 liegt damit deutlich unter der tatsächlichen Produktion der ehemaligen DDR zu diesem Zeitpunkt. Der dramatische Strukturwandel des wirtschaftlichen Zusammenbruchs bis 1993 (vgl. Kapitel 4.2) ist damit entsprechend den MIS-Modellannahmen ebenfalls auf 1988 vorverlegt worden. Vorhandene Daten über Produktionsstrukturen und Werte des MIS-Modells für das Basisjahr können deswegen nicht übertragen werden, wodurch die Disaggregation sehr erschwert wurde.

Bei der Bearbeitung der MIS-Rahmendaten für die neuen Bundesländer für das Basisjahr 1988 konnte - im Gegensatz zu Westdeutschland - nicht auf vorhandene Nettoproduktionswerte zurückgegriffen werden. Hinzu kommt das allgemeine Problem, daß andere monetäre Größen als die Nettoproduktion für die ehemalige DDR wegen unterschiedlicher Abgrenzungen und der Kombiatsstruktur nicht verwendbar sind. Um die neun Industriezweige des MIS-Modells in die Bereiche des Optimierungsmodells aufzulösen, wurde zunächst der von AGEP angegebene Bruttoproduktionswert mit branchenspezifischen Umrechnungsfaktoren für Westdeutschland zu den entsprechenden Nettoproduktionswerten umgerechnet. Im nächsten Schritt wurde die vom Statistischen Bundesamt für 1992 erfaßte Produktionsstruktur der neuen Bundesländer /Stat. Bundesamt FS 4, Reihe 3.1./ auf diese Nettoproduktionswerte übertragen, wodurch die Anteile der einzelnen Branchen bestimmt werden konnten.

Die beschriebene Vorgehensweise zur Bestimmung der Nettoproduktion der ostdeutschen Industrie ist mit Unsicherheiten behaftet. Diese dürften allerdings nicht so sehr ins Gewicht fallen wie die Konstruktion eines künstlich niedrigen Ausgangsniveaus für 1988. Hinzu kommt, daß für die sehr energieintensiven Produktionen auf Basis physischer Mengen gerechnet wird, deren Ausgangswerte von 1988 oder 1992 bekannt sind (vgl. auch Kapitel 4.2). Deshalb sind die Daten des Basisjahres eher von methodischer Bedeutung, um Daten für das Projektionsjahr 2005 zur Verfügung stellen zu können. In 1996 wird ein neues Basisjahr 1994 für die ostdeutsche Industrie erarbeitet, um die bestehenden Mängel auszugleichen.

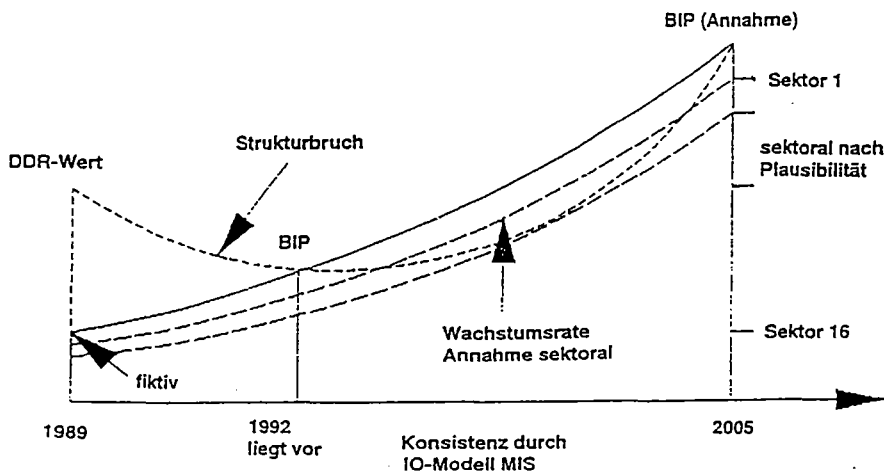


Abb. 5.1-1: Aus modelltechnischen Gründen reduzierte Produktion der Industrie der ehemaligen DDR im MIS-Modell für das Basisjahr 1988

5.2 Produktionsschätzungen für die west- und ostdeutsche Industrie

Westdeutschland

Die Abschätzung der Produktionsentwicklung für einzelne Produkte erfolgte, soweit möglich, auf der Grundlage von Produktionsmengen in physikalischen Einheiten (Tonnen). Bei der Hochrechnung dieser Produktionsmengen auf die wertmäßige Produktion ist auch der möglicherweise vorhandene Trend zu höherwertigen Produkten (z. B. hochveredelte Stähle, NE-Metallfertigprodukte oder Kunststoffe auf PVC-Basis) zu berücksichtigen, der sich in einem Anstieg des Verhältnisses von Nettoproduktionswert zur Produktion in t niederschlagen würde (vgl. Tabelle 5.2-1).

Zu den Produktionsentwicklungen in der westdeutschen Industrie wurde im einzelnen angenommen:

- Eisenschaffende Industrie

- Infolge verstärkten Stahlrecyclings (AutoschrottVO), Teilsubstitutionen von Stahl durch Aluminium und Kunststoffe sowie eines zunehmenden Stahlnettoimports der Bundesrepublik aus Osteuropa (vgl. Kap. 4.1.2) nehmen **Sinter- und Roheisenproduktion** erheblich ab /Holschuh 1993, Hoehner 1993 ; Karis 1993/.
- Die **Elektrostahlerzeugung** in Ministahlwerken nimmt aufgrund ihrer Kosten-, Logistik- und Flexibilitätsvorteile sowie infolge des verstärkten Stahlschrott-Recyclings von 7,1 Mio auf 14 Mio t in 2020 zu /Nilles 1993; Faure 1993; Wienert, 1995/.
- **Oxygenstahl** und abgeschwächt **Walzstahl** sind von den gleichen o.g. Einflußfaktoren der rückläufigen Rohstahlproduktion betroffen.
- Mit der Produktion von **Spezialstählen** gelingt es im **Sektor der sonstigen Eisenschaffenden Industrie**, die o.g. rückläufigen Entwicklungen der traditionellen Stähle zu kompensieren /Schulz 1993; Käding et al 1993/.

- Steine und Erden-Industrie

Insgesamt verdoppelt sich die Nettoproduktion dieser Branche nach den Ergebnissen des MIS-Modells binnen 31 Jahren. Infolge der hohen Bauinvestitionen im Hochbau, Straßenbau und Tiefbau, insbesondere Kanalisation, ergeben sich folgende Zunahmen der Produktion:

- Die Zementproduktion vermindert sich langfristig auf einen Wert von 400 kg per capita, die Kalk- und Mörtelproduktion nimmt noch um 50 % und die Ziegelherstellung wertmäßig um zwei Drittel zu (vgl. Tab. 5.1-2).

IKARUS, Teilprojekt Industrie Produktionsdaten (Mengen und Werte) 5.10.1995															
Branche (SYPRO)	Alte Bundesländer						Neue Bundesländer						Gesamtdeutschland		
	Produktion			Nettoproduktionswert (Preise von 1985)			Produktion			Nettoproduktionswert (Preise von 1985)			Nettoproduktionswert (Preise von 1985)		
	1000 t 1989	1000 t 2005	1000 t 2020	Mrd.DM 1989 1)	Mrd.DM 2005	Mrd.DM 2020	1000 t 1988	1000 t 2005	1000 t 2020	Mrd.DM 1988 1)	Mrd.DM 2005	Mrd.DM 2020	Mrd.DM 1989 1)	Mrd.DM 2005	Mrd.DM 2020
Übriger Bergbau (2130/41/50/71/80)				1,60	1,48	1,37				0,20	0,20	0,20		1,68	1,57
Eisenschaffende Industrie (27)				17,20	20,28	23,52					1,62	2,83		21,90	26,35
• Hochofen-, Stahl- u. Warmwalzw. (2711)				13,66	12,06	11,58				0,94	1,49	1,34	14,60	13,55	12,90
• Roheisen	32777	20000	13500	2,60	1,55	1,00	2786	1000	1000	0,22	0,08	0,08	2,82	1,63	1,08
• Rohstahl	41073	31000	28000	5,51	4,23	3,89	8133	4000	3500	1,09	0,54	0,50	6,60	4,78	4,26
• LD-Stahl (Oxygenstahl)	33943	21000	14000	4,48	2,77	1,85	2307	1000	1000	0,30	0,13	0,00	4,78	2,90	1,85
• Elektrostahl	7130	10000	14000	1,04	1,46	2,04	2501	3000	2500	0,36	0,41	0,50	1,40	1,90	2,54
• Walzstahl	31702	26300	25000	5,55	6,28	6,69	5439	3500	3100	0,95	0,75	0,84	6,50	7,25	7,60
NE-Metallindustrie (28; ohne 2950)				8,80	10,77	12,33					0,72	0,94		11,49	13,27
• Hüttenaluminium (2811)	742	400	200	0,91	0,49	0,25	61	0	0	0,75	0,00	0,00	0,98	0,49	0,25
• Sonst. NE-Metalle (2850, T.v.2813/16)				7,90	10,28	12,09				0,37	0,72	0,94	8,27	11,00	13,02
Steine-Erden-Industrie (25)				11,53	18,67	22,90					7,69	16,68		26,36	39,60
• Zement (22531)	29799	28000	25000	1,85	1,80	1,60	12510	8000	6000	0,78	0,50	0,40	2,63	2,30	2,00
Chemische Industrie				79,50	122,04	145,70					21,42	35,64		143,46	181,38
• Chem. Grundstoffe (4031)				44,08	60,51	69,00				1,32	4,28	6,00	45,40	64,79	75,00
• Chlor	3443	3100	2000	1,20	1,11	0,92	591	530	320	0,21	0,09	0,06	1,30	1,20	0,98
• Soda (4159 31)	1443,1	1000	850	0,22	0,15	0,13	914	900	800	0,14	0,14	0,12	0,36	0,29	0,25
• Olefine	6336	6500	6770	1,78	1,83	1,90	601	900	1450	0,17	0,25	0,41	1,95	2,08	2,31
Zellstoff-Papier-Industrie (55)	13779	20650	25790	7,10	12,87	15,96	1800	4600	6000	0,93	2,91	5,01	8,03	15,78	20,96
• Zellstoff	874	850	850	0,49	0,49	0,49	520	250	250	0,29	0,15	0,15	0,78	0,64	0,64
Übr. Grundstoff- u. Produktionsgewerbe				23,21	35,03	44,80					6,97	11,20		42,00	56,00
Investitionsgütergewerbe				311,21	490,00	655,00					77,76	138,00		567,75	793,00
Verbrauchsgütergewerbe				82,39	134,02	179,00					26,14	41,00		160,17	220,00
• Glas (52)	5000	6900	7600	6,30	9,65	11,00	828	1200	1200	1,04	1,68	1,80	7,34	11,33	12,80
Nahrungs- u. Genußmittelgew. (68, 69)				49,13	65,16	74,69					22,66	35,15		87,82	109,84
• Zucker (6821)	2746	3300	3300	1,80	2,15	2,15	791	900	900	0,52	0,59	0,59	2,32	2,73	2,73
Industrie Insgesamt	-	-	-	591,67	910,32	1175,33	-	-	-		168,09	286,65		1078,41	1461,98

1) DDR vorläufige Werte, Einzelprodukte mit westdeutschen Nettoproduktionswerten angegeben

Tab. 5.2-1: Entwicklung der Produktion als energiebedarfsbestimmende Größe der einzelnen Industriezweige und Produkte, West- und Ostdeutschland, 1989 bzw 1988, 2005 und 2020

- Die restliche Steine- und Erdenindustrie (Feuerfest, Wärmedämmung, Natursteine, Kies, Fertigbetonteile, Transportbeton u.a.) nimmt um jährlich 2,9 % zu.

Insgesamt sind diese Wachstumsannahmen relativ hoch und im Team des IKARUS-Projektes auch umstritten. Nach den Recherchen des ISI müßten die Wachstumsannahmen deutlich reduziert werden, wenn man weiterhin von der zugrunde gelegten Bevölkerungsentwicklung ausgeht (2005: 65 Mio. und 2020: 60,6 Mio.). Die hohen Investitionen zur Erneuerung der Abwasserkanalisationsnetze dürften deshalb überschätzt sein, weil sich hier erhebliche technische Fortschritte mit Robotersystemen und Innenauskleidung mit Kunststoffen abzeichnen, so daß die Tiefbauarbeiten bzgl. der Erdaushubarbeiten in hohen Anteilen entfallen werden /Blick durch Wirtschaft u. Umwelt 1992/. Um die Konsistenz des Modells zu gewährleisten, wurden die MIS-Vorgaben dennoch übernommen und die physischen Produktionszahlen entsprechend angepaßt.

- NE-Metallindustrie

- Die Hüttenaluminiumproduktion im Inland geht bis 2005 um 45 % und bis 2020 um weitere 27 % auf 200 000 t zurück. Diese Annahmen beruhen auf Schätzungen von Fachleuten aus Betrieben und Anlagenherstellern. Der Grund hierfür ist der enorme Konkurrenzdruck durch ausländische Anbieter, vor allem aus Ländern mit geringen Stromkosten (Norwegen, Kanada, Australien) und aus Osteuropa. Die Importquote wird daher stetig wachsen /Gilgen 1991; FAZ 1994/.
- Andererseits nimmt die übrige NE-Metallindustrie in ihrem Produktionswachstum um 50 % zu, da Aluminium in seinen verschiedenen Anwendungsmärkten (Profile, Gußteile, Verpackung) weiterhin gute Marktaussichten hat. Die Umschmelzaluminiumproduktion wird sich etwa verdoppeln /Chem. Rundschau 1993; Hunger-Siegler 1993/.

- Chemie

Bei einem Gesamtwachstum der Chemischen Industrie von insgesamt 83 % binnen 31 Jahren ergeben sich deutlich strukturelle Verschiebungen zu Lasten der Grundstoffchemie:

- Die Chlorproduktion geht bis 2005 um 10 % und bis 2010 um weitere 16 % zurück .
- Die Sodaherstellung geht bis 2005 um etwa 30 % und dann um 15 % zurück /Seidel 1992/.
- Die Olefine-Produktion nimmt bis 2020 um 7 % leicht zu /Kunststoffe 1992/.
- Die übrige Grundstoffchemie enthält aufgrund ihrer Spezialitäten bereits ein deutliches Wachstumspotential, das auf 60 % bis 2020 geschätzt wird.

- Die übrige Chemische Industrie legt in der Produktion mit fast 120 % bis 2020 zu. Hierunter sind besondere Wachstumsgebiete, die höhere Wertschöpfung von neuen Farben und Lacksystemen, die Mikroelektronikausgangsprodukte, Pharmaka und Diagnostika, Ausgangsprodukte für Faserverbundwerkstoffe und Hochleistungskeramik sowie biotechnologisch gewonnene Produkte verschiedener Sparten umfassen.

- Zellstoff und Papier

Hier wurde davon ausgegangen, daß sich die derzeitige inländische Produktion von Zellstoff aus umweltpolitischen Gründen nicht erhöht, während die Papier-Pappe-Produktion auf die Tonne berechnet um 2 % pro Jahr und wertmäßig mit etwa 2,9 % pro Jahr zunimmt.

- Die **übrige Grundstoffindustrie** (Gießereien, Walzwerke, NE-Metallgießereien, Holzverarbeitung) wächst mit einer Rate von durchschnittlich 2,6 % pro Jahr oder um insgesamt 93 %. Bei den Gießereien wird aufgrund des strukturbedingten Nachfragerückgangs und der zunehmenden Importkonkurrenz ein Kapazitätsabbau erwartet. Wie beim Stahl werden sich die Gießereien auf höhere Qualität konzentrieren müssen /Knördel 1993/.
- Die **Investitionsgüterindustrie** verdoppelt ihre Nettoproduktionswerte in der betrachteten Periode und erhöht ihren Anteil auf fast 56 % an der gesamten industriellen Produktion in Westdeutschland.
- Bei den **Verbrauchsgüter- und Nahrungsmittel-Industriezweigen** wächst jeweils die energieintensivste Branche unterproportional (Glas: 2,3 % pro Jahr gegenüber 2,5 % pro Jahr für die sonstigen Verbrauchsgüter; und Zucker: 1,1 %/a bis 2005 und dann Stagnation gegenüber der sonstigen Nahrungsmittelindustrie, die in der ersten Periode mit 1,8 %/a und in der zweiten Periode mit 0,9 %/a zulegt. Der Zuwachs ist im Wesentlichen durch Trends zu höherwertigen Produkten, Zunahme der Fertigerichtprodukte und leicht zunehmende Exporte begründet).

Ostdeutschland

Produktionsschätzungen für die ostdeutsche Industrie sind nach vier Jahren des Umbruchs weiterhin extrem unsicher. Die Frage, in welchen Zeiträumen die wirtschaftlich unterschiedlich entwickelten Regionen bei sonst gleichen Rahmenbedingungen sich einander angleichen, ist in der Ökonomie unter dem Begriff des „Mezzogiorno-Syndroms“ umstritten. Empirische Daten

belegen sowohl Beispiele, in denen die benachteiligten Regionen aufholen, als auch das Gegenteil, in denen Regionen wie die relativ arme Auvergne gegenüber dem französischen Durchschnitt zurückfallen. /Barro/Sola-i-Martin, 1993/ errechneten anhand eines mit empirischen Daten entwickelten Simulationsmodells, daß sich der Unterschied zwischen Ost- und Westdeutschland erst nach 35 Jahren halbieren würde, wenn sich das vereinte Deutschland mit den bisher in den USA oder Westeuropa beobachteten Konvergenzraten entwickle. Dagegen verlaufen die Angleichungsprozesse nach den Modellberechnungen von Hughes Hallet und Yue Ma mit einer 40-jährigen Periode bis zur völligen Angleichung an die westdeutschen Verhältnisse deutlich schneller, aber immer noch relativ langsam gemessen an den politischen Wunschvorstellungen der Jahre 1989/1990. Allerdings können diese makroökonomischen Rechenergebnisse nichts über den industriellen Strukturwandel aussagen, denn zu unerkannt und zu undurchdringbar sind die Zusammenhänge einer industriellen Entwicklung, zumal in einer Region mit plötzlich völlig neuen ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen.

Somit sind Aussagen über die Zukunft der ostdeutschen Industrie und ihres weiteren Strukturwandels heute höchst spekulativ. Wenn es dennoch versucht wird, dann deshalb, weil langfristig Investitionen der Infrastruktur (z. B. Straßen, Schienenwege, Erdgas- und Stromverteilungs- und -erzeugungsanlagen, Kommunikationsnetze und -knotenpunkte) geplant und getätigt (oder unterlassen) werden müssen und eine Aktualisierung in 1996 geplant ist.

In den neuen Bundesländern ist man dabei noch mehr als in den alten Bundesländern auf aktuelle empirische Analysen angewiesen, d.h. auf Angaben für realisierte Vorhaben und geplante Investitionen in den einzelnen energieintensiven Branchen. Soweit wie möglich wurde in ersten Recherchen der Autoren von der physischen Produktion in Tonnen ausgegangen und dann auf Nettoproduktionswerte umgerechnet /IKARUS-Projekt 1993/. Besonders in der Grundstoffindustrie stellte sich dabei das Problem, daß die Entwicklung in einzelnen Branchen nur von einigen großen Unternehmen, d.h. singulären und noch anstehenden Entscheidungen, abhängig sind. Diese Großunternehmen sind z.T. noch nicht privatisiert (z. B. Chemiewerke Leuna, Buna u.a.), so daß eine Aussage über die künftige Produktionsentwicklung sehr offen ist. Hinzu kommt, daß aus Geheimhaltungsgründen z.T. keine Kapazitätsdaten oder Produktionsplanungen verfügbar sind. In diesen Fällen wurden Annahmen getroffen, die auf Schätzungen der Treuhandanstalt und anderer, zum Teil nicht zitierbarer Quellen, basieren. Wichtiges Hilfsmittel bei der Schätzung waren auch Angaben der Fachverbände über erwartete maximale Produktionskapazitäten bis ins Jahr 2005. Es zeichnet sich hierbei vor allem in der Grundstoffindustrie ab, daß die in den vergangenen ein bis zwei Jahren geschätzten Produktionsniveaus nur schwer oder aufgrund von dauerhaften Stilllegungen für einzelne Produktionen und damit Branchenumsätze nicht erreichbar scheinen.

Im einzelnen wurden für die entsprechenden Branchen folgende Annahmen getroffen (vgl. auch Tabelle 5.2-1).

- **Eisenschaffende Industrie**

Durch die Restrukturierung der Eisenschaffenden Industrie wird die Produktion von Oxygenstahl mit den dazu gehörigen Produktionen von Sinter und Roheisen zunächst nicht eingestellt. Unter der Annahme, daß der RIVA Konzern für den Erhalt von EKO-Stahl die angekündigten Investitionen wie geplant durchführt, dürfte sich die Rohstahlproduktion im Jahr 2005 auf ca. 4 Mio. Tonnen belaufen. Ob die Stahlherstellung bis 2020 vollständig auf das Elektrostahlverfahren umgestellt sein, ist heute eine offene Frage. Bei Walzstahl und vor allem in der sonstigen Eisenschaffenden Industrie ist dabei wie im Westen von einer Wertsteigerung durch die Entwicklung hin zu höheren Qualitäten auszugehen.

- **NE-Metallindustrie**

Die Produktion von Hüttenaluminium wurde 1991 stillgelegt; ein Wiedereinstieg kann wegen der herrschenden Rahmenbedingungen (günstigere Stromerzeugungskosten in anderen Regionen der Welt) ausgeschlossen werden. Die bisherige Zink-, Kupfer- und Zinnproduktion auf Erzbasis wurde ebenfalls bereits stillgelegt. Die Zinkproduktion erfolgt nur noch über Zinkrecycling, ebenso bei Kupfer /Matthies 1993; Preiss 1994/.

- **Steine-Erden-Industrie**

Die Steine-Erden-Industrie profitiert von dem starken Bauboom in Ostdeutschland, wobei das MIS-Modell sehr hohe Vorgaben macht, die vermutlich wegen der Importe aus dem benachbarten Polen und Tschechien überschätzt sind. Durch die hohen spezifischen Transportkosten von Zement und Kalk bestehen zwar beschränkte regionale Absatzmärkte, aber aufgrund von Importen aus Osteuropa dürfte bei Zement bis 2005 ein Rückgang auf 8 Mio. jato /Matthies 1993/ und bis 2020 auf etwa 6 Mio. jato zu erwarten sein.

- **Chemische Industrie**

Der Produktionsrückgang einzelner chemischer Grundstoffe seit 1988/89 läßt sich in vielen Fällen nur noch als dramatisch bezeichnen. Eine Reihe von Grundstoffen dürfte dieses Ausgangsniveau nicht mehr erreichen, weil sie entweder substituiert werden (z.B. Calciumcarbid) oder zu wesentlich günstigeren Weltmarktpreisen importiert werden können (z.B. Methanol, Aromaten und synthetischer Kautschuk) /Leuna 1993/. Die chemische Industrie ist in starkem Maße durch die Probleme bei der Privatisierung der ehemaligen Kombinate Leuna, Buna und Wolfen geprägt. Während Teilbereiche der Pharma-, Kosmetik-, und Spezialitäten-Chemie relativ schnell privatisiert wurden und mittlerweile wirtschaftlich

erfolgreich sind, steht die Grundstoffindustrie weiter unter hohem Anpassungsdruck. Sie wird – wie in den alten Bundesländern – auch bis 2005 und 2020 stark unterdurchschnittlich wachsen, während die übrige chemische Industrie ihren Anteil ausbauen kann /VCI Ost 1993; Wendenburg 1993; Europa Chemie 1994/.

Für Chlor als Basischemikalie wird auch weiterhin ein (wenn auch rückläufiger) Bedarf bestehen. Aufgrund der hohen Stromkosten wird die maximale Produktion für 2020 auf ca. 320.000 tato geschätzt /Matthies 1993/.

Die Produktion von Soda wird gegenüber 1991 wieder deutlich zunehmen, da die Solvay AG ihr Sodageschäft in Bernburg konzentriert und dafür Kapazitäten in Westdeutschland abbaut /Seidel 1992/. Bis 2020 wird aber auch hier eine rückläufige Tendenz erwartet.

Die Produktion von Olefinen hängt im wesentlichen von den Entscheidungen der neuen Anlagenbesitzer ab, eine neue Crackerkapazität im sächsischen Olefinverbund zu realisieren. Es wurde hier eine Ausweitung der Etylenproduktion bis 2005 auf 400.000 tato, langfristig auf 650.000 tato unterstellt /Kaiser 1993/.

- Zellstoff-Papier-Industrie

Die Produktion von Holzschliff wurde 1990 vermutlich auf Dauer eingestellt; bei Zellstoff werden durch den starken Importdruck über eine Produktion von 250.000 tato in 2005 hinaus keine neuen Kapazitäten aufgebaut werden /vdp 1994/. Für die Papierproduktion wurde wegen der optimistischen Ergebnisse des MIS-Modells ein hohes Produktionsniveau unterstellt, das im Jahr 1996 einer Prüfung unterzogen wird.

- Investitionsgütergewerbe

Die Situation im Investitionsgütergewerbe ist je nach Branche sehr unterschiedlich. Für den Fahrzeugbau und den Maschinenbau werden auch in den kommenden zehn Jahren noch Probleme bestehen, wettbewerbsfähige Produkten abzusetzen. Andere Branchen, die von dem Bauboom und den Investitionen in die Infrastruktur wie Telekommunikation und Energie profitieren, werden ein stärkeres Wachstum zu verzeichnen haben. Die Branche als Ganzes unterliegt den Bedingungen der internationalen Märkte und wird dort weiterhin Schwierigkeiten haben, sich bis 2020 zu behaupten /DIW 1993/. Allerdings wird für die Periode 2005-2020 davon ausgegangen, daß die ostdeutsche Investitionsgüterindustrie von der ökonomischen Entwicklung in Osteuropa und Rußland mehr profitiert als die westdeutsche.

- Verbrauchsgütergewerbe

Für die Wachstumsaussichten der ostdeutschen Wirtschaft wird allgemein angenommen, daß die Produkte mit regionalen Absatzmärkten sich am besten entwickeln werden. Die Produktion von Glas wird dadurch stark zunehmen. Auch die Kunststoffverarbeitende Industrie, die zunächst durch die Baukonjunktur gestützt wird, hat relativ positive Aussichten, wohingegen die Textil- und die Lederwaren-Industrie z. Zt. drastische Einbrüche erleben, von denen sie sich voraussichtlich nur in Teilmärkten erholen werden.

- Nahrungs- und Genußmittelgewerbe

Nach einer anfänglichen Bevorzugung von Westprodukten werden wieder mehr ostdeutsche Produkte abgesetzt. Zusammen mit dem Trend zu höherwertigen Qualitäten wächst dadurch das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe in Ostdeutschland stärker als in Westdeutschland. Ein langfristig anhaltendes Wachstum wird davon abhängen, inwieweit sich ostdeutsche Marken bei westdeutschen und osteuropäischen Konsumenten durchsetzen werden. Von dem allgemeinen Wachstumstrend unberührt, wird die Zuckerproduktion auf dem Niveau von 1991 mit etwa 900.000 t/jato stagnieren, weil durch die agrarpolitischen Regulierungen hier Markteinflüsse kaum eine Rolle spielen.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die **Angaben für Produktion und Strukturwandel der ostdeutschen Industrie hoch spekulativ** sind und die Werte der Referenzentwicklung in kürzeren Abständen wegen der offenen Entscheidungen in den Großunternehmen überprüft werden sollten. Es ist nicht auszuschließen, daß sich binnen Jahresfrist ein erhöhter Korrekturbedarf infolge eingetretener Aufgaben von Produktionsstätten oder neuer Investitionspläne ergibt. Äußere Einflüsse wie z. B. Entscheidungen der EG-Kommission, Produktionsentscheidungen und Außenhandelsstrategien der osteuropäischen Länder sowie die Entwicklung der Weltwirtschaft, insbesondere der osteuropäischen Staaten und der russischen Föderation, können mittelfristig ebenfalls von erheblicher Bedeutung sein.

Bis 2005 dürften die meisten verbleibenden ostdeutschen Unternehmen das technische Produktionsniveau der alten Bundesländer erreicht haben, wobei durch die getätigten Investitionen zum Teil modernere und wettbewerbsfähigere Anlagen als in Westdeutschland im Einsatz sein werden. Aus diesem Grund und infolge der aufnahmefähigen Märkte in Osteuropa zwischen 2005 und 2020 wurde unterstellt, daß sich der Strukturwandel in den alten und neuen Bundesländern angleicht, aber die ostdeutsche Industrie mit durchschnittlich 3,5 %/a auch in der zweiten Periode noch doppelt so schnell ihre Nettoproduktion erhöhen kann wie die westdeutsche Industrie. Alle energiebedarfsbestimmenden Größen werden in den Jahren 1996/97 einer Revision unterzogen.

6 Energieeffizienzpotentiale für die Jahre 2005 und 2020

Im folgenden werden in einer komprimierten Form die Ergebnisse der technologischen Analysen zu den Energieeffizienzpotentialen und ihren Kosten vorgestellt. Die ausführlichen Darstellungen dieser Ergebnisse befinden sich einmal in den Berichten für die Grundstoffindustrie /Bradke u.a., 1995/, für die Investitions-, Konsumgüter- und Nahrungs- und Genußmittelindustrie /FfE, 1996 und GEU, 1996/ sowie in der IKARUS-Datenbank, in der auch kurze Kommentare oder Literaturhinweise zu einzelnen Daten gegeben werden.

In den Unterschieden der spezifischen Energieverbräuche für die einzelnen Stichjahre kommen jeweils die Energieeffizienzpotentiale zum Ausdruck. Da in vielen Fällen, insbesondere bei spezifischen Energieverbräuchen für Branchen, in den zeitlichen Veränderungen der Werte auch strukturelle Veränderungen zu meist weniger energieintensiven Produkten mitenthalten sind, wurden die Energieeffizienzverbesserungen, die ohne besondere energiepolitische Maßnahmen erreicht werden, und die strukturellen Veränderungen zu weniger energieintensiven Produkten in einer Branche zu einer „**Standard-Entwicklung**“ des spezifischen Energiebedarfs zusammengefaßt, wie dies in der Vergangenheit bei vergleichbaren Daten gemacht wurde (vgl. z. B. /Prognos, 1991/). Der **intra-industrielle Strukturwandel**, d.h. beispielsweise die Veränderung des Anteils der Nettoproduktion für Zement an derjenigen der gesamten Steine und Erden-Industrie, wird hier als „autonom“ betrachtet, d.h., er ist unabhängig von energie- und klimapolitischen Entwicklungen angenommen. Dies ist zweifellos eine gewisse Vereinfachung, da größere politische Anstrengungen (z. B. auch im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft) den Trend zu weniger energieintensiven Produktionen in einigen Branchen intensivieren würden. Insofern sind die Angaben zu den spezifischen Energieverbräuchen in den **Varianten „Spar“ und „Super Spar“**, die nur die zusätzlichen technischen Effizienzverbesserungen angeben, eher zu hoch. Da aber der politikinduzierte intra-industrielle Strukturwandel schwer und nur mit großen Unsicherheiten abschätzbar wäre, wurde hierauf im Rahmen der IKARUS-Datenerstellung verzichtet. Dies hat auch den Vorteil, daß die zusätzlichen technischen Verbesserungen der "Spar"- und "Super Spar"-Varianten sich nicht mit den strukturellen Veränderungen überlagern.

Da die Energieverbrauchsschwerpunkte der Industrie im wesentlichen in der Grundstoffindustrie liegen (vgl. Kapitel 4) und die technologische Vielfalt in den anderen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes auch deren Beschreibung erschwert, liegt das Hauptgewicht der Analyse zu den Energieeffizienzpotentialen in den Branchen der Grundstoffindustrie (vgl. Kap. 6.1), die heute zwei Drittel des Energiebedarfs der Industrie für ihre Produktion benötigt (vgl. Tabelle 1-1). In den übrigen Sektoren wurde verstärkt versucht, Energieeinsparpotentiale von Querschnittstechnologien wie z. B. Wärmeerzeugung, Raumwärmenutzung, Kraft/Licht/EDV zu

identifizieren, weil diese in übrigen Sektoren auch eine größere relative Bedeutung am Energiebedarf haben.

Während der Projektlaufzeit liefen viele Aktivitäten wie Datensammlung, Konzeption und Programmierung von Datenbank und Teilmodell, Bereitstellung von Eingangsdaten für das LP-Modell, Generierung der Nachfragevektoren zeitlich parallel. Insbesondere die Technik- und Kostendaten sowie Nachfragegrößen (produzierte Menge in physikalischen oder monetären Einheiten) unterlagen einer **ständigen Aktualisierung**, welche auch für die kommenden Jahre vorgesehen ist. Dies hatte zur Folge, daß **zwischen den Daten** in diesem Bericht, in den Detailberichten, in der Datenbank und im Optimierungsmodell **zuweilen differierende Angaben** enthalten sein können, die ihre Begründung in dem zum jeweiligen Zeitpunkt aktuellen Wissensstand hat. Dies schien uns gegenüber einem konstanten oder veralteten Datensatz das kleinere Übel. Ohnehin wird nach Auslieferung des gesamten Instrumentariums der Nutzer in der Lage sein, sich mit Hilfe von Datenbank, Teilmodell und Optimierungsmodell seine eigenen Datensätze aufzubauen bzw. einzelne Daten selbst zu aktualisieren.

Für die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung konnten lediglich jene Energieeffizienzmaßnahmen berücksichtigt werden, für welche aus der Literatur oder über Expertenbefragungen die **notwendigen Daten verfügbar** waren. Dies bedeutet, daß sowohl vielversprechende, sich noch in Entwicklung befindliche Technologien (wie z. B. das Corex-Verfahren zur Roheisenerzeugung oder das Impulsverfahren zur Papiertrocknung), als auch im Laufe des Prognosezeitraums stattfindende Erfindungen, die schnell zur Anwendung kommen, aus den Projektionsläufen ausgeschlossen bleiben. Dies hat zur Folge, daß das **Innovationspotential**, und damit auch des Energieeffizienzpotential in der Industrie, systematisch **unterschätzt wird**.

6.1 Grundstoffindustrie

Als wichtigste Sektoren der Grundstoffindustrie werden im folgenden die Eisenschaffende, NE-Metall-, die Steine- und Erden-Industrie, die Chemische Industrie sowie die Zellstoff- und Papierindustrie behandelt. Für die bedeutendsten Prozesse dieser Sektoren wird zunächst die mögliche Senkung des *spezifischen* Energieeinsatzes bis zum Jahr 2005 und 2020 in den drei Varianten Standard (1), Spar (2) und Super-Spar (3) erläutert. Diese drei Varianten unterscheiden sich im wesentlichen durch unterschiedliche Anwendungsgrade (Durchdringungen) der zur Verfügung stehenden Einspartechniken. Diese Analysen ermöglichen es dann, auf Basis der prognostizierten Produktionsmengen den Energiebedarf in *absoluten* Einheiten für die Zukunftsjahre zu quantifizieren (z. B. in PJ).

Für genauere Informationen zu den einzelnen Grundstoffen und ihren Herstellverfahren (Produktionsstruktur, Produkte und Koppelprodukte, Prozeßbeschreibungen, heutiger Energieeinsatz, Energieeinspartechniken, Investitionskosten sowie langfristige Produktionsaussichten) wird auf die im Rahmen von IKARUS angefertigten Detailberichte verwiesen /IKARUS, Teilproj. Industrie 1995/, /Obst, Petrick 1996/, /FfE, 1996/.

6.1.1 *Eisenschaffende Industrie*

Im Rahmen der Untersuchungen zur Eisenschaffenden Industrie wurde eine Detailanalyse für die Produktionsstufen Sinterherstellung, Roheisenerzeugung (Hochofenbetriebe), Oxygenstahlproduktion (nach dem LD- und OBM-Verfahren), Produktion von Elektrolichtbogenstahl und Herstellung von Walzstahlerzeugnissen durchgeführt. Alle übrigen Aktivitäten der Eisenschaffenden Industrie werden in Form eines aggregierten Restsektors behandelt. Dieser untergliedert sich zum einen in produzierende Subsektoren wie etwa die Schmiede-, Press- und Hammerwerke und zum anderen in Nebenanlagen, allen voran die Erzeugung von Prozeßdampf.

Nachfolgend werden für die genannten Erzeugnisse die durch Einsatz von Einspartechniken bzw. durch Prozeßsubstitution möglichen Energieeffizienzpotentiale erläutert, um anschließend durch Aggregation dieser Einzeldaten zu Gesamtaussagen für die gesamte Branche zu gelangen. Bei den Angaben zum Brennstoffbedarf in diesem Kapitel handelt es sich lediglich um den Direkteinsatz von Brennstoffen, also inklusive des Endenergiebedarfs für die Dampferzeugung. Aus diesem Grund werden die **Techniken zur Wärmerückgewinnung** nicht als Maßnahmen behandelt, die den Brennstoffbedarf des betrachteten Prozesses reduzieren, sondern als Maßnahmen, die vielmehr indirekt über den geringeren Bedarf an Frischdampf die **Energieintensität der Nebenanlagen**, und damit des Restsektors¹, **vermindern**. Der Energiebedarf der Hüttenkokereien wird im Umwandlungssektor behandelt (vgl. /Fahl, Herrmann, Voss, 1995/).

¹Rückgewinnbare Energiebeträge werden nicht in dem jeweiligen Produktionsprozeß behandelt, sondern werden im Bereich „Dampf für Sinteranlagen, Hochöfen, Oxygenstahlwerke, Walzwerke, sonstige Betriebe“ berücksichtigt. Hier substituiert der durch Abhitzenutzung zurückgewonnene Sekundärdampf energieintensiv herzustellenden Frischdampf. Die auf diese Weise prognostizierte Entwicklung der Dampfwirtschaft wird wiederum zur Abschätzung des Energiebedarfs der Restlichen Eisenschaffenden Industrie genutzt.

6.1.1.1 Sinter

Auf dem Gebiet der alten Bundesrepublik wurden 1989 in insgesamt 14 Sinteranlagen knapp 30 Mio. t Sinter produziert (Ostdeutschland: gut 3 Mio. t). Diese lieferten den Anteil des thermisch aufbereiteten Erzsinters, der 1989 bei knapp 60 % des gesamten Erzeinsatzes in den Hochöfen lag. Zur Abschätzung der zukünftigen Sinterproduktion wurde vereinfachend angenommen, daß dieser Anteil bis zum Jahr 2020 nahezu unverändert bleibt, wobei die Absolutmenge an produziertem Sinter aufgrund der prognostizierten, stark rückläufigen Roheisenproduktion (s. u.) deutlich abnimmt.

Maßnahmen zur Senkung des Energieeinsatzes sind die Vorwärmung der Brennluft und der Einsatzstoffe mittels Abwärme aus dem Sinterkühler sowie der Einsatz optimierter Einsatzmischungen, Beschickungs- und Zündtechniken². Darüber hinaus besteht im Prinzip die Möglichkeit, am Sinterkühler zusätzlich Wärme auszukoppeln.

In ihrer Gesamtheit ermöglichen diese Maßnahmen die Reduzierung des spezifischen Brennstoffeinsatzes (ohne Prozeßdampf und ohne Brennstoffeinsatz für dessen Erzeugung, s. o.) von knapp 1,6 GJ/t in den alten Bundesländern (1989) und etwa 2,5 GJ/t in den neuen Ländern auf minimal³ 1,3 GJ/t. Der Strombedarf in Höhe von gut 0,1 GJ/t läßt sich durch diese Technologien nur unwesentlich senken. Die genannten Werte sind als rein technische Potentiale bis zum Jahr 2020 nach dem heutigen Stand der Technik zu verstehen. Sie zeigen, daß die Einsparmöglichkeiten für Anlagen in Westdeutschland bis auf knapp 20 % weitgehend erschöpft sind; auf der anderen Seite können diese Maßnahmen in Ostdeutschland wegen der seit 1990 stark zurückgegangenen Sinterproduktion in Zukunft keine nennenswerte Wirkung zeigen. Insgesamt ist demnach das bei der Sinterproduktion vorliegende Energieeffizienzpotential als begrenzt einzuschätzen.

6.1.1.2 Roheisen (Hochofenbetriebe)

In Westdeutschland wurden 1989 in 32 Hochöfen knapp 33 Mio. t Roheisen erzeugt, in Ostdeutschland lag die produzierte Menge 1988 bei knapp 3 Mio. t. Diese Werte werden sich

²Das Maßnahmenpaket zu optimierten Einsatzmischungen, Beschickungs- und Zündtechniken im einzelnen:

1.) Vergleichmäßigung der Einsatzstoffe auf Mischbetten 2.) Einsatz von Branntkalk 3.) gleichmäßige und lockere Beschickung der Sintermaschine 4.) größere Bett-Tiefen 5.) Absenken der FeO-Gehalte des Sinters 6.) Verwendung von Olivin statt Dolomit 7.) Absenken der Kieselsäure 8.) verbesserte Zündung

³Unter minimalem Energieeinsatz (bzw. maximaler Einsparung) wird hier und im folgenden der dem Szenario Super-Spar (3) entsprechende Energiebedarf verstanden.

den Aussagen von Fachleuten zufolge für Westdeutschland auf 20 bzw. 15 Mio. t im Jahr 2005 bzw. 2020 reduzieren. Für Ostdeutschland wird davon ausgegangen, daß die Stilllegung der Hochofenanlagen bis auf 1 Mio. t pro Jahr endgültig ist und in Zukunft keine zusätzlichen Kapazitäten entstehen.

Die nach dem Stand der Technik verfügbaren Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfes des Hochofenprozesses sind die weiter **verbesserte Nutzung der Abgaswärme** der Winderhitzer zur **Brennmedienvorwärmung**, die **Brenneroptimierung** hinsichtlich eines vollständigen CO-Ausbrandes und die weitere Senkung des Reduktionsmittelbedarfes durch modernste Ofentechnologie. Ferner bieten **Hochofengasentspannungsturbinen** die Möglichkeit, in Gegendruckhochöfen die Druckenergie des Gichtgases in elektrische Energie umzuwandeln. Berücksichtigt man, daß diese Einspartechiken 1989 zum Teil bereits realisiert waren, so errechnet sich ein Restpotential von Einsparungen in Höhe von gut 0,1 GJ/t Roheisen.

Durch die Technologie des **Kohleeinblasens** konnte der Koksbedarf bereits deutlich reduziert werden. Da durch das Einblasen von 1 kg Kohle in etwa 0,8 kg Koks eingespart wird, ist der Einfluß der Kohleeinblasteknik auf den (End-)Energiebedarf des Hochofens relativ gering. Dennoch hat das Einblasen von Kohle auf den integralen Energiebedarf der Roheisenerzeugung einen verbrauchsmindernden Einfluß, da die Umwandlung von Kohle zu Koks mit Umwandlungsverlusten behaftet ist. Eine detaillierte Analyse der Auswirkungen der Kohleeinblasteknik auf den Gesamtenergiebedarf und die Klimagasemissionen der Roheisenproduktion unter Einschluß der dafür erforderlichen Kokserzeugung wird erst durch Kombination der Modellteile für die Industrie (TP 6) und den Umwandlungssektor (TP 4) möglich sein. Ersten Abschätzungen zufolge reduziert eine Erhöhung der Kohleeinblasrate auf 200 kg/t Roheisen den Energiebedarf des Systems Kokerei-Sinterherstellung-Hochofen um 0,9 GJ/t Roheisen /IKARUS-Detailbericht, 1996/.

Noch nicht genauer analysiert ist das seit 1995 praktizierte **Kunststoffeinblasen** von granulierten Kunststoffabfällen als Ersatz fossiler Brennstoffe. Während das technische Verwertungspotential im Hochofen sehr groß ist, dürften aus dem Gesichtspunkt des stofflichen Kunststoff-Recycling beschränkte Mengen in den Hochofen gelangen, deren Höhe durch Expertengespräche noch abgeschätzt werden muß.

Eine Zukunftstechnologie zur Wärmerückgewinnung bei der Roheisenerzeugung stellt die Nutzung der Enthalpie der Hochofenschlacke dar. Das holländische Icarus-Team schätzt bei 200 kg/t Roheisen eine 15 %ige bis 16 %ige Verminderung des Energiebedarfs bei der Kokserzeugung /de Beer et al. 1994/. Ferner böten Erfolge bei der Entwicklung **neuer**

Feuerfestmaterialien mit höherer Temperaturbeständigkeit weitere Einsparmöglichkeiten durch Reduzierung der Abstrahl- und Kühlverluste. Für diese Zukunftstechnologien wurden sehr vorsichtige Annahmen hinsichtlich der Anwendung in den Prognosejahren getroffen, so daß ihr Einfluß auf die Prognosewerte gering ist.

Insgesamt ermöglichen diese Einsparmaßnahmen die Reduzierung des spezifischen Brennstoffbedarfes (ohne Dampf und ohne Brennstoffe für dessen Erzeugung, s. o.) von 11,8 GJ/t Roheisen (Westdeutschland, 1989) auf 11,7 GJ/t bis 2005 (-1 %) und min. 11,5 GJ/t bis 2020 (-2,5 %). Je nach substituierter Kohlenmenge durch Einblasen von Abfallkunststoffgranulaten erniedrigt sich der Brennstoffeinsatz weiterhin etwas. Bei Strom kann der Verbrauch von 0,29 GJ/t auf minimal 0,26 GJ/t bis 2005 (-12 %) bzw. 0,24 GJ/t bis 2020 (-18 %) gesenkt werden. An diesem Beispiel erhebt sich auch die Frage, ob und zu welchen Anteilen die **CO₂-Emissionen aus Abfallstoffen des ursprünglich nicht-energetischen Verbrauchs** in den Analysen mitbetrachtet werden sollte.

Bei allen Angaben zum Energiebedarf handelt es sich um Nettowerte. Für die Brennstoffe errechnet sich der Nettobedarf aus dem Gesamtenergieinput abzüglich des energetischen Outputs in Form von Gichtgas; bei Strom gibt der Nettowert den um die Eigenerzeugung in Gichtgasturbinen bereinigten Wert an.

6.1.1.3 Direktreduktion und Schmelzreduktion

Bei der **Direktreduktion** und der **Schmelzreduktion** handelt es sich um Prozesse, die in der heutigen Produktionsstruktur der Eisenschaffenden Industrie eine geringe bzw. keine Bedeutung haben. Wenngleich die Perspektive dieser Verfahren von Experten unterschiedlich eingeschätzt wird, so besteht dennoch Einigkeit darüber, daß die überragende Bedeutung des Hochofens für die Roheisenerzeugung bis zum Jahr 2020 erhalten bleiben wird. Ein Vergleich der kumulierten Energieaufwendungen der Stahlerzeugung über die alternativen Erzeugungsrouten zeigt, daß die Herstellung von Stahl über die Hochofenroute nach dem heutigen Stand der Technik energetisch günstiger ist als auf Basis der Direktreduktion oder der Schmelzreduktion. Da es fraglich ist, ob sich dies im betrachteten Zeitraum ändern wird, wurden die Direkt- und Schmelzreduktion nicht in die Wahlmöglichkeiten des Optimierungsmodells einbezogen. Damit wird implizit angenommen, daß Direkt- und Schmelzreduktion - sollten sie doch zum Einsatz kommen - in ihrem spezifischen Energiebedarf der konventionellen Erzeugungsrouten entsprechen werden.

6.1.1.4 *Oxygenstahl (LD- und OBM-Stahl)*

In Westdeutschland wurden 1989 etwa 34 Mio. t Oxygenstahl nach dem Sauerstoffblasverfahren aus Roheisen erzeugt, in Ostdeutschland waren es gut 2 Mio. t. Für die Zukunft wird angenommen, daß die Produktionsmengen in West- bzw. Ostdeutschland im Jahr 2005 bei 21 bzw. 1,0 Mio. t und im Jahr 2020 bei 14 Mio. t in Westdeutschland liegen werden, und die Produktion nach diesem Verfahren in der ostdeutschen Stahlindustrie bei gut 1 Mio. t liegen könnte.

Die bedeutendste Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs besteht in der vollständigen **Rückgewinnung** und Nutzung des Koppelprodukts **Konvertergas**, die 1989 in Westdeutschland erst zu 60 % realisiert war; dies entspricht einem Einsparpotential von knapp 0,3 GJ/t. Wie auch beim Hochofenprozeß wurde die **Wärmerückgewinnung** aus der (Oxy-gen-) **Stahlwerksschlacke** als Zukunftstechnologie für die Zeit nach 2005 klassifiziert, da verfahrenstechnische und qualitative Gründe derzeit und in absehbarer Zukunft die Umsetzung verhindern. Ein weiteres, bisher noch nicht genutztes Potential zur Wärmerückgewinnung ist die Nutzung der Restenthalpie des Konvertergases nach der Auskoppelung der Abwärme für die Dampferzeugung, welche bereits 1989 die gängige Praxis darstellte. Für die genannten Zukunftstechnologien wurden wiederum sehr vorsichtige Annahmen hinsichtlich der Anwendung in den Prognosejahren getroffen.

In summa ermöglichen diese Maßnahmen die **Reduzierung des spezifischen Brennstoffbedarfes** (ohne Dampf und ohne Brennstoffe für dessen Erzeugung, s. o.) um **maximal 0,14 GJ/t Oxygenstahl bis 2005** und um **max. knapp 0,3 GJ/t bis 2020** (gegenüber Westdeutschland, 1989). Einsparmaßnahmen zur Senkung des Stromverbrauchs sind nicht bekannt und wurden als gering eingeschätzt.

6.1.1.5 *Elektrolichtbogenstahl*

In Westdeutschland wurden 1989 7,4 Mio. t Elektrolichtbogenstahl aus Stahlschrott erzeugt, in Ostdeutschland waren es etwa 2,8 Mio. t. Prognostiziert wird, daß die Produktionsmengen in West- bzw. Ostdeutschland im Jahr 2005 bei 10 bzw. 2,5 Mio. t und für 2020 bei 14 Mio. t bzw. 3 Mio. t liegen werden. Damit wird ein bedeutender Wandel in der Stahlerzeugungsstruktur hin zu höheren Produktionsanteilen von Elektro-Stahl infolge des weiter zunehmenden Stahlschrott-Recyclings erwartet, der auch durch die Entwicklung zwischen 1989 und 1995 bestätigt wird.

Wichtigster Einsatzstoff der Elektrostahlerzeugung ist Stahlschrott: so wurden in Westdeutschland im Jahr 1989 pro Tonne Elektro-Stahl durchschnittlich 970 kg Schrott sowie 180 kg Roheisen und sonstige metallische Einsatzstoffe eingesetzt, während der Anteil der Elektro-Stahlerzeugung aus Eisenschwamm nur geringe Bedeutung hatte.

Die nach dem Stand der Technik verfügbaren Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs des Elektrolichtbogenverfahrens sind die **Pfannenofentechnologie** (Verringerung der Abstichttemperatur und Leistungssteigerung durch sekundärmetallurgische Nachbehandlung außerhalb des Elektroofens), die Verringerung der Abstichttemperatur durch moderne Abstichttechnik (exzentrischer Bodenabstich), das Bodenrühren mit Inertgasen, der Einsatz fossiler Brennstoffe zur Substitution elektrischer Energie und der forcierte Sauerstoffeinsatz. Das durch dieses **Maßnahmenpaket** realisierbare Einsparpotential liegt bei etwa 0,4 GJ Strom pro Tonne Stahl. Der Gleichstrombetrieb anstelle der Wechselstromfahrweise ermöglicht neben anderen Operationsvorteilen die Reduzierung des Elektrodenverbrauchs von 3,5 kg auf 1,7 kg je Tonne Elektro Stahl. Ferner kann durch das sogenannte Heißkühlsystem Abwärme als wertvoller Prozeßdampf genutzt werden: pro Tonne Elektro-Stahl können etwa 0,1 GJ Wärme als Sattedampf bei etwa 200°C zurückgewonnen werden.

Die Wärmerückgewinnung aus der (Elektro-)Stahlwerksschlacke wurde wie auch beim Oxygenstahl- und dem Hochofenprozeß als Zukunftstechnologie nach 2005 klassifiziert. Damit wurden für die Anwendung dieser Technologien im Prognosezeitraum sehr konservative Schätzungen zugrunde gelegt. Dies gilt auch für die **Vorwärmung des Schrotteinsatzes** mit den Ofenabgasen, die neben der Rückgewinnung einer nutzbaren Wärme in Höhe von 0,15 GJ pro Tonne Stahl die Einsparung des Elektrodenbedarfes um 0,4 kg/t ermöglicht. Technische Probleme wie die Entzündung von brennbaren Bestandteilen im Schrott sowie Emissionsprobleme aufgrund des Verschwelens organischer Bestandteile führten dazu, daß die Versuche, die **Schrottvorwärmung** großtechnisch zu realisieren, vorerst eingestellt wurden. /IKARUS-Detailbericht, 1996/.

Insgesamt ermöglichen diese Maßnahmen die Reduzierung des spezifischen Strombedarfes von knapp 2,0 GJ/t Elektro-Stahl (Westdeutschland, 1989) auf minimal 1,6 GJ/t bis 2005 (-20 %) und unter 1,5 GJ/t bis 2020 (-26 %). Durch Substitution elektrischer Energie steigt der Brennstoffverbrauch (ohne Dampf und ohne Brennstoffe für dessen Erzeugung, s. o.) von 1,1 GJ/t (Westdeutschland 1989) auf etwa 1,3 GJ/t im Jahr 2005 und nimmt bis 2020 durch die Technologien der Schrottvorwärmung und der Gleichstromtechnik auf rund 1,0 GJ/t (2020) wieder ab. Dabei wurde unter dem Brennstoffbedarf der Einsatz für Unterfeuerungs zwecke sowie der Verbrauch an Elektroden subsumiert, da auch deren Abbrand zu unmittelbar anfallenden CO₂-Emissionen führt.

6.1.1.6 Siemens-Martin-Stahl

Die Stahlerzeugung nach dem Siemens-Martin-Verfahren (SM) wird in Westdeutschland bereits seit 1982 nicht mehr angewandt, und seit 1993 gilt dies auch für Ostdeutschland. Da das SM-Verfahren im Vergleich zu den anderen Technologien der Stahlerzeugung auf Schrottbasis energieintensiv ist, bedeutet dessen Substitution durch das Elektroverfahren einen Wandel zu effizienteren Produktionsstrukturen.

6.1.1.7 Warmwalz- und Blech-Kaltwalzbetriebe

Die produzierte Menge an Walzstahlerzeugnissen lag 1989 in Westdeutschland bei 31,7 Mio. t und in Ostdeutschland 1988 bei 5,5 Mio. t. Gemäß der IKARUS-Prognose werden die Produktionsmengen im Jahr 2005 bei gut 26 Mio. t für Westdeutschland bzw. rund 3 Mio. t für Ostdeutschland liegen; für 2020 wird die Produktion in Gesamtdeutschland mit ca. 28 Mio. t angenommen.

Die mit Abstand wichtigste, nach dem Stand der Technik verfügbare Maßnahme zur Reduzierung des Energiebedarfes der Walzbetriebe ist der **Direkteinsatz von Dünnbrammen**, der auf 68 % der Warmbreitbandproduktion Westdeutschlands anwendbar ist (1989: knapp 23 Mio. t). Diese Technologie vermindert selbst unter Berücksichtigung des heute bereits realisierten Wärmeinsatzes den Gesamtbrennstoffbedarf der Walzbetriebe von 1,35 GJ/t Walzstahl um rund 0,85 GJ/t (durch Vermeidung der Wiederaufheizung des Stahls beim Walzprozeß).

Bei der Produktion von Walzstahlerzeugnissen ausgehend von Vorbrammen, bei der diese Technologie des Direkteinsatzes nicht angewandt werden kann, besteht die Möglichkeit des **Wärmeinsatzes**, die den Brennstoffbedarf um 0,5 GJ/t vermindert. In den Bereichen, in welchen der Direkteinsatz nicht verwirklicht werden kann, läßt sich der Anwendungsgrad des Wärmeinsatzes weiter steigern.

Zur energetischen **Optimierung der Walzwerksöfen** können konstruktive und betriebstechnische Maßnahmen ergriffen werden. Maßnahmen, welche die Ofenkonstruktion betreffen, sind der Ersatz von Strahlungs- durch Konvektivrekuperatoren, die Verlängerung des Wärmofens, Schienenversatz, adiabate Hilfsheizwände, gasdurchströmte Ofenwände, Hochemissionscoatings, die Isolierung mit keramischen Faserdämmstoffen sowie die Vorwärmung der Brammen mit heißen Ofenabgasen. Zu den betriebstechnischen Maßnahmen gehören die weiter **optimierte Logistik**, welche zur Reduzierung der Abstrahlverluste führt

sowie die verbesserte Steuerung des Verbrennungsprozesses, z. B. durch automatische Sauerstoffregelung. Insgesamt kann der Brennstoffbedarf mittels dieses Maßnahmenbündels um maximal knapp 0,2 GJ pro Tonne Walzstahlerzeugnisse gesenkt werden.

Eine Technologie, die nur für hochlegierte Edelstähle Bedeutung hat, ist das **Horizontalstranggießen**; diese Technologie reduziert aufgrund geringerer Abstrahlverluste und höherer Ausbringraten sowohl den Brennstoff- als auch den Strombedarf. Dies gilt auch für das **Dünnbandgießen**, welches bei erfolgreicher Entwicklung den Warmbandwalzprozeß vollständig ersetzen wird. Für diese Zukunftstechnologie wurden aufgrund ungewisser Entwicklungsperspektiven vorsichtige Annahmen hinsichtlich der möglichen Anwendung in den Jahren 2005 und 2020 getroffen.

Zu den Möglichkeiten der **Wärmerückgewinnung** für die Erzeugung von Prozeßdampf und/oder Fernwärme im Walzwerksbereich gehören der Brammenkühlkessel, der Strahlungstunnel für Breitbandcoils und die Nutzung der Abgaswärme von Haubenglühöfen. Durch Bereitstellung von Abhitzedampf reduzieren diese Maßnahmen den Bedarf an Frischdampf.

Insgesamt ermöglichen diese Einsparmaßnahmen die Reduzierung des spezifischen Brennstoffbedarfes (ohne Dampf und ohne Brennstoffe für dessen Erzeugung, s. Kap. 3.1) von 2,8 GJ/t Walzstahl (Westdeutschland, 1989) auf minimal 1,9 GJ/t bis 2005 (-32 %) und min. 1,6 GJ/t bis 2020 (-43 %). Der spezifische Strombedarf bleibt im Prognosezeitraum praktisch unverändert bei rund 0,6 GJ, da die Effizienzpotentiale hier als sehr gering eingeschätzt werden.

6.1.1.8 Restliche Eisenschaffende Industrie

In diesem Restsektor werden alle Aktivitäten der Eisenschaffenden Industrie zusammengefaßt, die nicht direkt der Sinter-, Roheisen-, Elektro Stahl- und Walzstahlerzeugung zuzuordnen sind. Ein wesentliches Element dieses Restglieders ist die **Dampferzeugung**. Für diese wird die durch Technologien der Abhitzeauskoppelung mögliche Substitution von Frischdampf durch Sekundärdampf bis 2020 in drei Szenarien modelliert sowie die damit einhergehende Abnahme des Brennstoffbedarfes in der Dampfwirtschaft⁴. Das Ergebnis dieser Berechnungen fließt dann in die Betrachtung des gesamten Restsektors ein, in welchem außerdem die Oxygenstahlerzeugung und alle restlichen Betriebe der Eisenschaffenden Industrie zusammengefaßt sind.

⁴Die hier beschriebenen Maßnahmen beschränken sich also auf die Wärmerückgewinnung.

6.1.1.9 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse zu Gesamtaussagen für die Eisenschaffende Industrie

Die Tabellen 6.1.1-1 bis 6.1.1-3 zeigen die angenommene Entwicklung von Produktion und Energiebedarf der einzelnen Subsektoren der Eisenschaffenden Industrie und des Sektors in seiner Gesamtheit. Danach nimmt der auf eine Tonne Walzstahl bezogene Brennstoffbedarf der gesamten Branche in Westdeutschland von 18 GJ/t im Jahr 1989 auf minimal⁵ knapp 14,7 GJ/t im Jahr 2005 ab (-18 %) und kann für Gesamtdeutschland bis 2020 auf minimal 12,3 GJ/t weiter reduziert werden (-32 % gegenüber Gesamtdeutschland, 1989⁶). Der Strombedarf der Branche in Westdeutschland sinkt zunächst von 2,2 GJ pro Tonne Walzstahl im Jahr 1989 auf minimal 2,0 GJ/t im Jahr 2005 (-10 %) und steigt dann für Gesamtdeutschland bis 2020 wieder auf mindestens 2,2 GJ/t an (-6 % gegenüber Gesamtdeutschland 1989).

Diese Angaben hängen jeweils von der Verfahrensstruktur der Roheisen- und Stahlherstellung ab und sind deshalb Änderungen bei veränderten Annahmen zur Produktstrukturentwicklung on Oxygen- und Elektrostahl unterworfen.

Bei primärenergetischer Bewertung der elektrischen Energie mit einem Stromerzeugungswirkungsgrad von 35 % nimmt der auf eine Tonne Walzstahl bezogene Primärenergiebedarf der gesamten Branche in Westdeutschland bei der angenommenen Produktstruktur von knapp 25,5 GJ/t im Jahr 1989 auf minimal 20,5 GJ/t im Jahr 2005 ab (-20 %) und vermindert sich für Gesamtdeutschland bis 2020 auf minimal 18,5 GJ/t (-27,5 % gegenüber Gesamtdeutschland, 1989). Faktisch wird sich der spezifische Primärenergiebedarf wegen der zu erwartenden Effizienzsteigerungen in der Stromerzeugung noch weiter vermindern.

⁵Unter minimalem Energieeinsatz (bzw. maximaler Einsparung) wird hier und im folgenden der dem Szenario Super-Spar (3) entsprechende Energiebedarf verstanden.

⁶bezogen auf die Summe des Energiebedarfes in West- und Ostdeutschland im Jahr 1989

Produkt/Prozeß	ABL 1989	ABL 1989		ABL 2005**)	ABL 2005-1**)		ABL 2005-2**)		ABL 2005-3**)	
	Prod. (Mio. t)	Brennst.	Strom	Prod. (Mio. t)	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom
Sinterherstellung (Mio.t Sinter bzw. PJ Energie)	29,789	46,7	3,6	18,177	24,7	2,0	24,2	2,0	24,0	1,9
Hochofenbetriebe (Mio. t Rohelsen bzw. PJ Energie)	32,777	385,9	9,6	20,000	234,2	5,5	234,2	5,4	233,0	5,2
Elektrolichtbogenstahl (Mio. t E-Stahl bzw. PJ Energie)	7,400	7,9	14,7	10,000	12,9	16,6	13,0	16,2	12,9	16,0
Warmwalz- und Blech-Kaltwalzbetriebe (Mio. t Walzstahl bzw. PJ Energie)	31,702	87,6	19,7	26,300	56,8	16,1	51,2	16,0	49,0	16,0
Restliche Eisenschaffende Industrie (PJ Energie)	-	41,1	21,9	-	77,4	14,4	71,4	13,9	68,3	13,1
Summe Eisenschaffende Industrie (Werte in PJ)		569,3	69,5		406,0	54,7	394,0	53,4	387,2	52,1
1989 = 100%		100%	100%		71%	79%	69%	77%	68%	75%
Mittlerer spez. Energieeinsatz der ges. Branche, bezogen auf 1 t Walzstahl - Brennstoffe und Strom (GJ/t Walzstahl)		17,96	2,19		15,44	2,08	14,98	2,03	14,72	1,98
1989 = 100%		100%	100%		86%	95%	83%	93%	82%	90%
- primärenerget. Bewertung des elektr. Stromes* (GJ/t Walzstahl)			24,22			21,38		20,78		20,39
1989 = 100%			100%			88%		86%		84%

*) angenommener Wirkungsgrad für Stromerzeugung: $\eta_{el} = 0,35$

**) Für 2005 und 2020 wurden die Prozentzahlen des Dampfanteils von 1989 ABL zugrunde gelegt. Für die NBL kann dies deswegen angenommen werden, weil sich der Bestand der Anlagen weitgehend dem Westniveau angepaßt haben dürfte.

Tab. 6.1.1-1: Produktion und Endenergiebedarf der Eisenschaffenden Industrie nach Brennstoff- und Strombedarf, Westdeutschland 1989 und 2005
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Produkt/Prozeß	NBL 1989			NBL 2005**)			NBL 2005-1**)		NBL 2005-2**)		NBL 2005-3**)	
	Prod. (Mio. t)	Brennst.	Strom	Prod. (Mio. t)	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom
Sinterherstellung (Mio. t Sinter bzw. PJ Energie)	3,284	8,3	0,3	1,272	2,0	0,1	2,0	0,1	2,0	0,1	2,0	0,1
Hochofenbetriebe (Mio. t Roh Eisen bzw. PJ Energie)	2,786	37,8	1,0	1,400	17,0	0,4	17,0	0,4	16,9	0,4	16,9	0,4
Elektrolithbogenstahl (Mio. t E-Stahl bzw. PJ Energie)	2,786	0,7	6,4	2,000	2,2	3,6	2,2	3,5	2,2	3,5	2,2	3,5
Warmwalz- und Blech-Kaltwalzbetriebe (Mio. t Walzstahl bzw. PJ Energie)	5,943	20,0	1,3	3,000	7,2	3,4	6,7	3,4	6,5	3,4	6,5	3,4
Restliche Eisenschaffende Industrie (PJ Energie)	-	19,8	8,9	-	9,8	4,6	9,4	4,1	9,3	4,1	9,3	3,9
Summe Eisenschaffende Industrie (Werte in PJ)		86,6	17,9		38,2	12,1	37,3	11,5	36,9	11,3	36,9	11,3
1989 = 100%		100%	100%		44%	68%	43%	64%	43%	63%	43%	63%
Mittlerer spez. Energieeinsatz der gesamten Branche, bezogen auf 1 t Walzstahl												
- Brennstoffe und Strom (GJ/t Walzstahl)		14,56	3,02		12,73	4,04	12,44	3,84	12,30	3,76	12,30	3,76
1989 = 100%		100%	100%		87%	134%	85%	127%	84%	125%	84%	125%
- primärenerget. Bewertung des elektr. Stromes* (GJ/t Walzstahl)			23,18			24,27		23,41		23,03		23,03
1989 = 100%			100%			105%		101%		99%		99%

*) angenommener Wirkungsgrad für Stromerzeugung: $\eta = 0,35$

**) Für 2005 und 2020 wurden die Prozentzahlen des Dampfanteils von 1989 ABL zugrunde gelegt. Für die NBL kann dies deswegen angenommen werden, weil sich der Bestand der Anlagen weitgehend dem Westniveau angepaßt haben dürfte.

Tab. 6.1.1-2: Produktion und Endenergiebedarf (nach Brennstoff- und Strombedarf) der Eisenschaffenden Industrie, Ostdeutschland 1988 und 2005 (Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Produkt/Prozeß	ABL+NBL 2020**)		ABL+NBL 2020-1**)		ABL+NBL 2020-2**)		ABL+NBL 2020-3**)	
	Prod. (Mio. t)	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom	
Sinterherstellung (Mio.t Sinter bzw. PJ Energie)	13,542	18,0	1,4	17,9	1,4	17,6	1,3	
Hochofenbetriebe (Mio. t Roh Eisen bzw. PJ Energie)	14,900	172,9	3,9	172,9	3,7	171,4	3,6	
Elektrolichtbogenstahl (Mio. t E-Stahl bzw. PJ Energie)	16,000	17,9	25,2	16,8	24,2	16,5	23,4	
Warmwalz- und Blech-Kaltwalzbetriebe (Mio. t Walzstahl bzw. PJ Energie)	28,100	52,3	17,1	48,3	16,3	45,1	15,7	
Restliche Eisenschaffende Industrie (PJ Energie)	-	104,3	18,9	97,3	17,6	94,6	17,1	
Summe Eisenschaffende Industrie (Werte in PJ)		365,4	66,5	353,2	63,2	345,3	61,1	
1989 = 100%		55%	76%	53%	72%	52%	70%	
Mittlerer spez. Energieeinsatz der gesamten Branche, bezogen auf 1 t Walzstahl								
- Brennstoffe und Strom (GJ/t Walzstahl)		13,00	2,37	12,57	2,25	12,29	2,17	
1989 = 100%		73%	102%	71%	97%	69%	94%	
- primärenerget. Bewertung des elektr. Stromes* (GJ/t Walzstahl)		19,76		18,99		18,49		
1989 = 100%		81%		78%		76%		

*) angenommener Wirkungsgrad für Stromerzeugung:

$\eta = 0,35$

**) Für 2005 und 2020 wurden die Prozentzahlen des Dampfanteils von 1989 ABL zugrunde gelegt. Für die NBL kann dies deswegen angenommen werden, weil sich der Bestand der Anlagen weitgehend dem Westniveau angepaßt haben dürfte.

Tab. 6.1.1-3: Produktion und Endenergiebedarf (Brennstoff- und Strombedarf) der Eisenschaffenden Industrie, Gesamtdeutschland 2020
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Die Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs ist im wesentlichen auf zwei Effekte zurückzuführen. Zum einen ist dies die durch eine Vielzahl einzeltechnologischer Maßnahmen erzielte **Verbesserung der Energieeffizienz**. Zum anderen liegt ein **Wandel in der Produktionsstruktur** vor, der v. a. geprägt ist durch den Rückgang des energieintensiv herzustellenden Oxygenstahls über die Hochofenroute zugunsten von Elektrolichtbogenstahl (vgl. Tabelle 6.1.1-4). Hierin drücken sich auch das zunehmende Recycling von Stahlschrott und die zunehmenden Nettoimporte von Stahl nach Deutschland aus.

	1989		2005		2020
	ABL	ABL+NBL	ABL	ABL+NBL	ABL+NBL
Oxygen-Stahl [Mio. t]	33,9 82%	36,2 78%	21,0 68%	22,5 65%	15,5 49%
Elektro-Stahl [Mio. t]	7,4 18%	10,2 22%	10,0 32%	12,0 35%	16,0 51%
Summe [Mio. t]	41,3 100%	46,4 100%	31,0 100%	34,5 100%	31,5 100%

Tab. 6.1.1-4: Entwicklung der Anteile von Elektro- und Oxygenstahl in Deutschland bis 2020

Die Tabellen 6.1.1-1 bis 6.1.1-3 zeigen auch die Entwicklung des **absoluten Endenergiebedarfs** der Branche als Resultat der Entwicklung der Produktionsmengen und des spezifischen Energiebedarfs. Danach sinkt der Brennstoffbedarf des gesamten Sektors in Westdeutschland von 570 PJ im Jahr 1989 im Standardfall 2005 auf rund 406 PJ (-29 %). Durch Zusatzinvestitionen in Höhe von rund einer Milliarde DM könnte sich der Brennstoffbedarf um 12 PJ reduzieren lassen. Durch eine weitere Milliarde DM ließe sich der Brennstoffbedarf der westdeutschen Eisenschaffenden Industrie bei den angenommenen Produktionsmengen auf 387 PJ reduzieren, was gegenüber dem Standardfall einer Reduktion um 5 % entspricht. Der Gesamteinsatz an elektrischer Energie reduziert sich von 70 PJ im Jahr 1989 im autonomen Fall auf 54,7 PJ im Jahr 2005 (-21 %). Für zusätzliche 200 bis 250 Millionen DM ließen sich etwa 1,3 PJ einsparen. Für insgesamt 600 bis 700 Millionen DM für zusätzliche Energieeinsparinvestitionen ließe sich der Strombedarf auf 52 PJ senken (-5 % gegenüber dem Standardfall). Die entsprechenden Werte für Ostdeutschland zeigen aufgrund der Einstellung der Produktion an zahlreichen Standorten einen noch drastischeren Rückgang des Energiebedarfes: so steht einem Brennstoffeinsatz von 87 PJ im Jahr 1989 ein Bedarf von rund 38 PJ in 2005 gegenüber (-56 %), und der Stromeinsatz reduziert sich von 18 PJ auf 12 PJ (-32 %). Durch Zusatzinvestitionen in Höhe von 100 bis 150 Millionen DM könnte der Brennstoffbedarf um weitere 1,3 PJ (-3,5 %) gesenkt werden; zur Reduzierung des Strombedarfs um zusätzliche 0,8 PJ (-6,5 %) betrügen die entsprechenden Zusatzinvestitionen etwa 250 Millionen DM.

Für das Jahr 2020 ist der Endenergiebedarf von Ost- und Westdeutschland als Summe ausgewiesen. Danach wird der Brennstoffeinsatz in 2020 unter den getroffenen Annahmen der "Standard"-Variante bei 365 PJ liegen, was einem Rückgang von 45 % gegenüber 1989 (Gesamtdeutschland⁷) entspricht. Der Stromverbrauch wird in diesem Fall knapp 67 PJ betragen und damit um 24 % geringer sein als der Bedarf im Jahr 1989. Durch Energieeinsparinvestitionen in Höhe von jeweils etwa 1 bis 1,5 Mrd. DM ließe sich der Brennstoffbedarf um etwa 3,5 % und der Strombedarf um 5 % gegenüber dem Standardfall reduzieren. Insgesamt könnte eine Senkung des Brennstoffbedarfs um 5,5 % und des Strombedarfs um 8 % im Jahr 2020 bei der Eisenschaffenden Industrie möglich sein, jedoch wären hierfür Zusatzinvestitionen in Höhe von jeweils rund 2,5 Mrd. DM erforderlich.

6.1.2 Nichteisenmetallindustrie

Im Rahmen der Untersuchungen zur Nichteisenmetallindustrie (NE-Metalle) wurde eine Detailanalyse für die Branchen Primär- und Sekundäraluminium, Primär- und Sekundärkupfer, Primärzink und Primärblei durchgeführt. Alle übrigen Aktivitäten der NE-Metallindustrie werden in Form eines aggregierten Restsektors behandelt. Dieser besteht im wesentlichen aus den NE-Halbzeugwerken und -Gießereien sowie aus weiteren Primär- und Umschmelzprozessen, von denen die Sekundärzink und -bleiherstellung die bedeutendsten sind. Neben den betrachteten Primärprozessen ist deren energetische Bedeutung aber relativ gering.

Die **energetische Aufteilung des Energieeinsatzes** in der NE-Metallbranche der alten Bundesländer von der Energiebilanz über den Energieeinsatz nach der Systematik der Produktion im produzierenden Gewerbe (SYPRO) bis zur einzeltechnologischen Betrachtung zeigen Abbildungen 6.1.2-1 (Brennstoffe) und 6.1.2-2 (Strom). Beim Strom liegen die Schwerpunkte bei der Primäraluminium- und der Zinkelektrolyse sowie bei elektrisch beheizten Schmelz- und Halteöfen in den Halbzeugwerken und Gießereien, wobei der Hauptschwerpunkt mit weitem Abstand bei der Aluminiumelektrolyse liegt. Bei den Brennstoffen verteilt sich der Energieeinsatz gleichmäßiger auf die Anodenfabriken zur Herstellung der Anoden für die Aluminiumelektrolyse, auf die Reduktion von kupfer-, zink- und bleihaltigen Erzen, die Sekundärkupferherstellung sowie das Beheizen von Schmelz- und Halteöfen in den Gießereien und Halbzeugwerken mit Brennstoffen.

⁷bezogen auf die Summe des Brennstoffbedarfes in West- und Ostdeutschland im Jahr 1989

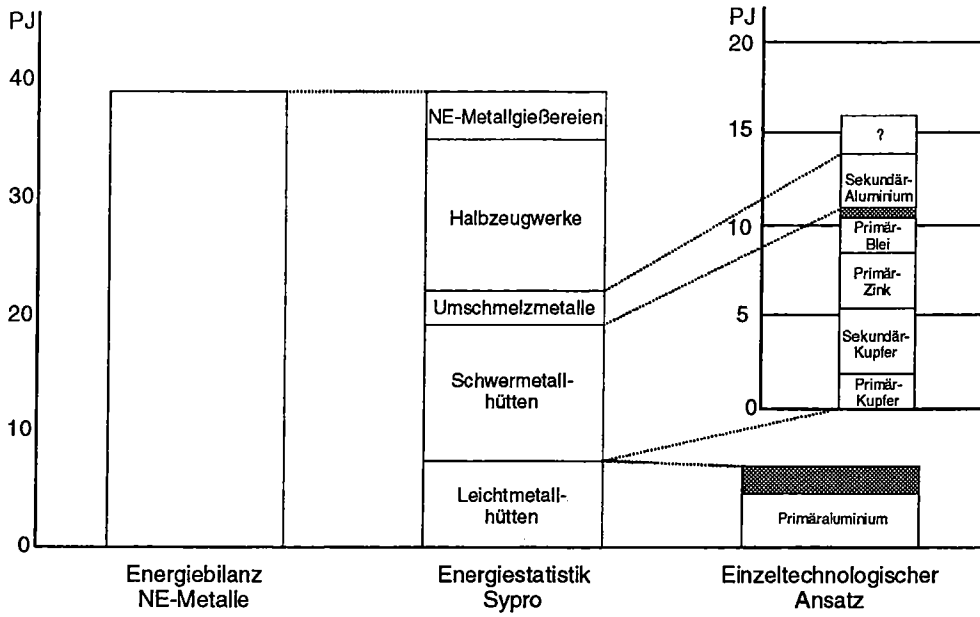


Abb. 6.1.2-1: Schema der Disaggregation des Brennstoffverbrauchs der westdeutschen NE-Metallindustrie

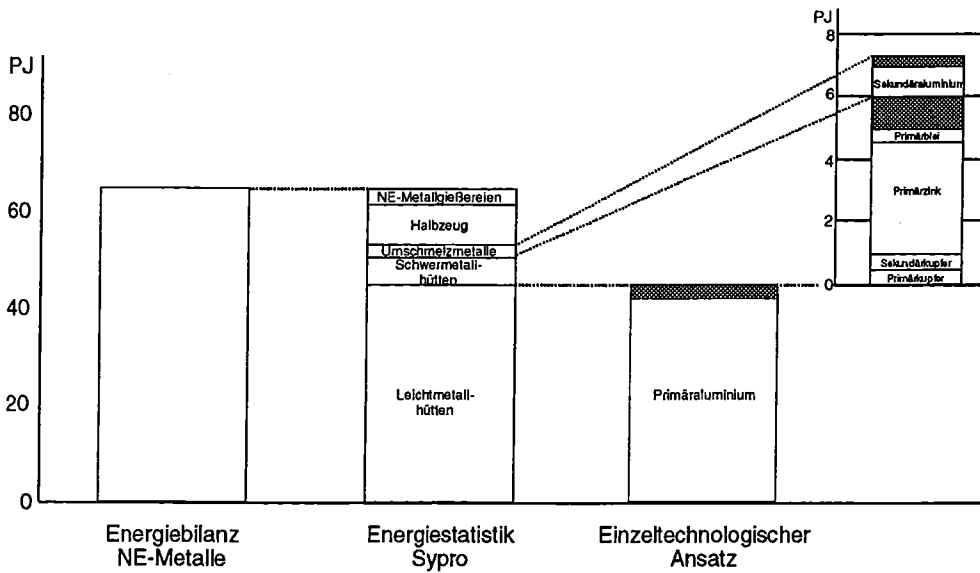


Abb. 6.1.2-2: Schema der Disaggregation des Stromverbrauchs der westdeutschen NE-Metallindustrie

Die schwarzen Felder der Abbildung betreffen den Energieeinsatz, der nicht einzeltechnologisch erklärt ist. Das Fragezeichen bei den Brennstoffen für die Sekundäraluminiumherstellung bedeutet, daß der einzeltechnologisch berechnete Energieeinsatz höher ist, als der nach der Statistik verfügbare. Es handelt sich hierbei um ein Abgrenzungsproblem: während einzeltechnologisch die Salzschlackenaufarbeitung und andere Prozesse der Sekundäraufbereitung bei den NE-Metallen berücksichtigt wurden, sind diese statistisch anderen Branchen zugeordnet. Ein weiteres Problem besteht bei der geringen Anzahl der Unternehmen und Betriebe im NE-Bereich bei der Zuordnung nach dem Schwerpunktprinzip. Beispielsweise wird ein Teil der sekundäraluminiumerzeugenden Unternehmen anderen Wirtschaftsbranchen, z. B. der Autoindustrie mit ihren unternehmenseigenen Gießereien zugerechnet.

Nachfolgend werden für die genannten Erzeugnisse die durch Einsatz von Einspartechniken bzw. durch Prozeßsubstitution möglichen Energieeffizienzpotentiale erläutert, um anschließend durch Aggregation dieser Einzeldaten zu Gesamtaussagen für die gesamte NE-Metallindustrie zu gelangen.

6.1.2.1 Aluminium

Aluminium stellt nach Eisen/Stahl mengenmäßig das zweitwichtigste Metall in der Weltwirtschaft und auch in der Wirtschaft der Bundesrepublik Deutschland dar. Es wird auf zwei völlig unterschiedlichen Wegen und aus unterschiedlichem Ausgangsmaterial gewonnen:

- Der eine führt vom Rohstoff Bauxit, einem Gemisch aus hydrierten metallischen Oxiden, über die Tonerdeherstellung (Al_2O_3) zur Metallgewinnung mittels Elektrolyse der Tonerde. Das so gewonnene Aluminium trägt die Bezeichnungen **Primär- oder Hüttenaluminium**. Den weitaus größten Energieeinsatz - in Form von elektrischer Energie - erfordert bei dieser Herstellungsart das Elektrolyseverfahren. Die Tonerdeherstellung, ein ebenfalls sehr energieintensiver Schritt, ist Gegenstand einer weiteren Analyse, die innerhalb der chemischen Industrie durchgeführt wird, welcher die Tonerdeherstellung aus Bauxit zugerechnet wird (vgl. Kapitel 6.1.4.3). Der Bauxitabbau findet außerhalb Deutschlands statt.
- Aluminium kann andererseits auch aus sekundären Rohstoffen wie Produktionsschrotten (sogenannten Neuschrotten), Altschrotten (z. B. aus Altautos, Verpackungsmaterial, Baumaterialien etc.) oder Krätzen (Abfällen aus der Aluminiumherstellung) gewonnen werden. Das so produzierte Aluminium heißt **Sekundär- oder Umschmelzaluminium**.

In Westdeutschland wurden im Jahr 1989 nach der /Metallstatistik 1990/ 742.000 t **Primäraluminium** erzeugt. Demgegenüber steht ein inländischer Verbrauch an Primäraluminium für das gleiche Jahr von 1.290.000 t sowie eine Erzeugung an Sekundäraluminium von 537.400 t. Abbildung 6.1.2-3 zeigt die Entwicklung von Produktion und Verbrauch im zeitlichen Verlauf. An diesen Zahlen zeigt sich am Beispiel Aluminium, daß die Bundesrepublik zunehmend ein Nettoimporteur energieintensiver Grundstoffe wird, d. h., die bei deren Produktion anfallenden Treibhausgasemissionen entstehen u.U. in anderen Ländern, wenn nicht – wie im Falle der Primäraluminiumherstellung in Kanada oder Norwegen – der für die Elektrolyse benötigte Strom aus Wasserkraft erzeugt wird. Die Produktion von Primäraluminium in Westdeutschland blieb über die letzten zehn Jahre fast konstant, während der Verbrauch stark anstieg. In den 90er Jahren hat sich die Schere weiter geöffnet, bedingt durch den Druck der Primäraluminiumimporte, welche infolge des Rückgangs der Rüstungsnachfrage nach Aluminium in den Nachfolgestaaten der Sowjetunion einsetzten. Die Nachfrage nach Aluminium weist weiterhin stark nach oben, auch wenn konjunkturbedingt zwischen 1993 und 1994 ein Rückgang zu beobachten war. Den starken Druck des internationalen Marktes zeigen die Abbildungen 6.1.2-4 und 6.1.2-5, welche die Produzenten mit steigender Aluminiumproduktion den Ländern mit stagnierender oder fallender Produktion gegenüberstellen. Die Zunahme der Produktion in den Ländern mit billiger Energie erfolgte aufgrund der weltweit steigenden Nachfrage nach Aluminium und der Produktionsaufgabe an Standorten mit hohen Strompreisen, wie z. B. Japan und die USA, sowie in Zukunft in Deutschland und anderen westeuropäischen Staaten.

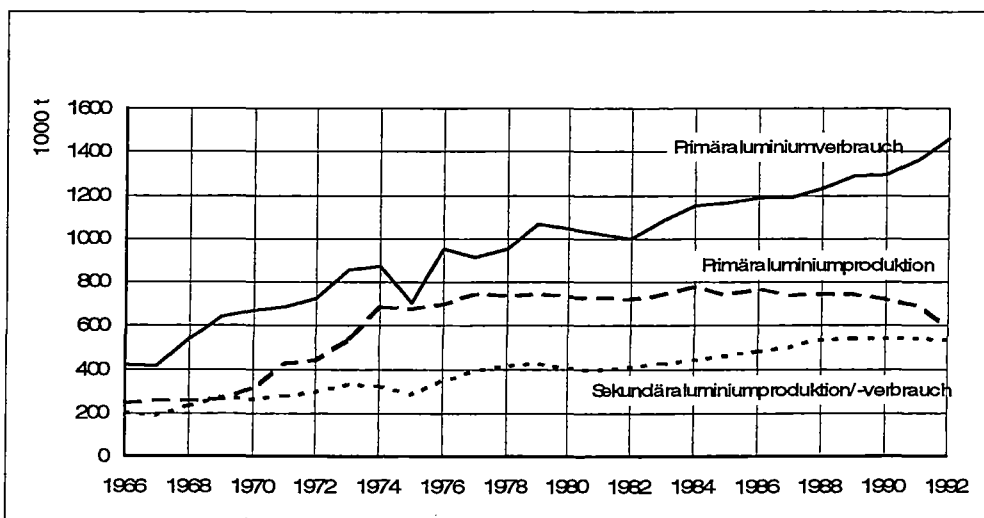


Abb. 6.1.2-3: Aluminiumproduktion und -verbrauch in Deutschland

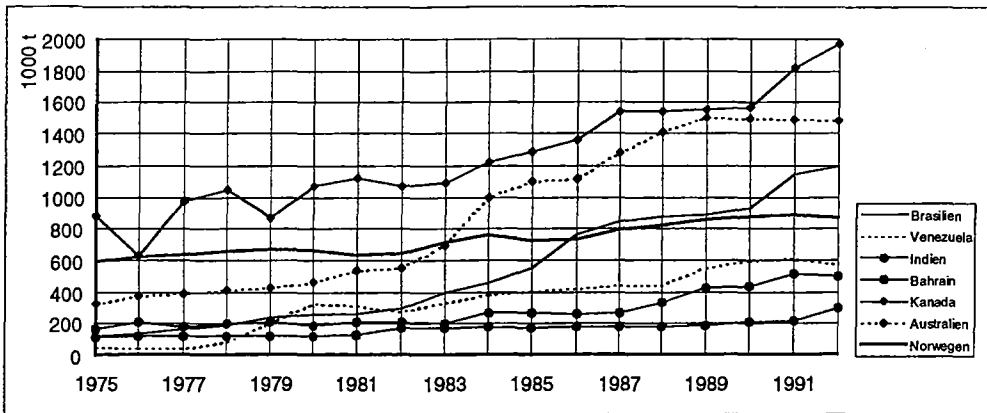


Abb. 6.1.2-4: Primäraluminiumproduzierende Länder mit steigender Produktion

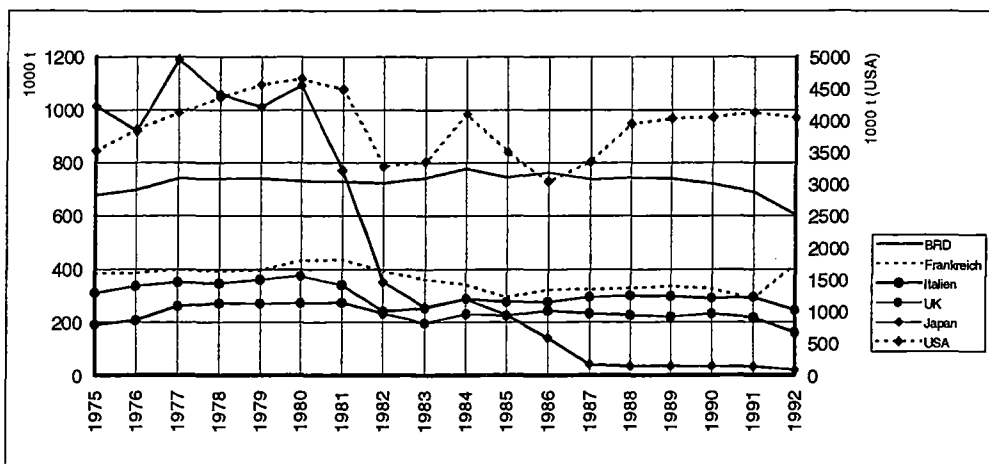


Abb. 6.1.2-5: Primäraluminiumproduzierende Länder mit stagnierender/sinkender Produktion

Die Berücksichtigung dieser Entwicklung und der ungünstigen Standortbedingungen in der Bundesrepublik führt zu der Einschätzung, daß die Primäraluminiumproduktion in Westdeutschland bis zum Jahr 2005 im Vergleich zu 1989 etwa um ein gutes Drittel bis zur Hälfte sinken dürfte. Die Anlagen, die 1991 in den neuen Bundesländern stillgelegt wurden, werden sicherlich nicht mehr ersetzt werden. Für 2020 wird unterstellt, daß sich der **Auslagerungstrend der Hüttenaluminiumproduktion** fortsetzt und nur noch etwa ein Viertel der Produktionskapazitäten von 1989 in der BRD erhalten bleiben. Denn die relativ niedrigen Strompreise auf Basis der Wasserkraft oder günstiger Kohlevorkommen in anderen Ländern werden die Standortentscheidung für neue Hüttenaluminium-Herstellkapazitäten wesentlich beeinflussen.

Für die in diesem Bericht genannten Einsparinvestitionen bedeutet diese Produktionsperspektive, daß bis zum Jahr 2005 nur **geringfügige Verbesserungsmaßnahmen** durchgeführt werden, die spezifische Stromeinsparungen nur im Bereich von wenigen Prozentpunkten nach sich ziehen. Theoretisch wäre aufgrund der Anlagenaltersstruktur die Errichtung von ein bis zwei moderneren Anlagen in der Bundesrepublik denkbar, die Gleichstromverbräuche um 13 kWh/t Aluminium erlauben würden. Denn nur Neuanlagen erlauben durch größere Elektrolysenzellen einen deutlichen Sprung bei der Stromeinsparung; das Potential bei den bestehenden Anlagen ist weitgehend ausgeschöpft. Völlig neue Anlagentypen mit Entwicklungen wie den stabilen Anoden, welche den Stromverbrauch um ca. ein Drittel senken könnten, dürften bis 2020 nicht in großem Maßstab einsetzbar sein. Die Annahme, daß im Jahr 2020 noch Produktionskapazitäten von 200.000 Jahrestonnen in Deutschland bestehen werden, ist relative konservativ, wenn man bedenkt, daß Japan seine Hüttenaluminiumkapazität binnen acht Jahren von 1 Mio. t auf 40.000 t pro Jahr reduzierte (vgl. Abb. 6.1.2-5). Experten und führende Manager der Aluminiumindustrie schließen deshalb nicht aus, daß die Hüttenaluminium-Produktion bereits vor 2005 vollständig stillgelegt sein könnte.

Im Gegensatz hierzu nimmt die **Produktion von Sekundäraluminium** in Deutschland deutlich zu, weil der Aluminiumverbrauch ständig zunimmt und der anfallende Aluminiumschrott wieder in den Kreislauf geführt werden kann (es sei denn, anfallende Schrotte würden in zunehmendem Ausmaß exportiert). Sekundäraluminium wird weiterhin technisch mehr und mehr in Anwendungsgebiete vordringen, die bisher dem reineren Primäraluminium vorbehalten waren /VDI-N., 1996/. Über den verstärkten Einsatz von Regenerativbrennern bzw. durch neue Recyclingkonzepte wie das salzarme Schmelzen, das bei VAW entwickelt wird, sind insbesondere bei den Brennstoffen erhebliche Einsparungen möglich, die von /Caddet, 1993/ mit mehr als 50 % gegenüber 1990 langfristig eingeschätzt werden.

6.1.2.2 Kupfer

Kupfer wird in Deutschland auf zwei verschiedenen Wegen produziert.

- Zum einen werden aufkonzentrierte Kupfererze auf der **Primärmetallroute** im Schwebeschmelzverfahren zu Kupfer reduziert. Das so erhaltene Kupfer wird weiter raffiniert, meist durch die Kupferelektrolyse. Der überwiegende Teil des Energieeinsatzes bei der Primärkupferherstellung fällt nicht in Deutschland an, sondern beim Aufkonzentrieren der Erze im erzabbauenden Land (ca. 75 % des gesamten Energieeinsatzes). Sowohl das Schwebeschmelzverfahren als auch die Kupferelektrolyse in Deutschland gehören zu den modernsten in der Welt, die in den vergangenen Jahren ständig

modernisiert wurden. Aus diesem Grund ist damit zu rechnen, daß die Kupferproduktion weiterhin auf einem relativ hohen Produktionsniveau in Deutschland weitergeführt werden wird. Die energetischen Verbesserungsmöglichkeiten sind wegen der modernen Anlagen relativ gering und beschränken sich auf inkrementelle Prozeßverbesserungen.

- Bei der **Sekundärkupferherstellung** werden die verunreinigten Schrotte im Schachtofen eingeschmolzen, um dann gleichfalls der Kupferelektrolyse zugeführt zu werden. Im Gegensatz zum Aluminium sind Primär- und Sekundärkupfer von der Qualität her nicht zu unterscheiden und können sich beliebig substituieren. Je nach Verunreinigung der Schrotte kann der Energieeinsatz für Sekundärkupfer den des Einsatzes für Primärkupfer deutlich überschreiten (soweit nur der Anteil für die Primärkupfererzeugung berücksichtigt wird, welcher in Deutschland anfällt). Der Kupferschachtofen, welchen man in der Vergangenheit anwandte, wurde nach 1990 in einem Fall bereits durch einen Elektroofen ersetzt. Gleichfalls wurde eine weitere Kupferelektrolyse, in die überwiegend Sekundärkupfer einfließt, vor kurzem modernisiert. Moderne Konzepte wie der Top Blown Rotary Converter (TBRC), welche zu weiteren Einsparungen an Energie führen können, waren zwar Gegenstand von Forschung und Entwicklung, die Forschungsarbeiten sind jedoch in der Zwischenzeit wegen technischer Schwierigkeiten eingestellt, so daß nicht damit zu rechnen ist, daß beim Kupfer selbst bis 2020 neue Produktionsverfahren im großen Maßstab zur Verfügung stehen werden. Um diesen Zeitraum dürfte sich auch die Verdrängung des Kupfers in der Informations- und Kommunikationstechnik durch Glasfaserkabel bemerkbar machen.

6.1.2.3 Zink

Zink wird in Deutschland überwiegend auf der Primärmetallroute erzeugt, obwohl verstärkt Bestrebungen laufen, zinkhaltige Stahlstäube zurückzuführen. Zink wurde 1989 zu etwa zwei Dritteln hydrometallurgisch durch die Zinkgewinnungselektrolyse und zu etwa einem Drittel pyrometallurgisch durch den Imperial Smelting Process (ISP) hergestellt. Für beide Verfahren wurden neue Prozesse angedacht, welche bei der **Zinkelektrolyse** in Form von **Wasserstoffdiffusionsanoden** bereits relativ weit vorangebracht wurden und zu substantiellen Stromeinsparungen führen könnten, selbst unter Berücksichtigung des Energieaufwands für die Wasserstoffherstellung. Auch hier wurden aber die Forschungsarbeiten wegen technischer Schwierigkeiten und mangelnder Förderung eingestellt, so daß Verbesserungen im wesentlichen auf **inkrementellen Prozeßverbesserungen** beruhen werden. Weiterhin sind die Zukunftsaussichten für die Zinkproduktion in Deutschland – ähnlich wie für die Primäraluminiumproduktion – relativ schlecht, so daß eher mit einem Rückgang der Zinkproduktion zu rechnen ist als mit einer Produktion auf konstantem Niveau, wie für die

Berechnungen zunächst einmal angenommen. Dies führt dazu, daß Investitionen in Forschungstätigkeiten, welche zu hohen Einsparungen an Energie führen könnten, nicht getätigt werden.

6.1.2.4 Blei

Für Blei wurde in Form des **QSL-Verfahrens** (Queneau-Schuhmann-Lurgi) aus Umweltschutzgründen 1989 ein sehr modernes Verfahren eingeführt, welches zusätzlich den Energieeinsatz bei der Bleiherstellung um ca. 20 % verminderte. Dieses Verfahren wird den klassischen Bleischachtofen zur Primärbleiherstellung in Zukunft vollständig ersetzen. Aufgrund der schlechten Aussichten für Blei (Sättigungstendenzen des Automarktes, in den Blei überwiegend in Form von Batterien fließt, Konkurrenz durch andere Arten von Batterien, Überkapazitäten) ist aber mit einem Rückgang der Primärproduktion zu rechnen. Energetische Verbesserungen werden nur im Zusammenspiel mit Umweltauflagen erzielt. Bereits heute beruht die Bleierzeugung zu mehr als der Hälfte auf Sekundärblei, welches mit weit geringerem Energieaufwand aus Batterien erzeugt werden kann. Dieses Verfahren wurde wegen des geringen Energieeinsatzes nicht gesondert betrachtet.

6.1.2.5 Restliche NE-Metallindustrie

Die restliche NE-Metallindustrie besteht im wesentlichen aus den NE-Halbzeugwerken und den NE-Gießereien, d. h. weiterverarbeitenden Produktionsstufen. Während die Halbzeugwerke überwiegend Primäraluminium und Kupfer verarbeiten, fließt in die Gießereien hauptsächlich Sekundäraluminium. Im Gegensatz zu den primären Verarbeitungsstufen weisen die weiterverarbeitenden Stufen einen erheblichen Ausbau auf, der sich auch in Zukunft, insbesondere wegen der zunehmenden Nachfrage nach Aluminiumprodukten im Bau-, Fahrzeugbau- und Verpackungsbereich fortsetzen dürfte. Trotz erheblicher Zunahme der Produktion mit etwa 2 % pro Jahr dürfte der Energiebedarf in Zukunft kaum zunehmen, weil hohe spezifische Einsparungen an Energie durch Regenerativbrenner, neue Ofenkonzepte, Ersatz von Brennstoffen durch Strom etc. möglich sind. Außerdem entwickelt sich die Produktstruktur zu höherwertigen Produkten, so daß der spezifische Energiebedarf auch aufgrund dieser Veränderungen abnehmen dürfte.

6.1.2.6 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelprozesse zu Gesamtaussagen für die NE-Metallindustrie

Die Tabellen 6.1.2-1 bis 6.1.2-3 zeigen die prognostizierte Entwicklung von Produktion und Energiebedarf der einzelnen Subsektoren der NE-Metallindustrie und des Sektors in seiner Gesamtheit. Bei der **Primärerzeugung der NE-Metalle** ist der Rückgang des Energieverbrauchs im wesentlichen auf den Produktionsrückgang, insbesondere beim Primäraluminium zurückzuführen. Technisch bestehen zwar zum Teil Möglichkeiten der Energieeffizienzverbesserung, die wegen der rückläufigen Produktion und absehbaren Außerbetriebnahme der Anlagen aber meist nicht umgesetzt werden können. Andere Primärprozesse wie die Kupfer- oder Teile der Primärbleierzeugung sind bereits sehr modern mit geringen Aussichten für merkliche Verbesserungen in den kommenden zwei Jahrzehnten.

Größeren Spielraum für energetische Verbesserungen bietet die **Sekundäraluminiumerzeugung**, deren Bedeutung in Zukunft wegen des zunehmenden Aluminiumrecyclings ansteigen wird, sowie die weiterverarbeitenden Stufen der Halbzeugwerke und der NE-Metallgießereien (vgl. Tabelle 6.1.2-1). Bei den getroffenen Annahmen zur Wirtschafts- und Technikentwicklung könnte sich der Strombedarf in der gesamten NE-Metallindustrie in Westdeutschland in einer autonomen Entwicklung bis zum Jahr 2005 von 63,6 PJ auf 43 PJ reduzieren. Demgegenüber wird ein leichter Anstieg des Brennstoffbedarfs von 42,5 PJ auf 46 PJ erwartet. Durch Zusatzinvestitionen für energieeffizientere Techniken in Höhe von rund 150 Millionen DM könnte der Strombedarf von 0,8 PJ bzw. 1,8 % gegenüber der Standardentwicklung gesenkt werden. Bei den Brennstoffen könnten 3 PJ bzw. 6,5 % für 300 bis 350 Millionen DM eingespart werden. Damit sind die für möglich gehaltenen Einsparpotentiale jedoch noch nicht ausgeschöpft: für insgesamt 350 bis 400 Millionen DM könnte sich der Strombedarf auf rund 41,6 PJ und somit gegenüber der Standardentwicklung um 3,5 % senken lassen; bei den Brennstoffen werden 10,5 % (auf 41 PJ) bei Zusatzinvestitionen in Höhe von 600 bis 650 Millionen DM für möglich gehalten.

In Ostdeutschland wurden sämtliche Primärerzeugungskapazitäten bereits stillgelegt, so daß in Zukunft damit zu rechnen ist, daß die NE-Metallindustrie in Ostdeutschland aus weiterverarbeitenden Stufen bestehen wird, deren Energieeinsatz weit unter dem Einsatz bei der Primärmetallerzeugung liegt. Für das Standard-Szenario Neue Bundesländer 2005 wird für die NE-Metallindustrie ein Brennstoff- und Strombedarf von jeweils 2,1 PJ erwartet. Dies bedeutet eine Brennstoffreduktion um 19 PJ bzw. 90 % gegenüber 1989, beim Strom ist dies etwa eine Halbierung des Bedarfs. Als Mindestbedarf wird unter den erwarteten Rahmenbedingungen ein Brennstoffbedarf in Höhe von 1,8 PJ bei Zusatzinvestitionen in Höhe von knapp

50 Millionen DM und ein Strombedarf in Höhe von 1,9 PJ bei Zusatzinvestitionen in Höhe von knapp 100 Millionen DM abgeschätzt.

Im Jahr 2020 wird bei der hier unterstellten autonomen Entwicklung ein Brennstoffbedarf von gut 37 PJ und ein Strombedarf von gut 29 PJ erwartet. Für Zusatzinvestitionen in Höhe von 450 bis 500 Millionen DM dürfte sich der Brennstoffbedarf um fast 3 PJ (-8 %), der Strombedarf für etwas über eine Milliarde DM um über 4 PJ (-15 %) senken lassen. Weitere Einsparungen für weitere etwa 2 Milliarden DM Zusatzinvestitionen beim Strom und einer weiteren Milliarde DM bei den Brennstoffen dürften zu einer Absenkung des Endenergiebedarfs auf knapp 21 PJ beim Elektrizitätsbedarf und 28,6 PJ beim Brennstoffbedarf führen. Dies entspricht einer Reduktion gegenüber dem Standardfall von 29 % beim Strom und 23 % bei den Brennstoffen.

Produkt/Prozeß	ABL, 1989	ABL, 1989		ABL, 2005	ABL, 2005-1		ABL, 2005-2		ABL, 2005-3	
	Prod. [1000 t]	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ	Prod. [1000. t]	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ
Primäraluminium	742,0	7,81	45,09	400	4,11	24,04	3,92	23,75	3,72	23,45
Sekundäraluminium	537,4	3,38	0,95	755	4,45	1,43	3,88	1,43	3,31	1,43
Kupfer (primär und sekundär)	475,1	6,75	1,21	500	7,10	1,27	6,93	1,26	6,76	1,25
Zink (primär)	301,4	3,25	3,70	300	3,23	3,63	3,23	3,60	3,23	3,57
Blei (primär)	170,2	1,46	0,24	130	0,94	0,18	0,86	0,18	0,82	0,18
Restliche NE-Metallindustrie	-	19,91	12,44	-	26,14	12,60	24,07	12,16	23,24	11,73
NE-Metallgießereien	651,6	5,57	2,23	800,0	7,00	2,25	6,63	2,12	6,26	1,98
NE-Halbzeugwerke	2752,7	13,72	9,60	3700,0	17,21	9,95	16,30	9,36	15,38	8,78
Sonstige / Statist. Fehler	-	0,62	0,61	-	1,93	0,40	1,14	0,68	1,60	0,97
Summe NE-Metallindustrie (in PJ)		42,555	63,626	-	45,97	43,15	42,89	42,38	41,08	41,61

Quelle: FhG-ISI

Tab. 6.1.2-1: Produktion und Endenergiebedarf der NE-Metallindustrie, Westdeutschland, 1989 und 2005
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Produkt/Prozeß	NBL, 1989	NBL, 1989		NBL, 2005	NBL, 2005-1		NBL, 2005-2		NBL, 2005-3	
	<i>Prod.</i> [1000 t]	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ	<i>Prod.</i> [1000. t]	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ	Brennst. PJ	elektr. Str. PJ
Primäraluminium	61		3,90	0						
Sekundäraluminium	54			0						
Kupfer (primär und sekundär)	k.A.			0						
Zink (primär)	k.A.			0						
Blei (primär)	k.A.			0						
Restliche NE-Metallindustrie				0,72 Mrd.DM	2,07	2,11	1,54	2,04	1,83	1,90
<i>NE-Metallgießereien</i>										
<i>NE-Halbzeugwerke</i>										
<i>Sonstige / Statist. Fehler</i>										
Summe NE-Metallindustrie (in PJ)	-	21,510	5,141							

Quelle: FhG-ISI

Tab. 6.1.2-2: Produktion und Endenergiebedarf der NE-Metallindustrie, Ostdeutschland, 1988 und 2005
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Produkt/Prozeß	<i>ABL + NBL, 2020</i>	<i>ABL + NBL, 2020-1</i>		<i>ABL + NBL, 2020-2</i>		<i>ABL + NBL, 2020-3</i>	
	<i>Prod. [Mio. t]</i>	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.
Primäraluminium	200	2,05	11,84	1,69	10,31	1,58	8,49
Sekundäraluminium	900	4,63	1,70	3,95	1,70	3,50	1,50
Kupfer (primär und sekundär)	500	6,93	1,26	6,76	1,25	6,00	1,10
Zink (primär)	300	3,23	3,60	3,23	3,57	2,80	3,20
Blei (primär)	100	0,66	0,14	0,63	0,14	0,63	0,14
Restliche NE-Metallindustrie	-	19,92	10,84	18,26	8,08	14,10	6,48
Summe NE-Metallindustrie (in PJ)		37,42	29,38	34,52	25,05	28,61	20,91

Quelle: FhG-ISI

Tab. 6.1.2-3: Produktion und Endenergiebedarf der NE-Metallindustrie, Gesamtdeutschland 2020
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

6.1.3 Steine- und Erden-Industrie

In der IKARUS-Datenbank erfolgt für die Hauptgruppe Steine-Erden-Industrie (Sypro-Nr. 25) eine getrennte Betrachtung für die Teilbranchen Zement (2531), Kalk und Mörtel (2535) und Ziegel (2541). Die übrigen Teilbranchen werden unter Sonstige Steine-Erden aggregiert. Die statistischen Angaben der Fachverbände und des Statistischen Bundesamtes weichen hierbei aus verschiedenen Gründen etwas voneinander ab.

Die Steine-Erden-Industrie ist ein sehr energieintensiver Sektor. Der Endenergieverbrauch der gesamten Branche betrug 1989 184 PJ in Westdeutschland und 1988 rund 117 PJ in der damaligen DDR. Dabei entfielen in Westdeutschland ca. 159 PJ (86 %) auf den Einsatz von Brennstoffen und 25 PJ (14 %) auf den Verbrauch elektrischer Energie. Die Energieträgerstruktur verschiebt sich in den letzten Jahren zunehmend von der Kohle weg zugunsten von Gas. Insbesondere der Einsatz von Sekundärbrennstoffen wie Altreifen, Altöl, Klärschlamm oder Kunststoffabfälle wird sich weiter verstärken, deren CO₂-Emissionen in der Vergangenheit nicht weiter betrachtet wurden.

Im Jahr 1989 wurde in den alten Bundesländern ein Nettoproduktionswert von 17,2 Mrd. DM (in 1985er Preisen) erzielt. Für die gesamte Steine-Erden-Industrie ergibt sich somit ein spezifischer Brennstoffverbrauch von 9,3 MJ/DM_{NPW} und ein spezifischer Stromverbrauch von 1,44 MJ/DM_{NPW}. Der Energiekostenanteil an den Produktionskosten liegt im Durchschnitt bei ca. 10 % und variiert von Sparte zu Sparte infolge unterschiedlicher Energieintensitäten erheblich.

Aufgrund des hohen spezifischen Transportgewichtes je Werteinheit der Produkte der Steine- und Erden-Industrie ist trotz eines hohen Energiekostenanteils und steigender Umweltauflagen nicht mit einer großen Abwanderung der Produktion in das Ausland zu rechnen. Deutlich größeren Einfluß auf die inländische Produktionsmenge dürfte die Entwicklung des Hoch- und Tiefbaus haben. Allerdings sind seit Anfang der 90er Jahre die Importe aus Osteuropa trotz der hohen Transportaufwendungen erheblich gestiegen.

Die Energieverbrauchsstruktur der Steine-Erden-Industrie wird dominiert vom Brennstoffbedarf der Brennprozesse von Zement, Kalk und Ziegeln. Die Verschärfung der Umweltauflagen wird zu einem erhöhten Bedarf an elektrischer Energie zum Messen, Regeln und Steuern sowie zur Abluftführung führen. Bei weiteren Verbesserungen des spezifischen Strombedarfs in anderen Teilbereichen führt dies in der Summe zu einer unwesentlichen Änderung des Strombedarfs. Demgegenüber steht ein **Absinken des spezifischen Brennstoffbedarfs** durch verbesserte Prozeßführung und Sekundärmaßnahmen.

6.1.3.1 Zement

Die Zement-Industrie ist eine eher mittelständisch orientierte Branche mit durchschnittlich 167 Mitarbeitern pro Betrieb im Jahr 1989. Insgesamt gab es 1989 61 Zementwerke in **Westdeutschland**, in denen 29,8 Mio. t Zement produziert wurden. Importiert wurden 1,8 Mio. t, denen ein Export von 2,15 Mio. t gegenüberstand. In den 90er Jahren wurde Deutschland zu einem Nettoimportland an Zement infolge der hohen Importe aus osteuropäischen Ländern. Zum Einsatz kommt in den alten Bundesländern nur noch das Trockenverfahren, welches günstigere Energieverbrauchswerte als das Naß- und Halbtrockenverfahren aufweist.

Der Endenergieverbrauch betrug im Jahre 1989 90,5 PJ (88 % Brennstoffe, 12 % Strom). Wesentliche Anteile am Brennstoffeinsatz hatten Kohle mit 92 % und Öl mit 7 %. Zunehmende Bedeutung gewinnen aber Sekundärbrennstoffe (z. B. Altreifen) und Erdgas. Brennstoffe dienen mit mehr als 95 % zur Bereitstellung von Prozeßwärme, und etwa 90 % des Strombedarfs werden zur Deckung des Kraftbedarfs, insbesondere im Bereich der Mahlung der Vor- und Endprodukte, benötigt. Insgesamt ergibt sich für die Herstellung von Zement ein durchschnittlicher Stromverbrauch von gut 100 kWh/t Zement und ein Brennstoffverbrauch von 2,6 GJ/t Zement. Die Energiekosten teilen sich dabei in etwa gleichmäßig auf Strom und Brennstoffe infolge des deutlich höheren Strompreisniveaus auf.

In den **neuen Bundesländern** kamen im Jahr 1989 Naß-, Trocken- und Halbtrockenverfahren zur Herstellung von Zement zum Einsatz. Die durchschnittliche Mitarbeiterzahl lag bei ca. 700 Mitarbeitern pro Betrieb. Insgesamt wurden 12,5 Mio. t Zement in den zwölf Betrieben der ehemaligen DDR produziert. Der Energieverbrauch betrug 51 PJ. Dies entspricht einem spezifischen Endenergiebedarf von gut 4 GJ/t Zement. Der spezifische Endenergiebedarf in den ostdeutschen Betrieben lag somit Ende der 80er Jahre um 35 % höher als in den westdeutschen Betrieben. Wesentlicher Energieträger bei der Zementproduktion in den ostdeutschen Betrieben waren Braun- und Steinkohle. Durch Schließung, Reinvestitionen und Nachrüstung von Altanlagen hat sich der spezifische Energiebedarf der alten und neuen Bundesländer seit 1990 erheblich angenähert und liegt heute im Durchschnitt unter 3 GJ/t Zement..

Die Aggregate in der Zementindustrie, die wesentlich zum Energieverbrauch beitragen sind die **Drehrohrofenanlagen** zur Klinkerherstellung und die **Mahlanlagen** (vgl. auch Abbildung 1-3). Im Bereich der Mahlanlagen kann der **spezifische Strombedarf** durch neue Mahlverfahren, wie z. B. die Gutbettwalzenmühle, um etwa 20 bis 25 % verringert werden. Durch eine verbesserte Steuerung der Mühlen in Verbindung mit einer optimierten Mahlgutsichtung sind weitergehende Einsparungen möglich. Weitere Einsparpotentiale liegen in der bedarfs-

gesteuerten Drehzahlregelung von Lüftern, Pumpen und Antrieben (vgl. auch Beispiel in Tabelle 1-3). Dieser Senkung der spezifischen Stromverbräuche steht aus Umweltschutzgründen eine Zunahme der benötigten Hilfsaggregate und damit des spezifischen Strombedarfs gegenüber.

Brennstoffeinsparungen sind eng mit dem Wirkungsgrad der Drehrohrofenanlagen verknüpft und werden sich aufgrund des hohen Investitionsbedarfs solcher Anlagen meist nur bei Reinvestitionen realisieren lassen. Als Maßnahmen zur **Verringerung des spezifischen Brennstoffbedarfs** sind die bessere Isolierung des Drehrohres, der Übergang auf kürzere Rohre in Verbindung mit einem Calcinator sowie die verbesserte Wärmerückgewinnung aus dem Ofenabgas und der Klinkerkühlung zu nennen. Aufgrund des höheren spezifischen Brennstoffbedarfs beim Naß- und Halbtrockenverfahren ist davon auszugehen, daß Anlagen dieser Art in den nächsten Jahren stillgelegt werden. Geringfügige Verbesserungen sind zudem durch verbesserte Prozeßleitsysteme /Caddet, 1992/ und die Optimierung der Brennergestaltung /Nathan, 1993/ zu erwarten, auch ist nicht auszuschließen, daß die Sauerstoffanreicherung in der Brennerzuluft bei weiter fallenden Kosten der Membrantechnik ein weiteres Einsparpotential eröffnet. Langfristig mag auch eine neue Ofentechnologie als Wirbelschichtverfahren möglich sein, von der man theoretische Werte von 1,8 GJ/t Klinker erwartet /OTA, 1993/.

6.1.3.2 Kalk

Unter Kalk sind im wesentlichen Calciumoxid (CaO) und Calciumhydroxid (Ca(OH)₂) zu verstehen. Ziel des Brennprozesses ist die CO₂-Abspaltung aus dem Kalkstein, die in einer endothermen Reaktion nach $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ erfolgt. Bei einem theoretischen Energiebedarf von 3.154 kJ/kg_{CaO} liegt der reale Energiebedarf je nach Ofentyp zwischen 3.600 und 5.600 kJ/kg_{CaO}. Nach dem Mahlen erfolgt für einen Teil der Produktion das Kalklöschchen nach $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$. Bei dieser exothermen Reaktion wird eine Energie von 1.159 kJ/kg_{CaO} freigesetzt. Verwendung finden Kalkprodukte in der Eisen- und Stahlindustrie, der chemischen Industrie (z. B. zur Sodaherstellung) und in der Baustoffindustrie (Kalksandstein, Mörtel) sowie in kleineren Mengen in der Konsumgüterindustrie.

In **Westdeutschland** wurden 1989 in 105 Betrieben mit insgesamt ca. 6900 Mitarbeitern ca. 7 Mio. t Branntkalk hergestellt. Der gesamte Endenergieverbrauch betrug 27,1 PJ. Auf den Strombedarf entfallen dabei 2,5 PJ.

Die Produktion von Branntkalk betrug in den **ostdeutschen Betrieben** 2,3 Mio. t (1989). 74 % der Produktionsmenge gingen stückig in den Verkauf, 20 % wurden vor dem Verkauf gemahlen und 6 % vor dem Verkauf gelöscht. Zum Brennen des Kalks wurden in den ostdeutschen Betrieben ausschließlich Schachtofen eingesetzt. Dabei wurden nur feste Brennstoffe, im wesentlichen Braunkohle, zum Brennen von Kalk verwendet.

Die **Verbesserung der Energieeffizienz** in der Kalkindustrie hat insbesondere folgende Schwerpunkte:

- Analog zur Weiterentwicklung der Mahltechnik zum Zementmahlen können die gleichen Technologien auch zum Mahlen von Branntkalk eingesetzt werden (vgl. Kap. 6.1.3.1). Aufgrund des geringeren spezifischen Strombedarfs zum Mahlen von Kalk und des geringeren zu mahlenden Anteils an der gesamten Kalkproduktion sind allerdings die Einsparpotentiale wesentlich kleiner.
- Eine Absenkung des spezifischen Brennstoffverbrauchs dürfte im wesentlichen durch einen Ersatz von Ringschachtofen und Drehrohröfen durch effiziente Schachtofen erfolgen. Weitere Einsparungen sind durch die Abwärmenutzung beim Löschen von Kalk möglich, wobei neben der betriebsinternen Verwendung der Abwärme auch an externe Nutzung gedacht werden müßte.

6.1.3.3 Ziegel

Ziegeleien produzieren eine breite Palette von Ziegelprodukten, angefangen von massiven Ziegeln und Hochlochziegeln für Außenwände bis hin zu unterschiedlichen Formen von Dachziegeln. Die Herstellung erfolgt in drei Verfahrensschritten. Nach dem Formen der Rohmasse erfolgt die Kammertrocknung und anschließend das Brennen der Ziegel in Tunnelöfen bei 1.000 bis 1.300 °C. Der Anteil der Energiekosten am Bruttoproduktionswert liegt für Ziegeleien im Bereich um 13 %.

Im Basisjahr gab es in den alten Bundesländern 181 Ziegeleien mit 13.327 Beschäftigten. Von den 181 Ziegeleien hatten nur 28 Betriebe mehr als 100 Beschäftigte. Der Verbrauch an mineralischen Rohstoffen (Tone und tonige Massen) betrug 23,4 Mio. t. Bei der Verarbeitung wurden 2,1 PJ Strom und 23,8 PJ Brennstoffe benötigt. Dominierende Brennstoffe sind in der westdeutschen Ziegelindustrie Erdgas (71,5 %) und Öl (18,4 %).

In den Ziegeleien in Ostdeutschland wurden 2,9 Mio. t Ziegel hergestellt. Der Endenergiebedarf betrug ca. 12 PJ. Der Anteil des Nettoproduktionswertes der Ziegelindustrie

an der gesamten Branche betrug ca. 3 %, der aber seitdem infolge der intensiven Bautätigkeit in den neuen Bundesländern zugenommen hat.

Wesentliche **Einsparpotentiale** bestehen in der Ziegelindustrie beim Trocknen der Rohlinge und beim Brennen der Ziegel. Als einzelne Maßnahmen sind zu nennen:

Trocknen

- bessere Steuerung der Luftmengen bei der Trocknung in Abhängigkeit von den jeweiligen Trocknungsabschnitten, dem Rohmaterial und den Formen,
- Umstellung auf Umlufttrocknung und verbesserte Trocknerluftführung,
- weitere Vermeidung von Undichtigkeiten, bessere Trocknerisolation,
- Rückgewinnung von latenter und fühlbarer Abwärme aus der Trocknerabluft sowie
- Kopplung von Trocknung und BHKW durch bessere Nutzung des Exergiegehaltes der Brennstoffe in motorisch oder gasturbinengetriebenen KWK-Anlagen.

Brennen im Ziegelofen

- Luft- und brennertechnische Maßnahmen, Beseitigung von Undichtigkeiten am Ofen, später sauerstoffangereicherte Brennerzuluft,
- Reduzierung von Strahlungs- und Konvektionsverlusten durch verbesserte Isolierung der Ofenwände und -öffnungen,
- verbesserte Wärmerückgewinnung aus dem Ofenabgas, wobei wegen der korrosiven Eigenschaften der Ofenabgase die Wärmetauscher-Investitionen relativ hoch sind.
- Einsatz leichterer Ofenwagen oder direkter Wagenumlauf zur weiteren Reduzierung der Ausfahrverluste.

Die Verringerung des spezifischen Strombedarfs kann durch die Drehzahlregelung von Ventilatoren und Antrieben erfolgen. Aufgrund des geringen Stromanteils am Endenergiebedarf dürften diese Maßnahmen den Endenergiebedarf jedoch nur geringfügig beeinflussen.

Je nach Durchdringung der Einspartechniken wird der Brennstoffbedarf mittelfristig (2005) um 10 bis 15 % und langfristig (2020) um 20 bis 25 % sinken können /de Beer, 1994/. Der Strombedarf wird demgegenüber nur um 8 bzw. 12 % absinken.

6.1.3.4 Sonstige Steine-Erden

Unter Sonstige Steine-Erden fallen die Feuerfest-Industrie, gebrannte Zuschlagsstoffe, Natursteine, Stein- und Mineralwollerzeugnisse, Gips, Kalksandsteine, Sande, Kiese, Splitt, Schotter, Betonfertigteile und Transportbeton. Der überwiegende Anteil dieser Produkte findet im Baugewerbe Verwendung. In diesen Steine-Erden-Branchen entfallen ca. 28 % des Endenergiebedarfs auf die Bereitstellung von Raumwärme, Sanitärwarmwasser und Beleuchtung. Ein erheblicher Anteil des Strombedarfs entfällt auf Elektroantriebe für Aufbereiten, Schneiden, Malen, Polieren, Sieben, Mischen und innerbetrieblichen Transport.

Auf diesen Teilsektor "Sonstige Steine-Erden" entfielen 1989 62,7 % des Nettoproduktionswertes in Westdeutschland oder $7,23 \cdot 10^9$ DM (in Preisen von 1985) mit leicht steigender Tendenz. Der Endenergieverbrauch betrug 41 PJ im Jahre 1989. Der Stromanteil am Endenergieverbrauch betrug fast 23 % mit steigender Tendenz und liegt damit deutlich über dem Stromanteil am Endenergiebedarf der anderen energieintensiven Subsektoren (11 %) der Steine- und Erden-Industrie.

Als **Einspartechniken** im Bereich Sonstige Steine-Erden kommen verbesserte Ofenkonstruktion, eine verstärkte Wärmerückgewinnung aus Trocknern und Öfen, eine verbesserte Prozeßleittechnik sowie die bedarfsgesteuerte Regelung von Lüftern, Antrieben etc. zum Einsatz. Dies dürfte zu Einsparungen in den kommenden 15 Jahren von mindestens 20 % beim Brennstoff- und etwa 10 bis 15 % beim Strombedarf. Hinzu kommen die **strukturellen Effekte** zwischen und innerhalb der einzelnen Subbranchen der Steine-Erden Industrie, z. B. höhere Wachstumsgewinne der Fertigteileindustrie oder der Dämmstoffe sowie der Trend zu höherwertigen Produkten. In der Tendenz nehmen deshalb die spezifischen Energieverbräuche, soweit sie auf die Nettoproduktion bezogen sind, zusätzlich zu den Effizienzgewinnen, weiter ab.

6.1.3.5 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelprozesse zu Gesamtaussagen für die Steine- und Erdenindustrie

Die Produktion der in Brennstoffe und Strom unterteilte Endenergiebedarf der einzelnen Branchen der Steine- und Erdenindustrie im Basisjahr sowie die erwartete wirtschaftliche Entwicklung in der dazugehörigen Energiebedarfsentwicklung in drei Szenarien zeigt die Tabelle 6.1.3.5-1. Für die Steine- und Erdenindustrie wird ein Anstieg des Nettoproduktionswertes in den alten Bundesländern zwischen 1989 und 2005 um 63 % von 11,5 Mrd. DM auf rund

18,8 Mrd. DM angenommen, wobei ein überproportionales Wachstum bei der "Restlichen Steine- und Erdenindustrie" unterstellt wird. Bei der autonomen Entwicklung der Standard-Variante steigt der absolute Brennstoffbedarf von 1989 bis 2005 in den alten Bundesländern für die Steine- und Erdenindustrie um 24 % auf 197 PJ, der Strombedarf steigt um 41 % auf 35 PJ und somit deutlich niedriger als das Wirtschaftswachstum. Ein guter Teil dieser Effizienzsteigerung liegt aber in dem oben erwähnten überproportionalen Wachstum der im Vergleich zu den anderen Branchen der Steine- und Erdenindustrie weniger energieintensiven "Restlichen Steine- und Erdenindustrie" begründet.

Durch die Tötigung zusätzlicher Investitionen für Energieeinsparotechniken in Höhe von rund 400 Mio. DM im Strombereich und etwa 1 Mrd. DM im Brennstoffbereich dürfte sich der Strombedarf um ca. 5 % und der Brennstoffbedarf um knapp 6 % reduzieren lassen. Erreichbar erscheinen eine Reduktion von Brennstoff- und Strombedarf um jeweils rund 10 % (18,5 PJ Brennstoffe, 3,7 PJ Strom) für zusammen insgesamt rund 3 Mrd. DM (2 Mrd. DM Brennstoffe, 1 Mrd. DM Strom).

In den neuen Bundesländern wird bei einem Nettoproduktionswert von 7,7 Mrd. DM in der Steine- und Erdenindustrie im Jahre 2005 ein Brennstoffbedarf von 60,3 PJ und ein Strombedarf von 12,6 PJ erwartet. Hier ließe sich in der "Super-Spar"-Variante für Zusatzinvestitionen in Höhe von 400 bis 450 Mio. DM im Strombereich und rund 750 Mio. DM im Brennstoffbereich der Brennstoffbedarf auf knapp 55 PJ (um 9 %) und der Strombedarf auf 11,3 PJ (um 10,5 %) reduzieren.

Für das Jahr 2020 wird erwartet, daß der Nettoproduktionswert der Steine- und Erdenindustrie in Gesamtdeutschland auf knapp 40 Mrd. DM ansteigen wird. Bei "business as usual" wird dann mit einem Brennstoffbedarf von 346 PJ und einem Strombedarf von 62 PJ gerechnet. Durch Zusatzinvestitionen für Energieeinsparmaßnahmen in Höhe von 3 bis 3,5 Mrd. DM (1/3 für rationellere Stromverwendung, 2/3 für rationellere Brennstoffverwendung) könnte der Brennstoffbedarf um ca. 16 PJ und der Strombedarf um 2,8 PJ reduziert werden. Um den Brennstoffbedarf gegenüber der Standard-Variante um 8 % und den Strombedarf um 10 % zu senken, müßten für rationellere Brennstofftechniken ca. 5 bis 5,5 Mrd. DM und für rationellere Stromnutzung 2 bis 2,5 Mrd. DM investiert werden.

Branche	ABL 1989	ABL 2005	ABL 2005-1		ABL 2005-2		ABL 2005-3	
	Produktions- menge Mrd. DM NPW	Produktions- menge Mrd. DM	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
			Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.
			PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
Zement	1,85	2,55	85,30	12,90	80,10	12,10	76,9	11,4
Kalk	0,99	1,45	30,20	3,30	28,50	3,10	26,9	2,9
Ziegel	1,46	2,00	27,10	3,40	25,50	3,20	24,5	3,0
Restl. Steine- und Erden- Industrie	7,23	12,76	54,20	15,60	51,60	14,80	50,0	14,1
Summe	11,53	18,76	196,80	35,20	185,70	33,20	178,30	31,40

Branche	NBL 1989	NBL 2005	NBL 2005-1		NBL 2005-2		NBL 2005-3	
	Produktions- menge Mrd. DM NPW	Produktions- menge Mrd. DM	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
			Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.
			PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
Zement	0,12	0,75	25,10	3,80	23,50	3,60	22,6	3,3
Kalk	0,03	0,22	4,60	0,50	4,30	0,50	4,1	0,4
Ziegel	0,03	0,22	3,00	0,40	2,80	0,40	2,7	0,3
Restl. Steine- und Erden- Industrie	0,83	6,51	27,60	7,90	26,30	7,60	25,5	7,2
Summe	1,00	7,70	60,30	12,60	56,90	12,10	54,90	11,20

Branche	ABL+NBL 2020	ABL+NBL 2020-1		ABL+NBL 2020-2		ABL+NBL 2020-3	
	Produktions- menge Mrd. DM NPW	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.
		PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
Zement	4,60	144,30	20,50	138,60	19,90	131,10	19,10
Kalk	2,30	45,70	5,00	43,00	4,80	40,30	4,70
Ziegel	2,90	36,00	4,70	33,60	4,40	31,20	4,20
Restl. Steine- und Erden- Industrie	29,80	120,50	32,30	114,90	30,50	110,30	29,40
Summe	39,60	346,50	62,50	330,10	59,60	312,90	57,40

Quelle: FhG-ISI

(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Tab. 6.1.3.5-1: Produktion und Endenergiebedarf der Steine und Erden-Industrie in Deutschland, 1989-2020

6.1.4 Chemische Industrie

Im Rahmen der Untersuchungen zur chemischen Industrie wurde für folgende **chemische Grundstoffe** eine Detailanalyse durchgeführt: Chlor, Ammoniak, Aluminiumhydroxid/Aluminiumoxid, Phosphor, Soda, Calciumcarbid, Sauerstoff/Stickstoff, Acetylen, Methanol, Aromaten, Olefine, Polyolefine, Polyvinylchlorid und Chemiefasern. Die Herstellung aller sonstigen chemischen Grundstoffe sowie die übrige chemische Industrie werden als aggregierte Restgrößen behandelt. Gemäß der Abgrenzung der Energiebilanz wird der chemischen Industrie auch der Energiebedarf für die Erzeugung von Prozeßdampf zugeordnet.

Nachfolgend werden für die genannten chemischen Grundstoffe die durch Einsatz von Einspar-techniken bzw. durch Prozeßsubstitution möglichen Energieeffizienzpotentiale analysiert, um anschließend durch Aggregation dieser Einzeldaten Gesamtaussagen für die Chemische Industrie zu treffen. Die Daten zur Grundstoffproduktion in der ehemaligen DDR im Jahr 1988 stimmen weitgehend mit den über amtliche Statistiken der DDR verfügbaren Informationen überein /Energiebil. d. Verarb. Gew. d. DDR, 1991/, /Statist. Amt der DDR, 1989/; größere Abweichungen erklären sich aus der vom Vorgehen im IKARUS-Projekt abweichenden Abgrenzung bezüglich Nebenanlagen und bezüglich der Zuordnung zwischen energetischem und nichtenergetischem Verbrauch.

6.1.4.1 Chlor-Alkali-Elektrolyse

Die Herstellung von **Chlor** und des Koppelproduktes **Natronlauge** erfolgt in Deutschland praktisch ausschließlich durch Elektrolyse wäßriger Alkalichloridlösungen. Dabei dominierte in Westdeutschland im Jahr 1989 das **Amalgamverfahren** mit einem Anteil von rund 61 %, die übrigen 39 % entfielen im wesentlichen auf das **Diaphragmaverfahren**. Das Membranverfahren kam nur in einer Demonstrations- und Versuchsanlage mit einer Kapazität von 10.000 t Chlor pro Jahr zur Anwendung. In Ostdeutschland wurden 1988 in den Chemiekombinaten Buna und Bitterfeld insgesamt 0,59 Mio. t Chlor durch Elektrolyse wässriger Alkalichloridlösungen erzeugt, wobei das Amalgamverfahren mit einem Verfahrensanteil von 71 % dominierte, während die verbleibenden 29 % auf das Diaphragmaverfahren entfielen.

Fachkreise schätzen die **Energieeffizienzpotentiale** so ein, daß diese in der Vergangenheit durch Verbesserung der Gleichrichtung des elektrischen Stromes, durch Einsatz optimierter Meß- und Regeltechnik, durch konstruktive Verbesserung der Elektrolysezellen (Reduzierung des Spannungsabfalls im Elektrolyten, in den Zuleitungen und den Elektroden sowie

Verringerung der Wasserstoff-Überspannung) und durch optimierte Solereinigung und Produktaufbereitung zu einem sehr großen Anteil ausgeschöpft wurden und damit bei den beiden konventionellen Verfahren ein Einsparpotential von nur ca. 4 % bis 2005 und knapp 6 % bis 2020 erschlossen werden kann. Allerdings sind durch Anwendung von **Sauerstoffverzehr-Kathoden**, wie sie aus der Technologie der Brennstoffzellen bekannt sind, Stromeinsparungen in der Größenordnung von 20-30 % im Grundsatz denkbar. Naheliegender wäre die Substitution der beiden heute vorherrschenden Prozesse durch das energieeffizientere **Membranverfahren**, um erhebliche Einspareffekte erzielen zu können.

Gegen eine rasche Umstellung der Chlorproduktion auf das Membranverfahren sprechen zwar die hohen Kapitalkosten dieses Verfahrens /Staab et al., 1993/, die bei den derzeitigen Strompreisen vielleicht nicht ganz durch die geringeren Energiekosten aufgewogen würden, und die als unsicher einzuschätzende Entwicklung der Chlorproduktion in Deutschland. Dennoch ist die kontinuierliche Verfahrenssubstitution im Rahmen von Reinvestitionen zu erwarten, wofür außer der deutlich geringeren Energieintensität als ein wesentlicher Grund der Verzicht auf das Reaktionsmittel Quecksilber zu nennen ist (vgl. Beschlüsse der dritten Internationalen Nordseekonferenz /Pohle, 1992/). Dies dürfte dazu führen, daß die Anteile von Amalgam-, Diaphragma- und Membranverfahren im Jahr 2005 bei 40 %, 25 % bzw. 35 % liegen werden und daß die Chlorerzeugung im Jahr **2020 praktisch ausschließlich auf dem Membranverfahren** beruhen wird.

Insgesamt ermöglichen die angenommene Änderung der Verfahrensanteile und die Technologien zur rationelleren Energienutzung die Reduzierung des mittleren spezifischen Strombedarfes von 11,36 GJ/t Chlor (Westdeutschland, 1989) auf minimal⁸ 9,9 GJ/t bis 2005 (-13 %) und min. 5,3 GJ/t bis 2020 (-54 %). Bei Brennstoffen kann der Einsatz von 1,1 GJ/t auf minimal 0,93 GJ/t (2005) bzw. 0,65 GJ/t (2020) gesenkt werden⁹.

6.1.4.2 Ammoniaksynthese

Die Gewinnung des für die Ammoniakherstellung erforderlichen Wasserstoffs erfolgte in Westdeutschland im Jahr 1989 zu zwei Dritteln durch Steamreformieren von Erdgas und zum verbleibenden Drittel durch die Vergasung von Schweröl (partielle Oxidation). Im Gegensatz

⁸Unter minimalem Energieeinsatz (bzw. maximaler Einsparung) wird hier und im folgenden der dem Szenario Super-Spar (3) entsprechende Energiebedarf verstanden.

⁹Annahme des vollständigen Verzichts auf das Aufkonzentrieren der Natronlauge im Super-Spar-Szenario für 2020

dazu wurde in der damaligen DDR praktisch der gesamte Synthesewasserstoff aus Erdgas gewonnen. Das zweite Edukt, Stickstoff, wird außer über das Synthesegas (Sekundärreformer) durch die Zerlegung von Luft bereitgestellt, die im Rahmen von IKARUS als eigenständiger Prozeß behandelt wird (Herstellung von Stickstoff und Sauerstoff, s. Kap. 6.1.4.7).

Als Maßnahmen zur Senkung des Energieeinsatzes wurden die Verlagerung eines Teils der Reformierreaktion vom Primär- auf den Sekundärreformer berücksichtigt sowie die durch weiterentwickelte Katalysatoren und verbesserte Reaktoren erwartete Erhöhung der Umwandlungsraten. Ferner wurde bei den Spar- und Supersparversionen für die beiden Prognosejahre höhere Produktionsanteile des energieeffizienteren Herstellprozesses mit Erdgas als Rohstoffbasis angenommen¹⁰.

Da sich die Abgrenzung der Daten an der Energiebilanz /Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 1995/ orientiert, muß zwischen dem energetischen Einsatz, welcher direkt der jeweiligen Branche zugeordnet wird (hier: Chemische Industrie), und dem nichtenergetischen Verbrauch als gesonderte Verwendungskategorie unterschieden werden. Für die hier getroffene Differenzierung zwischen diesen beiden Einsatzarten, die im Fall der Ammoniakherstellung nicht unproblematisch ist, wird auf den Detailbericht zur Grundstoffindustrie /Bradke u.a., 1996/ verwiesen. Ferner ist anzumerken, daß trotz dieser Unterscheidung **keine Konsistenz mit der Energiebilanz** vorliegt, da diese im Falle der NH₃-Erzeugung den gesamten Energieträgerbedarf dem nichtenergetischen Verbrauch zuordnet. Auf die zur Behandlung dieses Problems gewählte Vorgehensweise wird weiter unten eingegangen (s. Kap. 6.1.4.15 „Aggregation der Einzelprozesse zu Gesamtaussagen für die Chemische Industrie“).

Durch Anwendung der obengenannten Einspartechniken und Änderungen in der Produktionsstruktur kann der mittlere spezifische Brennstoffbedarf von gut 11 GJ/t Ammoniak (Westdeutschland, 1989) auf minimal 10,2 GJ/t bis 2005 (-7 %) und min. 8,5 GJ/t bis 2020 (-23 %) reduziert werden. Für den Stromverbrauch sind wenige Einsparmöglichkeiten bekannt, die sich im wesentlichen auf die Elektromotoren und Pumpen sowie die Synthesegas-Kompressoren beziehen /de Beer, 1994/.

¹⁰Im Rahmen der IKARUS-Analysen wurde davon ausgegangen, daß eine freie Wahl für oder gegen den Energieträger Schweröl besteht (Substitutionsfreiheit). Der durch die heutige Raffineriestruktur gegebene Verwertungszwang aufgrund der Schwerölerzeugung als Koppelprodukt der Leichtfraktionen wird demnach nicht als der begrenzende Faktor für die Energieträgerwahl gesehen, denn der Produktionsanteil von Schweröl könnte durch einen größeren Anteil von Crack- und Hydrierstufen im Raffineriesektor reduziert werden.

6.1.4.3 Herstellung von Aluminiumhydroxid/Aluminiumoxid

Die nach dem Stand der Technik und in absehbarer Zukunft zur Verfügung stehenden Technologien zur rationelleren Energienutzung bei der Herstellung von Aluminiumhydroxid/Aluminiumoxid beziehen sich ausschließlich auf den Brennstoffeinsatz, dessen Anteil mit rund 90 % am Endenergiebedarf der beiden Verfahrensschritte Bayeraufschluß und Kalzinierung besonders groß ist. Bei der Herstellung von Aluminiumhydroxid durch Aufschluß sind Einsparungen durch die Umstellung der Herstellung in Autoklaven auf **Rohrreaktoren** möglich, deren Energiebedarf durch **Brenner- und Prozeßoptimierung** weiter gesenkt werden kann. Bei der Kalzinierung des Aluminiumhydroxids zu Al_2O_3 ermöglicht neben verbrennungstechnischen Optimierungen vor allem der Übergang von Drehrohröfen auf die energieeffizientere Wirbelschichttechnologie die Senkung des spezifischen Energieeinsatzes.

Insgesamt ermöglichen diese Maßnahmen die Reduzierung des mittleren spezifischen Brennstoffbedarfes von 9,0 GJ/t Al_2O_3 (Westdeutschland, 1989) auf minimal 6,8 GJ/t bis 2005 (-24 %). Allerdings kann dieser Rückgang der Energieintensität nur in sehr begrenztem Umfang Wirkung zeigen, da die Produktion in den neuen Bundesländern bereits völlig eingestellt wurde und für die alten Länder der Rückgang der Erzeugung von 964 kt im Jahr 1989 auf 250 kt im Jahr 2005 und die Einstellung der Produktion bis im Jahr 2020 unterstellt wird, da die nächste Verarbeitungsstufe, die Erzeugung von Hüttenaluminium, in den kommenden Jahrzehnten aus Deutschland an die Rohstoffländer mit günstiger Wasserkraft auswandern und damit als inländischer Nachfrager ausfallen wird (vgl. Kap. 6.1.2).

6.1.4.4 Phosphor

Bei der Herstellung von weißem Phosphor bestehen die Einsparmöglichkeiten in der Verwendung von phosphatreichen Ausgangsmaterialien mit besonders geringem Calciumanteil sowie in der weitgehenden Nutzung des bei der elektrothermischen Reduktion anfallenden kohlenmonoxidreichen Ofengases¹¹. Diese Einsparmaßnahmen haben jedoch für die inländische Produktion keine praktische Bedeutung mehr, da seit Mitte 1992 weder in West- noch in Ostdeutschland weißer Phosphor hergestellt wird.

¹¹In Westdeutschland wurden im Jahr 1989 90 % der erzeugten Ofengase zum Trocknen und Sintern der Pellets genutzt, während die verbleibenden 10 % in der Regel abgefackelt wurden und damit energetisch ungenutzt blieben.

6.1.4.5 Soda

Die im Jahr 1989 in der Westdeutschland betriebenen Anlagen zur Herstellung von Soda nach dem Solvay-Verfahren waren zu diesem Zeitpunkt durchschnittlich etwa 50 Jahre alt. Trotz der laufenden Modernisierung des Anlagenbestandes ist damit insbesondere die grundlegende Sanierung und der Neubau von Kapazitäten, wie dies derzeit in den neuen Bundesländern geschieht (Bernburg, Straßfurt), das geeignete Mittel zum Erzielen der dem Stand der Technik entsprechenden Energieintensität.

Als Einsparoption steht der **Trockenkalkprozeß** zur Verfügung, durch den pro Tonne Soda etwa 0,5 t Niederdruckdampf eingespart werden können. Die Umsetzung dieser und anderer Maßnahmen wird jedoch durch die eingesetzten Rohstoffe (Qualität des verfügbaren Kalkes) sowie durch Platzmangel in den vorhandenen Anlagen behindert. Ferner gewinnt die mit dem Solvayverfahren konkurrierende Gewinnung von Natursoda an Bedeutung und bedingt den Rückgang der inländischen Sodaproduktion.

Insgesamt führt diese Situation dazu, daß für den Prognosezeitraum ein gemessen am technischen Potential vergleichsweise geringer Rückgang des spezifischen Energieeinsatzes erwartet wird. Es wird angenommen, daß der Brennstoffeinsatz von 9,0 GJ/t im Jahr 1989 (Westdeutschland) bis 2005 auf lediglich minimal 8,2 GJ/t Soda abnimmt (-9 %) und bis 2020 auf min. 8,0 GJ/t (-11 %).

6.1.4.6 Calciumcarbid

Die Aussichten auf eine weitere energetische Optimierung der Calciumcarbiderzeugung sind insgesamt als recht begrenzt einzuschätzen. Während nämlich durch optimierte Prozeßsteuerung und Lichtbogenregelung weitere, wenngleich vergleichsweise geringe, Energieeinsparungen möglich sein dürften, wurde die von dem einzigen deutschen CaC_2 -Produzenten vor einigen Jahren verfolgte Rückgewinnung von fühlbarer Wärme aus der Calciumcarbidschmelze inzwischen aufgegeben, so daß die Umsetzung dieser Einsparmaßnahme innerhalb des Prognosezeitraumes wieder unwahrscheinlicher geworden ist. Erschwert wird die Realisierung technologisch beherrschter und weiterer Entwicklungsarbeit bedürftiger Maßnahmen durch die Produktionsentwicklung. So wird in Westdeutschland für die Zukunft mit weiteren Produktionsrückgängen und zunehmendem Importdruck gerechnet. In Ostdeutschland wurde die ehemals sehr hohe Calciumcarbidproduktion völlig eingestellt, was vor allem auf die Umstellung der bisherigen Acetylenchemie (auch Reppechemie genannt) auf eine moderne Petrochemie zurückzuführen ist.

Insgesamt führt dies zur Reduzierung des spezifischen Stromverbrauches ausgehend von 11,82 GJ/t im Jahr 1989 (Westdeutschland) auf minimal 11,67 GJ/t Calciumcarbid bis 2005 (-1 %) und auf min. 11 GJ/t bis 2020 (-2 %).

6.1.4.7 Herstellung von Sauerstoff und Stickstoff

Die drei technischen Prozesse, mit denen Luft zerlegt werden kann, sind das **Tiefemperatur-Verfahren** (Linde-Delorm-Verfahren), das **PSA-Verfahren** (Pressure Swing Adsorption) und das **Membranverfahren**. Von diesen Prozessen hat das vorwiegend in Großanlagen angewandte traditionelle Tiefemperatur-Verfahren die mit Abstand größte Bedeutung. Dagegen eignet sich das PSA-Verfahren besonders für kleinere Produktmengen von Stickstoff oder Sauerstoff bei geringeren Anforderungen an die Reinheit. Die bisher vermarkteten Membranverfahren ermöglichen ausschließlich die Herstellung von reinem Stickstoff bzw. die Anreicherung von Sauerstoff in der Luft.

Bei allen drei Technologien bestehen Möglichkeiten zur Senkung des Strombedarfes durch weitere Prozeßoptimierung. Am geringsten ist das Einsparpotential bei der weitgehend ausgereiften Tiefemperaturtechnik, während die größten Optimierungsmöglichkeiten bei der in einem noch frühen Entwicklungsstadium befindlichen Membrantechnologie erwartet werden. Allerdings werden diese Einsparungen praktisch vollständig durch den zunehmenden Produktionsanteil in PSA- und Membrananlagen aufgezehrt, bei denen der Vorteil dezentraler Produktion in kleineren Anlagen durch einen höheren spezifischen Energiebedarf im Vergleich zum Tiefemperaturverfahren erkaufte wird.

Insgesamt führt die prognostizierte Änderung der Verfahrensanteile in Kombination mit den Technologien zur rationelleren Energienutzung also dazu, daß der mittlere spezifische Strombedarf im gesamten Prognosezeitraum nahezu konstant bei 1,6 GJ/t verharren dürfte. Lediglich kleinere Verbesserungen bei den Motorsystemen und den Membranen (höhere Selektivität) werden erwartet.

6.1.4.8 Herstellung von Acetylen

Bei der Herstellung von Acetylen unterscheidet man vier großtechnische Verfahren: dies sind die Hydrolyse von Calciumcarbid, die partielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen nach dem BASF-Verfahren, die elektrothermische Zersetzung von Kohlenwasserstoffen im Lichtbogen

sowie die Extraktion aus den Produktgasen von Olefincrackern. Zur energetischen Bilanzierung ist zu bemerken, daß die Acetylenherstellung auf Carbidbasis die Erzeugung des Calciumcarbids nicht einschließt, da diese als eigener Prozeß behandelt wird (s. Kap. 6.1.4.6).

Schließt man die Calciumcarbiderzeugung in die Prozeßkette ein, um die Produktionsverfahren hinsichtlich ihrer Energieintensität miteinander vergleichen zu können, so stellt man fest, daß der Endenergiebedarf bei den drei Technologien Hydrolyse, partielle Oxidation und Lichtbogenverfahren mit 43 bis 51 GJ/t recht nahe beieinander liegt¹². Im Vergleich dazu liegt der Energieeinsatz zur **Acetylenextraktion aus Crackergasen** mit rund 17 GJ/t deutlich geringer. Die Prognosen für die Produktionsmengen nach den einzelnen Verfahren zeigt, daß lediglich für das energieeffiziente Extraktionsverfahren mit Produktionssteigerungen zu rechnen ist (als Koppelprodukt der zunehmenden Olefinproduktion in Steamcrackern), während die Bedeutung der übrigen Verfahren zurückgehen dürfte. Damit führt dieser Substitutionsprozeß zu einer energieeffizienteren Produktionsstruktur: schließt man die Herstellung des Calciumcarbids in die energetische Bilanzierung ein und bewertet man die elektrische Energie primärenergetisch¹³, so führen die erwarteten Entwicklungen bezüglich Produktionsstruktur und Energieeffizienz zur Abnahme des spezifischen Energiebedarfes von 95,8 GJ/t Acetylen auf (Westdeutschland, 1989) auf minimal 74 GJ/t bis 2005 (-23 %) und auf min. 68 GJ/t bis 2020 (-29 %).

6.1.4.9 Herstellung von Methanol

Methanol wird großtechnisch aus Gasgemischen von Wasserstoff und Kohlenmonoxid hergestellt. Dieses Synthesegas wird in Deutschland zum überwiegenden Teil aus Schwerölen, ferner aus Acetylenarmgas und Braunkohle gewonnen. Wie bei Ammoniak muß auch bei Methanol unterschieden werden zwischen dem energetischen Einsatz und dem nichtenergetischen Verbrauch, welcher hier mit dem Heizwert gleichgesetzt wird.

Bei der Methanolherstellung auf Basis von Acetylenarmgas ist ein geringerer spezifischer Energieaufwand erforderlich als bei anderen Ausgangsstoffen, da die C-H-Spaltenergie nicht mehr aufgebracht werden muß. Da dieses Armgas als Nebenerzeugnis der Herstellung von Acetylen nach dem BASF-Verfahren anfällt, besteht bei der Modellierung das Problem der

¹² In manchen dieser Prozesse fallen Koppelprodukte an. Die Art der Bewertung dieser Erzeugnisse beeinflusst die ermittelte Energieintensität des Hauptproduktes (Acetylen). Für eine detaillierte Beschreibung des gewählten Vorgehens wird auf den Detailbericht zur Acetylenherstellung verwiesen (Kapitel 6.5.8).

¹³angenommener Wirkungsgrad für die Stromerzeugung: $\eta_{\text{Stromerzeugung}} = 0,35$

Zuordnung des Gesamtenergieeinsatzes auf die einzelnen Koppelprodukte. Zu dessen Behandlung wird die energetische Bewertung über die als Substitutionsprozeß gewählte Methanolherstellung aus Erdgas vorgenommen.

Die Prognose der Methanolproduktion aus Acetylenarmgas wurde an die für den Prognosezeitraum erwartete Produktionsentwicklung der Acetylenherzeugung nach dem BASF-Verfahren gekoppelt.

Energieeinsparstechniken stehen vor allem zur Senkung des Brennstoffeinsatzes zur Verfügung. Dabei handelt es sich um **weitere Prozeßoptimierungen** (z. T. verstärkte Abwärmenutzung) bei der Synthesegasherstellung aus Schweröl sowie aus Erdgas. Ferner eröffnet die im Rahmen von Reinvestitionen mögliche, sukzessive **Substitution** der heute dominierenden Produktion auf Schwerölbasis durch die weniger energieintensive Erzeugung aus **Erdgas** Einsparpotentiale¹⁴. Diese Einsparmöglichkeit wird durch den für die einzelnen Szenarien¹⁵ der Prognosejahre zunehmenden Produktionsanteil auf Erdgasbasis berücksichtigt.

In summa führen die prognostizierten Effizienz- und Struktureffekte dazu, daß der spezifische Brennstoffeinsatz von 14,04 GJ/t Methanol im Jahr 1989 (Westdeutschland) auf minimal 11,5 GJ/t bis 2005 (-18 %) und auf min. 11,3 GJ/t bis 2020 (-20 %) zurückgehen kann.

6.1.4.10 Gewinnung von Aromaten

Bei der Produktion von Aromaten werden nur die als chemischer Grundstoff eingesetzten Reinaromaten berücksichtigt, während die als Bestandteil des Ottokraftstoffes produzierten Mengen im Umwandlungssektor (Teilprojekt 4, /Fahl/Herrmann/Voß, 1995/) behandelt werden. Die wichtigsten Verfahren der Aromatengewinnung sind die Extraktivdestillation, die Extraktion sowie die Hydrodealkylierung von Toluol zu Benzol, wobei das letztgenannte Verfahren angewandt wird, um das Überangebot an Toluol auszugleichen. Damit handelt es sich mit Ausnahme der Hydrodealkylierung nicht um aromatenproduzierende Verfahrensschritte, sondern vielmehr um die Separation von Aromaten aus einem Stoffgemisch. Die eigentlichen Aromaten erzeugenden Prozesse sind das Steamcracken zur

¹⁴Im Rahmen der IKARUS-Analysen wurde davon ausgegangen, daß eine freie Wahl für oder gegen den Energieträger Schweröl besteht (Substitutionsfreiheit). Der durch die heutige Raffineriestruktur gegebene Verwertungszwang aufgrund der Schwerölerzeugung als Koppelprodukt der Leichtfraktionen wird demnach nicht als der begrenzende Faktor für die Energieträgerwahl gesehen, denn der Produktionsanteil von Schweröl könnte durch eine einen größeren Anteil von Crack- und Hydrierstufen im Raffineriesektor reduziert werden.

¹⁵Szenarien für die beiden Prognosejahre 2005 und 2020: Standard, Spar und SuperSpar

Olefinproduktion (s. u.), das Reformieren in Raffinerien und die Verkokung (vgl. /Fahl/Herrmann/Voß, 1995/).

Die größten Einsparpotentiale werden in der **optimierten Wärmekopplung** gesehen, insbesondere im Verbund der Extraktivdestillation mit der Vordestillation, aber auch bei der Extraktion in Kombination mit anderen Lösungsmitteln. Ferner ermöglicht das **Molekularsiebverfahren** die energiesparende Trennung von Xylolisomeren. Da für die Prognose als erste Näherung von der gleichen Verteilung der Verfahrensanteile wie im Basisjahr 1989 ausgegangen wurde, ist der Rückgang der Energieintensität ausschließlich auf die genannten Technologien der rationelleren Energienutzung zurückzuführen. Diese ermöglichen die Reduzierung des spezifischen Brennstoffeinsatzes (Dampf) von 2,19 GJ/t Aromaten im Jahr 1989 (Westdeutschland) auf minimal 1,9 GJ/t bis 2005 (-13 %) und auf min. 1,7 GJ/t bis 2020 (-22 %). Dagegen bleibt der spezifische Stromeinsatz im Prognosezeitraum praktisch unverändert.

6.1.4.11 Herstellung von Olefinen

Für die Herstellung von Olefinen hat das Steamcracken (thermisches Cracken) die mit Abstand größte Bedeutung. Von Experten wird erwartet, daß dieses Verfahren auch bis zum Jahr 2020 eine wesentliche Rolle spielen wird, wengleich die heute in Entwicklung befindliche Ethenherstellung über die katalytische Oxidation von Erdgas im Prognosezeitraum großtechnisch zur Anwendung kommen könnte. Da für diesen neuen Prozeß sowie für grundsätzlich modifizierte Verfahren des Steamcrackens, wie z. B. die Thermokatalyse, keine Daten vorliegen, wurde für die Prognosen angenommen, daß die Olefinproduktion auch in Zukunft nach dem klassischen, wengleich energetisch weiter optimierten Verfahren des Steamcrackens erfolgen wird. Aus diesem Grund könnten die prognostizierten Energieeinsätze deutlich überhöht sein.

Als Einsatzstoffe des Steamcrackens wurden in Westdeutschland 1989 zu knapp 78 % Naphtha, zu knapp 14 % Gasöl und zu gut 8 % gasförmige Kohlenwasserstoffe eingesetzt. In erster Näherung wird angenommen, daß diese Zusammensetzung des Rohstoffeinsatzes auch in der Zukunft in Deutschland erhalten bleiben wird. Der Grund für diese Annahmen liegt darin, daß es in der BRD praktisch keine Spaltanlagen in Küstennähe gibt, welche den Vorteil des kostengünstigen Angebotes an importierten gasförmigen Kohlenwasserstoffen nutzen könnten.

Als Einspartechniken wurde die Kraft-Wärme-Kopplung durch **Integration einer Gasturbine** zur Ofenbeheizung berücksichtigt, die **On-Line-Optimierung** mittels eines kombinierten

Meß-, Regel- und Simulationssysteme und die thermodynamische **Optimierung der Crackgasaufbereitung**; weitere Möglichkeiten zur Senkung des Energieeinsatzes sind die Begrenzung der Reinheit des für Polymerisationszwecke eingesetzten Propens, **verbesserte Isolierung** sowie das **Screenen** und ggf. Vorbehandeln der Einsatzstoffe. Diese effizienzsteigernden Maßnahmen führen insgesamt zu einem Rückgang des mittleren spezifischen Brennstoffeinsatzes von 25,2 GJ/t Ethylen im Jahr 1989 (Westdeutschland) auf minimal 21,5 GJ/t bis 2005 (-14,5 %) und auf min. 20,0 GJ/t bis 2020 (-21 %). /De Beer, 1994/ geht sogar durch Verwendung einer Trennwandkolonne davon aus, daß bis zu 30 bis 40 % Brennstoffeinsparung möglich werden, und dies bei keinen zusätzlichen Investitionskosten.

Durch die Integration einer Gasturbine wird der Steamcrackprozeß vom Stromverbraucher zum Nettostromerzeuger, so daß dem mittleren Strombedarf von 0,2 GJ/t Ethylen im Jahr 1989 (Westdeutschland) eine maximale Nettostromproduktion von 0,85 GJ/t in 2005 und von 1,3 GJ/t in 2020 gegenübersteht.

6.1.4.12 Herstellung von Polyolefinen

Die Möglichkeiten zur Senkung des Energieeinsatzes in der Polyolefinherstellung sind in erster Linie in **Verfahrenssubstitutionen** zu sehen. Dabei sind prinzipiell zwei Gruppen von Substitutionsmöglichkeiten zu unterscheiden. Dies sind zum einen Verschiebungen bei den Anteilen der verschiedenen Polyolefintypen zugunsten der in der Herstellung weniger energieintensiven Typen LLDPE und PP und zum anderen die Substitution energieintensiverer Produktionsverfahren für einzelne Polyolefintypen vor allem durch das energieeffizientere **Gasphasenverfahren**. Dagegen sind Effizienzsteigerungen in den diversen Produktionsverfahren für LDPE, LLDPE, HDPE und PP von untergeordneter Bedeutung¹⁶.

Der prognostizierte Wandel in der Produktionsstruktur führt dazu, daß der spezifische Brennstoffeinsatz von 0,87 GJ pro Tonne Produktmix Polyolefine im Jahr 1989 (Westdeutschland) auf minimal 0,8 GJ/t bis 2005 (-8 %) und im Bestfall auf unter 0,66 GJ/t bis 2020 (-24 %) zurückgeht. Beim Stromverbrauch liegen die entsprechenden Werte bei 2,32 GJ/t Polyolefine für 1989 und minimal 2,1 bzw. 2,0 GJ/t für 2005 (-9 %) bzw. 2020 (-15 %).

¹⁶Zur Quantifizierung von Effizienzsteigerungen an den einzelnen Verfahren durch Einsparmaßnahmen wurde für die Prognosen die sehr vorsichtige Annahme getroffen, daß im Jahr 2020 die Einsparung von 5 % an elektrischer Energie gegenüber 1989 möglich sein wird.

6.1.4.13 Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC)

Bei der Herstellung von Polyvinylchlorid wird im Rahmen dieser Analyse nur der Energiebedarf betrachtet, der für die Polymerisation von monomerem Vinylchlorid zu PVC notwendig ist. Die bedeutendsten großtechnischen Verfahren zur Herstellung von PVC sind die Suspensionspolymerisation (PVC-S), Emulsionspolymerisation (PVC-E) und Massepolymerisation (PVC-M). Diese Polymerisationsverfahren unterscheiden sich zwar hinsichtlich ihres spezifischen Energieeinsatzes deutlich voneinander, aufgrund der unterschiedlichen Produktqualitäten sind sie jedoch nicht direkt untereinander substituierbar. Nichtsdestotrotz wird erwartet, daß der Anteil des energiegieünstigsten Suspensionspolymerisationsverfahrens sich noch erhöhen wird. Die Möglichkeiten zur Senkung der Energieintensität konzentrieren sich auf die Trocknung als energieintensivster Verfahrensschritt, wobei die bedeutendsten Potentiale in der Anwendung von **Wirbelbett Trocknern** für die Herstellung von PVC-S und PVC-E gesehen werden. /Obst, Petrick, 1995/.

Diese Entwicklungen ermöglichen den Rückgang des spezifischen Brennstoffeinsatzes von 3,27 GJ/t PVC im Jahr 1989 (Westdeutschland) auf minimal 2,8 GJ/t bis 2005 (-15 %) und min. 2,5 GJ/t bis 2020 (-24 %). Beim Stromverbrauch sind keine nennenswerten Energieeinsparstechniken bekannt.

6.1.4.14 Herstellung von Chemiefasern

Die hinsichtlich der Produktionsmengen wichtigsten Chemiefasern sind Erzeugnisse aus Cellulose, Polyester, Polyamid und Polyacryl. Für diese Faserstoffe werden für die Zukunft nur relativ **geringe Anteilsverschiebungen** erwartet, so daß keine bedeutenden Änderungen in der Energieintensität durch den Wandel in der Produktionsstruktur anzunehmen sind. Damit haben die Maßnahmen zur rationelleren Energienutzung den Haupteinfluß auf die Entwicklung des spezifischen Energiebedarfes der Chemiefaserherstellung. Die wichtigsten Einsparmaßnahmen sind der **optimierte Wärmeverbund** durch Auskoppelung von Prozeßwärme bzw. durch unmittelbare Weiterverarbeitung, die Erhöhung des Anteils **kontinuierlicher** auf Kosten diskontinuierlicher **Prozesse** der Spinnmassenherstellung, die Zunahme des Anteiles von **Direktspinnereien** sowie die **optimierte Online-Überwachung** der Produktionsparameter.

Für die Behandlung in IKARUS wird die Herstellung von Chemiefasern untergliedert in die Spinnmassenherstellung, die der Erzeugung von Grundstoffen zuzuordnen ist, und den nachfolgendem Verarbeitungsschritt des Spinnens zu Filamenten.

Durch Anwendung der effizienzsteigernden Maßnahmen kann der mittlere spezifische Brennstoffbedarf für die Spinnmassenherstellung je Tonne Produktmix an Chemiefasern von gut 9,15 GJ/t (Westdeutschland, 1989) auf minimal 7,8 GJ/t bis 2005 (-15 %) und min. 7,1 GJ/t bis 2020 (-22 %) reduziert werden. Der spezifische Brennstoffbedarf für das Spinnen von 1 t Chemiefasermix vermindert sich von 11,3 GJ/t (Westdeutschland, 1989) auf min. 9,6 GJ/t bis 2005 (-15 %) und günstigstenfalls knapp 8,9 GJ/t bis 2020 (-22 %). Die beim Stromeinsatz möglichen Effizienzsteigerungen sind im Vergleich hierzu gering (-5 % bis 2020).

6.1.4.15 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelprozesse zu Gesamtaussagen für die Chemische Industrie

Die Tabellen 6.1.4.15-1 bis 6.1.4.15-3 zeigen die absoluten Energieeinsätze der oben beschriebenen Einzelprozesse für 1989 und für die Prognosejahre 2005 und 2020 in den drei Varianten "Standard", "Spar" und "Superspar" sowie die Aggregation dieser Daten zu Gesamtwerten für die chemische Industrie. Dabei konnten lediglich die obengenannten, aus der Literatur und über Expertenbefragungen bekannten Einsparmaßnahmen berücksichtigt werden, woraus eine **Unterschätzung des tatsächlichen Energieeinsparpotentials** zu schließen ist. Dies ist um so mehr der Fall, da energetisch optimierte Verschaltungen von Einzelanlagen, wie dies etwa die Gesamtbetrieboptimierung¹⁷ nach der Pinch-Methode ermöglicht, unberücksichtigt blieben /Linnhoff, 1993/, /Bueb/ Kussi, 1994/.

Bei drei Herstellungsprozessen mit mengenmäßig bedeutenden Energieträgereinsätzen bestehen insofern Inkonsistenzen mit der Datenerhebung der Energiebilanz /Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen/, als von der dort gewählten Abgrenzung zwischen energetischem und nichtenergetischem Verbrauch¹⁸ **abgewichen** wurde. Dabei handelt es sich um die Prozesse zur Herstellung von **Ammoniak, von Olefinen und von Methanol**, die sich dadurch auszeichnen, daß ein Teil des Rohstoffeinsatzes den zum Betreiben des Prozesses notwendigen Energiebedarf deckt. Diese Anteile wurden in IKARUS als energetischer Verbrauch definiert, während sie in der Energiebilanz in dem Posten nichtenergetischer Verbrauch enthalten sind. Dies bedeutet, daß der über IKARUS ermittelte energetische Einsatz der Chemischen Industrie über dem von der Energiebilanz ausgewiesenen Wert liegt, wobei die Differenz zwischen den beiden Werten dem energetischen Verbrauch bei der Herstellung der

¹⁷"Total-Site-Optimization"

¹⁸Der nichtenergetische Verbrauch stellt den stofflichen Einsatz (feedstock, Rohstoffeinsatz) dar.

drei genannten Prozesse entspricht¹⁹. Zur Anpassung des nach IKARUS ermittelten Gesamtbrennstoffbedarfs an die Abgrenzung der Energiebilanz sind daher die Brennstoffeinsätze für die Herstellung von Ammoniak, Methanol und Olefinen zu subtrahieren, die beispielsweise für die westdeutsche Industrie im Jahre 1989 mit fast 117 PJ etwa 38 % des in der Energiebilanz ausgewiesenen Brennstoffbedarfs ausmachten (s. Tabellen 6.1.4.15-1 bis 6.1.4.15-3).

¹⁹An dieser Stelle ist anzumerken, daß der energetische Verbrauch der Olefinherstellung über den Brennstoffeinsatz zur Spaltröhrenheizung vergleichsweise genau bestimmbar ist, während bei der Ammoniakherstellung nach unterschiedlichen Kriterien zwischen energetischem und nichtenergetischem Einsatz differenziert werden kann.

Produkt/Prozeß	ABL 1989	ABL 1989		ABL 2005	ABL 2005-1		ABL 2005-2		ABL 2005-3	
	Produktions- menge	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brst.+Dpf.*	elektr. Str.		Brst.+Dpf.*	elektr. Str.	Brst.+Dpf.*	elektr. Str.	Brst.+Dpf.*	elektr. Str.
	1000 t	PJ	PJ	1000 t	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
Acetylen	226,0	3,0	5,9	150,0	3,1	2,4	3,1	2,4	3,1	2,4
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	964,0	8,7	0,8	250,0	1,7	0,2	1,7	0,2	1,7	0,2
Ammoniak	2103,0	23,4	0,3	1700,0	18,3	0,2	18,1	0,2	17,4	0,2
Aromaten	2594,0	5,7	0,3	3200,0	6,6	0,4	6,3	0,4	6,2	0,4
Calciumcarbld (CaC ₂)	330,0	0,7	3,9	180,0	0,4	2,1	0,4	2,1	0,4	2,1
Chlor (NaOH)	3443,0	3,9	39,1	3000,0	2,9	30,5	2,9	30,1	2,8	29,6
Methanol	697,9	9,8	0,1	650,0	9,5	0,1	9,3	0,1	7,5	0,1
O ₂	4910,0	0,0	8,0	4962,6	0,0	8,2	0,0	8,1	0,0	8,0
Olefine	2994,5	75,5	0,6	3070,0	71,0	-1,2	67,8	-2,1	66,2	-2,6
Phosphor	69,0	2,5	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Polyolefine (PE und PP)	1941,0	1,7	4,5	2100,0	1,9	4,9	1,8	4,6	1,7	4,4
PVC	1319,8	4,3	1,3	1000,0	2,9	1,0	2,8	1,0	2,8	1,0
Soda	1443,0	13,0	0,2	1000,0	8,7	0,1	8,5	0,1	8,2	0,1
Chemiefasern 1 - Herst. d. Spinnmasse/Spinnlösung	1050,9	9,6	3,7	884,0	7,5	3,1	7,2	3,1	6,9	3,1
Grundstoffe		161,8	71,8		134,5	52,0	129,9	50,3	125,0	49,0
sonst. chem. Grundstoffe		136,1	61,4		128,2	62,3	118,4	57,8	108,9	53,4
Summe Chemische Grundstoffe		297,9	133,2		262,7	114,3	248,3	108,1	233,8	102,4
Chemiefasern 2 - Spinnen zu Fasern		11,9	3,7		9,3	3,1	8,9	3,1	8,5	3,1
übrige chemische Industrie		87,0	26,0		85,8	29,6	79,9	27,5	73,4	25,4
Summe Chem. Ind., Abgrenzung IKARUS		396,8	162,9		357,8	147,0	337,1	138,7	315,8	130,9
Korrektur										
Anpassung an die Abgrenzung der Energiebilanz durch Sub- traktion der Brennstoffeinsätze für die Herstellung von***):										
- Ammoniak		-23,4			-18,3		-18,1		-17,4	
- Methanol		-9,8			-9,5		-9,3		-7,5	
- Olefine		-75,5			-71,0		-67,8		-66,2	
Summe Chem. Ind., Abgrenzung Energiebilanz		288,1	162,9		259,0	147,0	241,9	138,7	224,8	130,9

* In den Spreadsheets, die die Datenbasis darstellen, wird zwischen Dampf und Brennstoffen nicht unterschieden

** Kein Brennstoffanteil/Brennstoffeinsatz für Stromerzeugung, da sonst Doppelzählung; weitere Annahme: die Dampf- und Stromwirtschaft deckt auch den von der Energiebilanz ausgewiesenen Fernwärmebedarf der Chemischen Industrie

*** Der Brennstoffeinsatz für die Produktion der Grundstoffe Ammoniak, Methanol und Olefine wird in der Energiebilanz in seiner Gesamtheit dem Nichtenergetischen Verbrauch zugeordnet → um von der IKARUS-Abgrenzung zur Abgrenzung der Energiebilanz zu gelangen, sind diese Werte zu subtrahieren

Tab. 6.1.4.15-1: Produktion und Energiebedarf der chemischen Industrie, Westdeutschland bis 2005
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Produkt/Prozeß	NBL 1988	NBL 1989		NBL 2005	NBL 2005-1		NBL 2005-2		NBL 2005-3	
	Produktions- menge	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
	1000 t	Brst.+Dpf.* PJ	elektr. Str. PJ	1000 t	Brst.+Dpf.* PJ	elektr. Str. PJ	Brst.+Dpf.* PJ	elektr. Str. PJ	Brst.+Dpf.* PJ	elektr. Str. PJ
Acetylen	304,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	60,0	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ammoniak	1462,0	15,4	0,7	600,0	6,0	0,1	5,9	0,1	5,9	0,1
Aromaten	335,0	0,9	0,0	600,0	1,3	0,1	1,3	0,1	1,3	0,1
Calciumcarbid (CaC ₂)	1127,0	3,0	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chlor (NaOH)	591,0	1,5	7,8	250,0	0,0	2,8	0,0	2,8	0,0	2,7
Methanol	642,0	13,0	0,1	750,0	11,3	0,1	11,1	0,1	10,9	0,1
O ₂	1082,8	0,0	2,0	398,5	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0	0,6
Olefine	295,6	7,5	0,1	400,0	9,2	-0,2	8,8	-0,3	8,6	-0,3
Phosphor	6,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Polyolefine (PE und PP)	217,0	0,1	0,8	360,0	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9
PVC	307,7	1,8	0,4	140,0	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1
Soda	914,0	11,0	0,4	900,0	7,8	0,1	7,6	0,1	7,4	0,1
Chemiefasern 1 - Herst. d. Spinnmasse/Spinnlösung	330,9	3,8	1,5	82,0	0,7	0,3	0,7	0,3	0,6	0,3
Grundstoffe		59,6	28,9		37,3	5,1	36,2	4,9	35,5	4,7
sonst. chem. Grundstoffe		161,0	20,9		28,3	2,6	26,0	2,3	23,7	2,1
Summe Chemische Grundstoffe		220,5	49,8		65,5	7,6	62,3	7,2	59,1	6,8
Chemiefasern 2 - Spinnen zu Fasern		4,7	1,4		0,9	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3
übrige chemische Industrie		34,0	2,8		17,2	1,2	15,9	1,1	14,9	1,0
Summe Chem. Ind., Abgrenzung IKARUS		259,2	59,9		83,6	9,1	79,0	8,6	74,8	8,1
Korrektur										
Anpassung an die Abgrenzung der Energiebilanz durch Subtraktion der Brennstoffeinsätze für die Herstellung von***):										
- Ammoniak		-15,4			-6,0		-5,9		-5,9	
- Methanol		-13,0			-11,3		-11,1		-10,9	
- Olefine		-7,5			-9,2		-8,8		-8,6	
Summe Chem. Ind., Abgrenzung Energiebilanz		223,4	59,9		56,9	9,1	53,1	8,6	49,4	8,1

* In den Spreadsheets, die die Datenbasis darstellen, wird zwischen Dampf und Brennstoffen nicht unterschieden

** Kein Brennstoffanteil/Brennstoffeinsatz für Stromerzeugung, da sonst Doppelzählung; weitere Annahme: die Dampf- und Stromwirtschaft deckt auch den von der Energiebilanz ausgewiesenen Fernwärmebedarf der Chemischen Industrie

*** Der Brennstoffeinsatz für die Produktion der Grundstoffe Ammoniak, Methanol und Olefine wird in der Energiebilanz in seiner Gesamtheit dem Nichtenergetischen Verbrauch zugeordnet → um von der IKARUS-Abgrenzung zur Abgrenzung der Energiebilanz zu gelangen, sind diese Werte zu subtrahieren

Tab. 6.1.4.15-2: Produktion und Energiebedarf der chemischen Industrie, Ostdeutschland bis 2005

(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Produkt/Prozeß	ABL+NBL 2020	ABL+NBL 2020-1		ABL+NBL 2020-2		ABL+NBL 2020-3	
	Produktions- menge 1000 t	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brst.+Dpf.*	elektr. Strom	Brst.+Dpf.*	elektr. Str.	Brst.+Dpf.*	elektr. Str.
		PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ
Acetylen	150,00	3,20	2,17	3,20	2,17	3,19	2,17
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ammoniak	2050,00	20,45	0,29	17,80	0,29	17,37	0,29
Aromaten	4120,00	7,72	0,47	7,13	0,47	6,82	0,48
Calciumcarbid (CaC ₂)	100,00	0,21	1,16	0,21	1,15	0,21	1,15
Chlor (NaOH)	2750,00	1,90	21,80	1,84	18,07	1,81	14,45
Methanol	1100,00	15,35	0,17	13,87	0,17	12,45	0,17
O ₂	6000,28	0,00	9,67	0,00	9,59	0,00	9,51
Olefine	3750,00	80,81	-3,19	75,90	-4,59	74,92	-4,88
Phosphor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Polyolefine (PE und PP)	2886,00	2,09	6,29	1,99	5,99	1,89	5,69
PVC	1025,00	2,81	1,00	2,66	1,00	2,55	1,00
Soda	1650,00	14,02	0,23	13,59	0,23	13,16	0,22
Chemiefasern 1 - Herst. d. Spinnmasse/Spinnlösung	790,00	6,14	2,71	5,87	2,68	5,63	2,65
Grundstoffe		154,70	42,77	144,05	37,22	140,00	32,91
sonst. chem. Grundstoffe		136,30	67,26	124,63	61,65	111,98	56,05
Summe Chemische Grundstoffe		290,99	110,03	268,68	98,87	251,98	88,96
Chemiefasern 2 - Spinnen zu Fasern		7,62	2,67	7,29	2,65	7,00	2,61
übrige chemische Industrie		122,97	50,06	109,95	45,89	99,57	41,72
Summe Chem. Ind., Abgrenzung IKARUS		421,58	162,76	385,92	147,40	358,55	133,29
Korrektur							
Anpassung an die Abgrenzung der Energiebilanz durch Sub- traktion der Brennstoffeinsätze für die Herstellung von***):							
- Ammoniak		-20,45		-17,80		-17,37	
- Methanol		-15,35		-13,87		-12,45	
- Olefine		-80,81		-75,90		-74,92	
Summe Chem. Ind., Abgrenzung Energiebilanz		304,97	162,76	278,36	147,40	253,82	133,29

* In den Spreadsheets, die die Datenbasis darstellen, wird zwischen Dampf und Brennstoffen nicht unterschieden

** Kein Brennstoffanteil/Brennstoffeinsatz für Stromerzeugung, da sonst Doppelzählung; weitere Annahme: die Dampf- und Stromwirtschaft deckt auch den von der Energiebilanz ausgewiesenen Fernwärmebedarf der Chemischen Industrie

*** Der Brennstoffeinsatz für die Produktion der Grundstoffe Ammoniak, Methanol und Olefine wird in der Energiebilanz in seiner Gesamtheit dem Nichtenergetischen Verbrauch zugeordnet → um von der IKARUS-Abgrenzung zur Abgrenzung der Energiebilanz zu gelangen, sind diese Werte zu subtrahieren

Tab. 6.1.4.15-3: Produktion und Energiebedarf der chemischen Industrie, Gesamtdeutschland 2020
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

Zur Abschätzung der Energieeinsätze der beiden Restbranchen „sonstige chemische Grundstoffe“ und „übrige chemische Industrie“ wurden die jeweils prognostizierten Nettoproduktionswerte mit Annahmen zur Entwicklung der Energieintensität verknüpft. Die Abschätzung des Energieeinsatzes für die Dampferzeugung, die zum überwiegenden Teil in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt, beruht auf der stark vereinfachenden Annahme, daß sich der Dampfbedarf proportional zum Brennstoffbedarf entwickeln wird.

Die Tabelle 6.1.4.15-1 zeigt außer der Entwicklung des absoluten Brennstoff- und Strombedarfs für die Herstellung der oben behandelten chemischen Grundstoffe, für die Restbranchen „sonstige chemische Grundstoffe“ und „übrige chemische Industrie“ sowie für die Dampf- und Stromwirtschaft den Energiebedarf des gesamten Chemiesektors. Danach sinkt der Brennstoffbedarf²⁰ der Branche in Westdeutschland von 397 PJ im Jahr 1989 auf 358 PJ in der Referenzentwicklung 2005 (-10 %). Der Gesamteinsatz an elektrischer Energie reduziert sich von 163 PJ im Jahr 1989 auf 114 PJ in 2005 (-10 %).

Während diese Energieeffizienzsteigerung durch eine Reihe von Ursachen begründet ist (inter- und intraindustrieller Strukturwandel, autonomer technischer Fortschritt, allgemein übliche Energieeinsparmaßnahmen), kann sie durch zusätzliche Investitionen für Maßnahmen für eine effizientere Nutzung der Energie noch erhöht werden. So könnte der Brennstoffbedarf in der westdeutschen Chemischen Industrie im Jahre 2005 durch Zusatzinvestitionen im Bereich der Brennstoffe in Höhe von 2 bis 2,5 Mrd. DM um gut 20 PJ reduziert werden, im Bereich des Stroms etwa 8,3 PJ für 1,5 bis 2 Mrd. DM eingespart werden. Werden darüber hinaus noch einmal Investitionen in Höhe von 2,5 Mrd. DM im Strombereich und ca. 3 bis 3,5 Mrd. DM im Brennstoffbereich getätigt, so können der Strombedarf auf 131 PJ und der Brennstoffverbrauch auf 316 PJ gesenkt werden, was gegenüber der Referenzentwicklung beim Strom eine Reduktion um 11 % und beim Brennstoff um 12 % bedeutet. Dies entspricht einem Rückgang der Brennstoffintensität als auch der Stromintensität der westdeutschen Chemischen Industrie von 50 %.

Die entsprechenden Werte für Ostdeutschland sind von dem massiven Rückgang der Produktion zwischen 1989 und 1992 geprägt. Hier steht einem Brennstoffeinsatz von 259 PJ im Jahr 1988 ein Bedarf von rund 84 PJ in 2005 gegenüber (-67 %), und der Stromeinsatz reduziert sich von 60 PJ auf 9 PJ (-85 %). Hier könnte in der Super-Spar-Variante der Brennstoffbedarf auf rund 75 PJ und der Strombedarf auf rund 8 PJ gesenkt werden, wenn zusätzliche Investitionen in Höhe von rund 1,5 Mrd. DM getätigt werden.

²⁰ Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Abgrenzung des Energieeinsatzes nach IKARUS.

Für das Jahr 2020 ist der Energiebedarf von Ost- und Westdeutschland als Summe ausgewiesen. Danach wird der Brennstoffeinsatz in 2020 bei voraussichtlich 422 PJ liegen, was einem absoluten Rückgang von 35 % gegenüber 1989 entspricht. Der Stromverbrauch wird dann 163 PJ betragen und damit um 27 % geringer sein als der Bedarf im Jahr 1989. An dieser Branche zeigt sich sehr deutlich, wie **Effizienzgewinne und Strukturwandel** zu höherwertigen und energieextensiven Produkten **eine Entkopplung von Produktionswachstum** (ca. Verdopplung) und Endenergiebedarf ein Drittel weniger **bewirken könnten**. Damit sind die Möglichkeiten zu einer weiteren Energieeffizienzsteigerung noch nicht ausgeschöpft. So dürfte sich der Brennstoffbedarf um weitere 35 PJ und der Strombedarf um gut 15 PJ senken lassen, wofür allerdings zusätzliche Investitionen in Höhe von 11 bis 12 Mrd. DM erforderlich sind (jeweils in etwa zu gleichen Anteilen im Brennstoff- und Strombereich). Wird der Energieeinsparung noch höhere Priorität bei den Investitionsentscheidungen der Unternehmen in der Chemischen Industrie eingeräumt, so wäre im Jahr 2020 ein Brennstoffeinsatz von minimal 359 PJ möglich, was einem absoluten Rückgang von 45 % gegenüber 1989 und einer 60 %igen Verminderung der Brennstoffintensität entspricht²¹. Hierfür wären Zusatzinvestitionen von insgesamt etwa 13 Mrd. DM erforderlich. Für den Strombereich wären etwa 14 Mrd. DM aufzuwenden, um den absoluten Strombedarf um 40 % gegenüber 1989 auf 133 PJ zu reduzieren.

6.1.5 Zellstoff- und Papierindustrie

Die Zellstoff, Holzstoff, Papier und Pappen erzeugende Industrie wird im Sypro-Zweisteller 55 zusammengefaßt. Zellstoff, Holzstoff, Altpapier und Füllstoffe sind die Rohstoffe für die Papierherstellung. Hauptaggregat bei der Herstellung ist die Papiermaschine mit den Funktionsbereichen Blattbildung, mechanische Entwässerung, Trocknen, Glätten und Aufrollen.

6.1.5.1 Zellstoff

Die Zellstofferzeugung in Deutschland deckt nur einen geringen Anteil des inländischen Zellstoffbedarfs ab; der überwiegende Anteil wird durch Importe gedeckt. Während in den alten Bundesländern ausschließlich nach dem Sulfit-Aufschlußverfahren produziert wurde, kam in den neuen Bundesländern auch das Sulfat-Aufschlußverfahren zum Einsatz. Erzeugt wurden

²¹bezogen auf die Summe des Energiebedarfs in West- und Ostdeutschland im Jahr 1989

im Basisjahr 1989 in den alten Bundesländern 874 000 t Zellstoff (DDR 520 000 t). Der Endenergiebedarf bei der Zellstoffherstellung wird auf rd. 14 PJ für die westdeutsche Produktion geschätzt; der Anteil des Stroms am Endenergieverbrauch der Branche beträgt ca. 14 %.

Eine mögliche Einspartechnik bei der Zellstoffherstellung ist der Wechsel von diskontinuierlichen Batch-Kochern zu kontinuierlich arbeitenden Zellstoff-Kochern. Beim Wechsel von Batch auf kontinuierliche Prozesse ist von einer Verminderung des Brennstoffbedarfs um 20 % auszugehen. Geringere Einsparpotentiale ergeben sich durch eine verbesserte Wärmerückgewinnung bei der Batch-Kochung und der Optimierung der Kochparameter. Hauptverbraucher von elektrischem Strom bei der Zellstoffherstellung sind die vielfältigen Pumpenantriebe. Durch die leistungsgerechte Auslegung in Verbindung mit einer leistungsabhängigen Drehzahlregelung könnte der Stromverbrauch um wenige Prozentpunkte gesenkt werden. Einsparpotentiale ergeben sich darüber hinaus im Grundsatz durch die **Integration von Zellstofferzeugung und Papierherstellung**, da in diesem Fall der energieintensive Zwischenschritt der Zellstofftrocknung entfallen kann. Diese ist in der Praxis an denjenigen Standorten, wo es sich anbot, realisiert. Eine weitere Integration hängt von Einzelentscheidungen ab.

6.1.5.2 Holzstoff

Während die Inlandsproduktion von Zellstoff relativ gering ist, werden ca. 90 % des benötigten Holzstoffes in Deutschland produziert. 1989 wurden 1,5 Mill. t Holzstoff in den alten Bundesländern und 0,15 Mill. t in den neuen Bundesländern erzeugt.

Wesentliche Energieeinsparungen sind durch den Übergang zu energieeffizienten Herstellungsverfahren für Holzstoff zu erwarten. Unter diesen Verfahren sind insbesondere das **Druckschleifverfahren** und das **TMP-Verfahren** (Thermo Mechanical Pulp) zu nennen. Die möglichen Einsparungen durch Umstellung auf diese Verfahren betragen etwa 300 kWh/t oder 15 %.

6.1.5.3 Papier, Karton und Pappen

Bei der Papierherstellung wird aus einer Suspension von Zellstoff, Holzstoff und eventuell Altpapier eine Papierbahn gebildet. Nach dem ersten Entwässern in der Siebpartie erfolgt die weitere mechanische Trocknung in der Pressenpartie. Verbleibende Wasseranteile werden in

der Trockenpartie entfernt. In weiteren Bereichen erfolgt die Verbesserung der Papiereigenschaften durch Leimen und Glätten. Im Jahr 1989 wurden 11,4 Mill. t Papier, Karton und Pappe erzeugt und in Ostdeutschland 1,8 Mill. t.

Bei der Herstellung von Papier, Karton und Pappen wurden 39,3 PJ Strom und 74,3 PJ Brennstoff benötigt. Der spezifische Energieverbrauch betrug im Durchschnitt über das gesamte Produktionsspektrum rund 10 GJ/t.

Bei der Papier- und Pappenherstellung ist von einem weiteren deutlichen Rückgang des spezifischen Brennstoffverbrauchs auszugehen.

- Durch die Verbesserung der **mechanischen Entfeuchtung** der Papierbahnen, z. B. durch Erhöhung der Pressdrücke in der Pressenpartie der Papiermaschine sinkt der Energiebedarf in der Trockenpartie deutlich ab. Längerfristig sind neue Verfahren wie das Impulsverfahren zu erwarten.
- Weitere Maßnahmen in der Trockenpartie sind die Abluftfeuchteregeleung, die geregelte Feuchteprofilkorrektur oder die Mikrowellen- anstelle der Dampftrocknung mit überhitztem Dampf oder die Kondensationsbanddampftrocknung.

Die Einsparpotentiale sind im Bereich der Brennstoffe zur Trocknung je nach technischer Maßnahme gering (-3 %) bis erheblich (-20 % bis langfristig -50 %) /de Beer, 1994/. Im Strombereich dürften die Effizienzgewinne gering ausfallen, zumal höhere Preßdrücke, Impulsverfahren oder elektrische Trocknungsverfahren den spezifischen Strombedarf anheben würden.

6.1.5.4 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Zellstoff- und Papierindustrie

Für die wirtschaftliche Entwicklung der Zellstoff- und Papierindustrie in den alten Bundesländern wird erwartet, daß ihr Nettoproduktionswert von 7,1 Mrd. DM im Jahre 1989 um 73 % auf 12,3 Mrd. DM im Jahre 2005 ansteigt (vgl. Tabelle 6.1.5.4-1).

In der Referenzentwicklung ist damit ein Brennstoffbedarf in Höhe von 90,6 PJ (+22 % gegenüber 1989) und ein Strombedarf in Höhe von 55,5 PJ (+41 %) zu erwarten. Durch energieeffizientere Techniken ließe sich der Brennstoffbedarf auf 84,6 PJ (um 7 % gegenüber Referenz) bzw. 79,1 PJ (um 13 % gegenüber Referenz) reduzieren, wofür Zusatzinvestitionen in Höhe von 600 bis 700 Mio. DM bzw. rund 1,5 Mrd. DM zu tätigen wären. Entsprechend könnte der Strombedarf auf 48,9 PJ (um 12 % gegenüber Referenz) bzw. 45,5 PJ (um 18 %

gegenüber Referenz) gesenkt werden, wenn etwa 1,3 bis 1,4 Mrd. DM bzw. etwa 2,5 Mrd. DM zusätzlich investiert würden.

In den neuen Bundesländern könnte der Nettoproduktionswert auf 2,9 Mrd. DM im Jahre 2005 ansteigen, der Bedarf für Brennstoffe würde in der Referenzentwicklung bei 21,6 PJ und für Strom bei 13,0 PJ liegen. In der "Super-Spar-Variante" könnte der Brennstoffbedarf bis auf 18,9 PJ (um 13 % gegenüber Referenz) für zusätzliche rund 400 Mio. DM und der Strombedarf bis auf 10,7 PJ (um 18 % gegenüber Referenz) für rund 750 Mio. DM reduziert werden.

Bis 2020 wird der Nettoproduktionswert der Branche gemäß den Rahmenannahmen auf 21 Mrd. DM angestiegen sein. Dies führt zu einem Brennstoffbedarf in der Standardentwicklung in Höhe von 141 PJ und einem Strombedarf von 83 PJ. Die Analyse der möglichen Techniken führt zu dem Schluß, daß eine Reduktion des Brennstoffbedarfs um 10 PJ (-7 %) für etwa 1,5 Mrd. DM bzw. um 18 PJ (-13 %) für etwa 3,5 PJ möglich sein könnten. Entsprechend werden für den Strombedarf Senkungen in Höhe von 7 PJ (-8 %) für etwa 2,5 Mrd. DM bzw. 11,5 PJ (-14 %) für etwa 5 bis 5,5 Mrd. DM für möglich gehalten.

Branche	ABL 1989	ABL 1989		ABL 2005	ABL 2005-1		ABL 2005-2		ABL 2005-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge Mrd.DM NPW	abs. Energieeinsatz		abs. Energieeinsatz		abs. Energieeinsatz	
		Brennstf.	elektr. Str.		Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.
Zellstoff	0,49	12,0	2,0	0,5	9,4	1,8	8,9	1,7	8,3	1,6
Rest. Pap-Pap	6,61	62,3	37,3	11,8	81,2	53,7	75,7	47,1	70,7	43,8
SUMME	7,1	74,3	39,3	12,3	90,6	55,5	84,6	48,9	79,1	45,4

Branche	NBL 1989	NBL 1989		NBL 2005	NBL 2005-1		NBL 2005-2		NBL 2005-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge Mrd.DM NPW	abs. Energieeinsatz		abs. Energieeinsatz		abs. Energieeinsatz	
		Brennstf.	elektr. Str.		Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.
Zellstoff	0,18	4,7	0,7	0,14	2,7	0,5	2,5	0,5	2,4	0,5
Rest. Pap-Pap	0,61	22,0	5,3	2,76	18,9	12,5	17,7	11,0	16,5	10,2
SUMME	0,8	26,7	6,0	2,9	21,6	13,0	20,2	11,5	18,9	10,7

Branche	ABL+NBL 2020	ABL+NBL 2020-1		ABL+NBL 2020-2		ABL+NBL 2020-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	abs. Energieeinsatz		abs. Energieeinsatz		abs. Energieeinsatz	
		Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.	Brennstf.	elektr. Str.
Zellstoff	0,6	11,4	2,2	10,7	2,1	10,2	2,1
Rest. Pap-Pap	20,3	130,0	81,1	120,9	74,3	112,9	69,6
SUMME	21,0	141,4	83,3	131,6	76,4	123,1	71,7

Tab. 6.1.5.4-1: Produktion und Energiebedarf der Zellstoff- und Papierindustrie
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar =2, Super-Spar =3)

6.2 Investitionsgüterindustrie

Die "Systematik der Wirtschaftszweige für die Statistik im Produzierenden Gewerbe - SYPRO -" unterteilt die Hauptgruppe "Investitionsgüterproduzierendes Gewerbe" in acht große Branchen und differenziert diese in insgesamt 57 Subbranchen. In der IKARUS-Datenbank werden entsprechend der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen aus dieser Hauptgruppe die Branchen

- Maschinenbau
- Straßen-, Luft- und Raumfahrzeugbau
- Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik
- Eisen-, Blech- und Metallwaren sowie das
- übrige Investitionsgüterproduzierende Gewerbe

separat betrachtet.

Für die westdeutsche Investitionsgüterindustrie wird ein **Endenergieverbrauch** von rund 304 PJ ausgewiesen, entsprechend rund 13 % des Endenergieverbrauchs des Verarbeitenden Gewerbes. Die Energieträgerstruktur hat sich in den letzten Jahren bei sinkendem Kohle- und Heizölverbrauchsanteil kontinuierlich zugunsten des Erdgases und der elektrischen Energie verschoben. Einem Brennstoffeinsatz von rund 180 PJ stehen knapp 130 PJ elektrische Energie gegenüber (alte Bundesländer).

In den neuen Bundesländern verbrauchte die Investitionsgüterindustrie mit 147 PJ rund 15 % der Endenergie des dortigen Verarbeitenden Gewerbes. Im Gegensatz zum Stromanteil in den alten Ländern von 42 % betrug er in den neuen Ländern nur 18 %. Allerdings wurden dort 58 % des Endenergiebedarfs mit Kohlen gedeckt (alte Bundesländer: 3 %).

Mit mehr als 19.400 westdeutschen Betrieben und 3,9 Millionen Beschäftigten wurde 1989 ein Nettoproduktionswert von 311 Milliarden DM erwirtschaftet. Daraus ergibt sich ein spezifischer Endenergieverbrauch von rund 578 kJ/DM Nettoproduktionswert für die Brennstoffe und 408 kJ/DM für den Strom.

In den letzten Jahren war in der Investitionsgüterindustrie die Verdrängung energieintensiver Verfahren zu beobachten. Als Beispiel sei hier der Verfahrensschritt Gießen genannt, der heute überwiegend in Lohngießereien durchgeführt wird und damit statistisch unter "Gießereien" erfaßt wird. Auch Verlagerung einzelner Produktionsschritte ins Ausland spielen hier eine

Rolle. Seit 1978 hat der spezifische Endenergieverbrauch durchschnittlich um 2,6 %/a abgenommen. Die Abflachung der Produktionstiefe wird sich in Zukunft noch verstärken.

Typisch für die Energieverbrauchsstruktur im Investitionsgütergewerbe ist der relativ hohe Raumwärmeanteil von rund 60 % des Brennstoffverbrauchs, so daß angesichts relativ schlecht wärmedämmter Produktions- und Fertigungshallen große Einsparpotentiale bestehen. Solche sind auch in den Anwendungen "Druckluft" und "Beleuchtung" vorhanden, die jeweils rund 10 % des Stromverbrauchs verursachen. Der energetisch relevante Herstellungsprozeß eines Investitionsgutes läßt sich in sechs Hauptgliederungsgruppen aufteilen: Urformen, Umformen, Tennen, Fügen, Beschichten und Ändern von Stoffeigenschaften. Die Anteile der einzelnen Gliederungsgruppen sind von Produkt zu Produkt und von Branche zu Branche sehr unterschiedlich.

6.2.1 *Maschinenbau*

Beim Maschinenbau handelt es sich um eine sehr heterogene Branche. So unterscheidet z. B. der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) zum Vergleich der Energieverbrauchskennwerte im Rahmen seines Energiekosten-Controllings 35 verschiedene Branchengruppen wie z. B. Armaturen, Präzisionswerkzeuge oder Hütten- und Walzwerkeinrichtungen /VDMA 1994/.

In den alten Bundesländern benötigte der Maschinenbau 1989 mit 68 PJ (63 % Brennstoffe, 37 % Strom) rund 3 % der Endenergie des Verarbeitenden Gewerbes und weist damit einen Anteil von etwa 20 % am gesamten Stromverbrauch der Investitionsgüterindustrie auf, der Anteil am Brennstoffverbrauch liegt mit 24 % etwas höher. Bei den Brennstoffen dominieren mit über 50 % die Gase gefolgt von 37 % Heizöl, während die Kohle bei ca. 5 % liegt.

In den neuen Bundesländern lag der Endenergieverbrauch 1989 mit 63 PJ (83 % Brennstoffe, 17 % Strom) etwas niedriger. Die Brennstoffe bestanden zu fast 75 % aus Kohle und ca. 15 % aus Gasen, während der Einsatz von Heizöl bei 2 % lag. Da davon ausgegangen werden kann, daß bis 2005 keine Technik aus der ehemaligen DDR im Maschinenbau mehr im Einsatz sein wird, werden im folgenden nur die alten Bundesländer betrachtet.

Mit mehr als 5880 Betrieben (alte Bundesländer) und über 1 Million Beschäftigten wurde 1989 ein Nettoproduktionswert von knapp 92 Mrd. DM erwirtschaftet. Der Energiekostenanteil liegt mit 1,2 % bezogen auf den Bruttoproduktionswert verhältnismäßig niedrig, weswegen der Durchführung von Energiesparmaßnahmen im Vergleich zu anderen unternehmerischen Zielen heute noch eine relativ niedrige Priorität zukommt.

Im Maschinenbau überwiegen Betriebe mit 20-99 Beschäftigten (60 %) und Ein-Schicht-Betriebszeiten, was sich deutlich auf den tageszeitlichen Verlauf des Energiebedarfs auswirkt.

Bei den in der Maschinenbauindustrie angewendeten wärmetechnischen Prozessen handelt es sich zum einen um Schmelzprozesse, bei denen sehr hohe Temperaturen benötigt werden, zum anderen um Warmbehandlungsvorgänge zur Beeinflussung von Werkstoffeigenschaften. An brennstoffbeheizten **Öfen** können durch optimierte Brenntechniken und Ofenregelung, Verminderung der Abstrahlverluste durch neue Isolierstoffe, Verringerung des Falschlufteintritts durch sorgfältige Ofenabdichtung und Einsatz moderner Schleusentechnik Brennstoffe eingespart werden. Durch die Einführung **neuer Verfahren** können Prozesse hoher Temperatur und damit hoher Verluste zurückgedrängt werden (z. B. Kleben statt Schweißen). Wegen des hohen **Raumwärmebedarfs** ist eine Überprüfung der geforderten Raumtemperaturen, eine Verbesserung der Regel- und Steuertechnik sowie das Ausschöpfen der Möglichkeiten zur Abwärmenutzung aus Produktionsprozessen sinnvoll. Durch Maßnahmen zur Gebäudesanierung, durch Verbesserung der Heizungsanlagen sowie durch Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen sind beachtliche Einsparungen erzielbar.

Strom wird primär für den **Antrieb von Arbeitsmaschinen**, die der mechanischen Be- und Verarbeitung von Werkstücken dienen, für Transport- und Montagevorrichtungen sowie für die Druckluftherzeugung und die Klimatisierung benötigt. Mit etwa 75 % wird im Maschinenbau ein für die Investitionsgüterindustrie überdurchschnittlicher Anteil der elektrischen Energie zur Kraftbedarfsdeckung eingesetzt, der Prozeßwärmebedarf ist vergleichsweise gering. Neben den branchenübergreifenden Maßnahmen zur Reduktion des Stromeinsatzes für Antriebszwecke (leistungsabhängige Regelung, Minderung der Reibung, systemgerechte Auslegung der Motoren) bietet insbesondere die richtige Auslegung und Wartung der **Druckluftherzeugungsanlagen**, die einen Anteil von ca. 12 % am Stromverbrauch der Branche haben, deutliche Einsparpotentiale. Da weniger als 10 % der dem Kompressor zugefügten Energie als mechanische Expansionsarbeit verfügbar ist, bringt der Ersatz druckluftbetriebener Werkzeuge durch Elektrowerkzeuge weitere Einsparmöglichkeiten.

Der Bereich der **Elektroprozeßwärme** wird vermutlich durch eine weitere Brennstoffsubstitution als Folge des Trends zu flexiblen Fertigungsmethoden und aufgrund einiger produktionstechnischer Vorteile der Elektrowärme an Bedeutung gewinnen. Hier dürfte neben den bekannten Sparmaßnahmen wie z. B. verbesserte Isolation und Wärmerückgewinnung die Einführung neuer Werkstoffe und Verarbeitungsverfahren (z. B. Kleben statt Schweißen) stromverbrauchsmindernd wirken. Beim Stromverbrauchsanteil von ca. 14 % für die **Beleuchtung** stellen die dort möglichen Reduktionen in Höhe von 25 % durch Einbau von

elektronischen Vorschaltgeräten und Dreibandlampen ein nicht zu vernachlässigendes Einsparpotential dar.

6.2.2 Fahrzeugbau

Den Schwerpunkt der Branche **Straßen-, Luft- und Raumfahrzeugbau** bildet wirtschaftlich und energetisch der Straßenfahrzeugbau, zu dem neben der Herstellung und Reparatur von Straßenfahrzeugen aller Art auch die Herstellung von Motoren, Zubehör usw. zu zählen ist.

Der Endenergieeinsatz im Fahrzeugbau (alte Bundesländer) im Jahr 1989 in Höhe von ca. 101 PJ (57 % Brennstoffe, 43 % Strom) stellt rund 4 % des Energieverbrauchs des Verarbeitenden Gewerbes dar und weist damit einen Anteil von etwa 34 % am gesamten Stromverbrauch der Investitionsgüterindustrie auf, der Anteil am Brennstoffverbrauch liegt mit 32 % etwas niedriger. 60 % der Brennstoffe werden durch Erdgas gedeckt, rund 20 % durch Heizöl, der Fernwärmeanteil von ca. 15 % ist der höchste innerhalb der Industriebranchen.

In den neuen Bundesländern lag der Endenergieeinsatz im Fahrzeugbau mit 25,6 PJ (86 % Brennstoffe, 15 % Strom) deutlich niedriger als im Westen. Hier dominierte als Brennstoff die Braunkohle mit über 60 %, während Gas zu knapp 15 % beitrug und Heizöl bei rund 1 % lag.

Der ostdeutsche Fahrzeugbau dürfte eine der am stärksten und schnellsten von der Vereinigung betroffenen Branchen sein, so daß seine 1989er Energieverbräuche nur noch historischen Wert besitzen.

Der Energiekostenanteil liegt mit 1,1 % bezogen auf den Bruttoproduktionswert (alte Bundesländer) verhältnismäßig niedrig. Mit mehr als 2440 Betrieben (alte Bundesländer) und rund 860 Beschäftigten (mittlere Betriebsgröße 352 Beschäftigte pro Betrieb) wurde 1989 ein Nettoproduktionswert von knapp 76 Milliarden DM erwirtschaftet.

Der größte Teil des Brennstoffs wird in der Automobilindustrie für die Raumheizung aufgewendet. Hier sind Einsparungen mit den üblichen Maßnahmen zu erreichen. In den Motorengebiereien sind die bei der Branche "Gießereien" genannten Techniken zur rationellen Energieanwendung einsetzbar. Ein weiterer Verbrauchsschwerpunkt ist die Beheizung der Trockner und Lufterwärmung für die Spritzkabinen. Hier kann mit Wärmerückgewinnungsanlagen der Brennstoffverbrauch deutlich gesenkt werden. Allerdings steigt der Energiebedarf für die Trocknung infolge der zunehmend eingesetzten Wasserlacke.

Rund 12 % des Stroms wird für die Druckluftversorgung benötigt. Wenig Beachtung findet die Instandhaltung der Druckluftversorgung und -verteilung. In der Praxis sind Verteilungsverluste von 25-30 % sehr häufig anzutreffen. Leckverluste sind auch bei Neuanlagen nicht vollständig zu verhindern, eine Reduzierung um 20 % ist aber durchaus möglich. Als weitere Einsparmöglichkeiten sind zu nennen

- Senkung des Druckes im Netz auf tatsächlich notwendiges Niveau (ca. 5 %)
- Senkung der Ansaug- und Umgebungstemperatur (1 %)

Der Anteil der Beleuchtung am Gesamtstromverbrauch beträgt rund 12 %. Die dadurch erreichten relativ hohen Benutzungsstunden der Beleuchtung in den Produktionshallen lassen signifikante Einsparungen (20 % und mehr) durch den Einsatz energiesparender Beleuchtungskörper erwarten.

Branchenspezifische Möglichkeiten zur Stromeinsparung sind durch den Betrieb der Pressen im Dauerhub, Verwendung von Schraubern mit Hochfrequenzantrieb anstelle von Druckluftschraubern, Einsatz von Trafozangen an Schweißrobotern anstelle von langen Sekundärkabeln usw. möglich. Schweißvorgänge können teilweise durch Klebverfahren ersetzt werden.

6.2.3 *Elektrotechnik*

Von der Branche **Elektrotechnik, Feinmechanik/Optik** werden eine Vielzahl unterschiedlichster Produkte hergestellt, die grob unterteilt werden können in Geräte für die Elektrizitätserzeugung, -umwandlung und -verteilung, Leuchten und Lampen, Haushaltsgeräte, Zähler, Fernmelde-, Meß- und Regelgeräte, Unterhaltungselektronik, Feinmechanik, Optik und Uhren.

Der Endenergieeinsatz (alte Bundesländer) im Jahr 1989 in Höhe von ca. 69 PJ (49 % Strom, 51 % Brennstoffe) stellt rund 3 % des Energieverbrauchs des Verarbeitenden Gewerbes bzw. einen Anteil von etwa 27 % am gesamten Stromverbrauch der Investitionsgüterindustrie, der Anteil am Brennstoffverbrauch liegt bei etwa 20 %. Diese bestehen zu fast 50 % aus Gasen, 40 % aus Heizöl und nur 3 % Kohlen.

Der Endenergieverbrauch der Branche in den neuen Bundesländern 1989 in Höhe von knapp 40 PJ bestand zu 22 % aus Strom und zu 78 % aus Brennstoffen. Letztere wiederum zu 67 % aus Kohlen, 24 % Fernwärme und 6 % Gasen, während Heizöl überhaupt nicht verwendet

wurde. Auch in dieser Branche dürften spätestens 2005 keine Anlagen aus der ehemaligen DDR-Zeit im Einsatz sein.

Der Energiekostenanteil liegt in dieser Branche bezogen auf den Bruttoproduktionswert mit 1,1 % relativ niedrig, die mittlere Betriebsgröße beträgt 242 Beschäftigte pro Betrieb und der Nettoproduktionswert knapp 79 Mrd. DM (alte Bundesländer 1989).

Mit einem Anteil von rund 61 % des Brennstoffbedarfs birgt die "Raumwärme und Warmwasserbereitung" das größte Einsparpotential in sich. Auch in der Elektrotechnik ist der wärmetechnische Zustand vieler Produktionshallen unzureichend. Besondere Bedeutung kommt daher allen Maßnahmen zu, die hier zu einer Verbesserung führen.

Ein Teil des Prozeßwärmebedarfs (ca. 15 % des Brennstoffbedarfs) entsteht bei der Lacktrocknung. Hier kann in noch stärkerem Umfang mittels Wärmetauscher oder - bei nicht ausreichenden Temperaturen - mit Wärmepumpen ein Teil der eingesetzten Wärme zurückgewonnen werden.

Neben Maßnahmen zur Stromersparung im Bereich Beleuchtung und Druckluft, die einen ähnlichen Anteil am Strombedarf wie im Fahrzeugbau haben, wirken sich die folgenden Trends auf den Strombedarf aus:

- Mit der Entwicklung zu mehr Elektronik und weniger mechanischen Bauteilen entfallen Arbeitsschritte bei der Montage elektrotechnischer Produkte. Als Beispiel für die Entwicklung in diese Richtung sei die SMD-Technik (surface mounted device) genannt, durch deren Einsatz bei der Befestigung elektronischer Bauelemente auf Platinen die Bohrungen entfallen.
- Durch eine Optimierung der Fertigung ist eine Verminderung des Strombedarfs möglich.
- Stärker als im Maschinen- und Straßenfahrzeugbau wird sich das Kleben anstelle des Schweißens durchsetzen, was einen merklichen Beitrag zur Verminderung des Prozeßwärmebedarfs erwarten läßt.

6.2.4 EBM-Waren

Die Wirtschaftsgruppe Stahlverformung, Eisen- Blech- und Metallwaren produziert z. B. Metallmöbel, Panzerschränke, Werkzeuge, Waffen, Schmiedestücke sowie Preß-, Zieh- und Stanzteile.

Hierfür wurden 1989 in den alten Bundesländern rund 54 PJ Endenergie benötigt (38 % Strom, 62 % Brennstoff), was einem Anteil von 18 % an dem Endenergieverbrauch des Investitionsgüter produzierenden Gewerbes bzw. 2,3 % der gesamten Industrie entspricht. Die eingesetzten Brennstoffe bestehen zu rund 65 % aus Gasen und 30 % aus HEL.

In den neuen Bundesländern betrug der Endenergieverbrauch der Branche im Jahre 1989 rund 9 PJ, davon entfielen ca. ein Viertel auf Strom und drei Viertel auf Brennstoffe, welche wiederum zu drei Viertel aus Kohle und ein Viertel aus Gasen bestanden.

Mit mehr als 2380 Betrieben (alte Bundesländer) und rund 300 Tausend Beschäftigten wurde 1989 ein Nettoproduktionswert von 23,5 Milliarden DM erwirtschaftet. In der EBM-Waren-Industrie überwiegen kleine Betriebe mit 20-99 Beschäftigten, die nahezu alle im Ein-Schicht-Betrieb produzieren.

Etwa zwei Drittel des Brennstoffverbrauchs der Branche entfallen auf den Prozeßwärmebedarf für die zur Umformung nötige Erwärmung sowie auf Wärmebehandlungsvorgänge zur Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften. Im Bereich der Oberflächenveredelung besteht Wärmebedarf für die Beheizung von Bädern zur Vorbehandlung (Beize, Heißspüle) bzw. für die Endtrocknung. Durch Isoliermaßnahmen, Abdeckungen und Wärmerückgewinnungsmaßnahmen sind Einsparungen möglich. Durch den Einsatz von Wärmepumpen kann häufig die Überschußwärme, die bei der Oberflächenbehandlung der Metalle in elektrolytischen Bädern anfällt, zur Beheizung von Spülbädern, Beizen usw. genutzt werden.

Der größte Teil der elektrischen Energie wird zur Kraftbedarfsdeckung eingesetzt, hauptsächlich in der Verformungstechnik (Biegen, Pressen, Walzen usw.). Ein Anteil von 20 % dient zur Deckung des Bedarfs an Elektroprozeßwärme, z. B. für Oberflächenveredelung mit galvanotechnischen Verfahren, Lichtbogenschweißen und Wärmebehandlungen. Im Bereich der Elektroprozeßwärme sowie durch weitere Mechanisierung und Automatisierung sind noch Strombedarfszuwächse zu erwarten, die nicht durch Energieeinsparmaßnahmen kompensiert werden können.

6.2.5 Übriges Investitionsgütergewerbe

Hierunter ist der Stahl- und Leichtmetallbau, der Schienenfahrzeugbau sowie der Schiffbau zusammengefaßt.

Bezüglich des Energieverbrauchs ist das übrige Investitionsgütergewerbe mit 12 PJ (davon 30 % Strom) entsprechend 4 % Anteil am Endenergieverbrauch des Investitionsgütergewerbes bzw. 0,5 % der gesamten Industrie der alten Bundesländer im Jahre 1989 relativ unbedeutend, während es mit einem Nettoproduktionswert (NPW) von 48 Mrd. DM zu 15 % zum NPW des Investitionsgütergewerbes beträgt.

In den neuen Bundesländern verbrauchte die Branche 1989 mit knapp 8 PJ (davon 20 % Strom) rund 8 % der Endenergie des Investitionsgütergewerbes.

6.2.6 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelbranchen zum Investitionsgüterproduzierenden Gewerbe

Tabelle 6.2-1 gibt eine Übersicht über die erwartete wirtschaftliche Entwicklung der einzelnen Branchen des Investitionsgüterproduzierenden Gewerbes mit dem dazugehörigen erwarteten Energiebedarf in drei Varianten. Für das Investitionsgüterproduzierende Gewerbe wird ein Anstieg des Nettoproduktionswertes in den alten Bundesländern zwischen 1989 und 2005 um knapp 63 % von 311 Mrd. DM auf 506 Mrd. DM angenommen. Hierbei wird für die Elektrotechnik ein leicht überproportionales Wachstum (73 %) und für die übrigen Investitionsgüter ein unterproportionales Wachstum (46 %) unterstellt. Der Endenergiebedarf des Investitionsgüterproduzierenden steigt in der Referenzentwicklung (Variante 1) nur um 31 %, wobei der Strombedarf um 47 % und der Brennstoffbedarf um 20 % steigen wird. Dieser gegenüber der Wirtschaftsentwicklung unterproportionale Anstieg des Energieverbrauchs kommt im wesentlichen durch die erwarteten autonomen Energieeffizienzsteigerungen zustande. So dürfte beim Strom eine spezifisch auf den Nettoproduktionswert bezogene Effizienzsteigerung von 9 % und bei den Brennstoffen von 26 % autonom möglich sein.

Für die Variante 3 (Super-Spar) könnte der Strombedarf um 21 PJ entsprechend 11 % und der Brennstoffbedarf um 41 PJ entsprechend 19 % abnehmen. Hierfür dürften zusätzliche Investitionskosten in Höhe von rund 9,5 Mrd. DM erforderlich sein.

Für die neuen Bundesländer wird für das Jahr 2005 unterstellt, daß sich die dortigen Techniken und Strukturen denen in den alten Bundesländern weitestgehend angeglichen haben, so daß die spezifischen Energieverbräuche in etwa denen in den alten Bundesländern im Jahr 2005 entsprechen. Dies hat zur Folge, daß - trotz einer Zunahme des Nettoproduktionswertes um den Faktor 4,5 - der absolute Strombedarf konstant bleibt und der absolute Brennstoffbedarf

Branche	ABL 1989			ABL 2005	ABL 2005 - 1		ABL 2005 - 2		ABL 2005 - 3	
	NPW Mrd. DM	Strom	Brennst.	NPW Mrd. DM	Strom	Brennst.	Strom	Brennst.	Strom	Brennst.
		PJ	PJ		PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	
Maschinenbau	85,4	25,1	42,6	139,2	35,2	48,6	33,1	42,3	31,1	38,9
Straßen-, Luft- u. Raumfahrzeugbau	75,8	43,6	57,6	122,0	63,9	66,7	60,4	56,5	56,8	52,8
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	78,7	34,2	35,0	136,5	50,9	42,5	48,0	36,4	45,0	34,0
Eisen-, Blech- u. Metallwaren	23,5	20,3	33,2	38,8	31,9	44,0	30,2	38,5	28,9	36,3
Übr. Invest	47,8	3,6	8,9	69,8	5,0	10,4	4,8	9,1	4,5	8,6
Investitionsgüter	311,2	126,8	177,3	506,3	186,9	212,2	176,4	182,9	166,3	170,5

Branche	NBL 1989			NBL 2005	NBL 2005 - 1		NBL 2005 - 2		NBL 2005 - 3	
	NPW Mrd. DM	Strom PJ	Brennst. PJ	NPW Mrd. DM	Strom PJ	Brennst. PJ	Strom PJ	Brennst. PJ	Strom PJ	Brennst. PJ
Investitionsgüter	17,2	27,2	120,1	78	30	34	28	29	26	27

Branche	ABL+NBL 2020	ABL+NBL 2020 - 1		ABL+NBL 2020 - 2		ABL+NBL 2020 - 3	
	NPW Mrd. DM	Strom PJ	Brennst. PJ	Strom PJ	Brennst. PJ	Strom PJ	Brennst. PJ
Maschinenbau	213	47	63	44	56	43	51
Straßen-, Luft- u. Raumfahrzeugbau	188	87	84	82	76	79	69
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik	219	72	57	67	52	66	47
Eisen-, Blech- u. Metallwaren	68	50	65	49	59	47	55
Übr. Invest	86	6	11	5	10	5	9
Investitionsgüter	774	262	281	249	253	241	230

Tab. 6.2.6-1: Produktion und Energiebedarf des Investitionsgüterproduzierenden Gewerbes
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

auf weniger als die Hälfte absinkt. In der Variante 3 dürfte der Strombedarf um 4 PJ und der Brennstoffbedarf um 7 PJ gegenüber der Referenzentwicklung reduzierbar sein, wozu gut 2 Mrd. DM zusätzliche Investitionen für Energieeinsparmaßnahmen erforderlich wären.

Für das Jahr 2020 wird erwartet, daß der Nettoproduktionswert des Investitionsgüterproduzierenden Gewerbes in Gesamtdeutschland auf rund 774 Mrd. DM angestiegen sein wird, was gegenüber 1989 ein Faktor von 2,35 bedeutet. Trotzdem wird erwartet, daß in der Referenzentwicklung der Brennstoffbedarf gegenüber 1989 absolut um rund 5 % niedriger sein wird (stark beeinflußt durch den ehemals hohen Bedarf in den neuen Bundesländern 1989), während der Strombedarf um 70 % steigen dürfte. In Variante 3 könnte der Strombedarf gegenüber der Referenzentwicklung um 8 % reduziert werden, der Brennstoffbedarf um 18 %. Erforderlich sind hierfür Investitionen in energieeffizientere Techniken, die zu Zusatzkosten in Höhe von rund 25 Mrd. DM führen dürften.

6.3 Verbrauchsgüterindustrie

Die Hauptgruppe "Verbrauchsgüterproduzierendes Gewerbe" wird in der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen in die vier Branchen

- Glas und Feinkeramik
- Herstellung von Kunststoffwaren
- Textilgewerbe sowie
- Übriges Verbrauchsgüterproduzierendes Gewerbe unterschieden.

Das "Übrige Verbrauchsgüterproduzierende Gewerbe" wird in der amtlichen Statistik weiter unterteilt in acht Industriezweige:

- Herstellung von Musikinstrumenten, Spielwaren, Schmuck usw.,
- Holzverarbeitung,
- Papier- und Pappeverarbeitung,
- Druckerei, Vervielfältigung,
- Ledererzeugung,
- Lederverarbeitung,
- Bekleidungsgewerbe sowie
- Reparatur von Gebrauchsgütern.

Die Verbrauchsgüterindustrie benötigte 1989 in den alten Bundesländern laut Energiebilanz rund 75 PJ Strom (32 %) und 159 PJ Brennstoffe (68 %). Damit hat sie einen Anteil von rund 10 % am Endenergieverbrauch der westdeutschen Industrie, wobei ihr Anteil am Stromverbrauch mit 12 % höher liegt. Rund 54 % des Brennstoffbedarfs wurde vom Erdgas mit zunehmender Tendenz (1992: 60,8 %) gedeckt, ca. 31 % von Heizölen (wobei das schwere Heizöl leicht dominierte). Flüssiggas lag mit einem Anteil von 6 % noch vor den Stein- und Braunkohlen.

In den neuen Bundesländern trug die Verbrauchsgüterindustrie 1989 mit einem Endenergieverbrauch von 105 PJ (davon 16,4 % Strom) rund 11 % zum Endenergieverbrauch des dortigen Verarbeitenden Gewerbes bei. Der Brennstoffbedarf von 88 PJ wurde zu ca. 57 % durch Braunkohlen und 28 % durch Gase gedeckt.

Von den rund 1,3 Millionen Beschäftigten in knapp 13 Tausend Betrieben wurde 1989 in den alten Bundesländern ein Nettoproduktionswert von 83 Mrd. DM erwirtschaftet.

Die Glas- und Feinkeramikindustrie hatte bei einem Endenergiebedarf von 109,4 PJ in 1989 einen Anteil von 3,4 % (alte und neue Bundesländer) vom gesamten Endenergieverbrauch der deutschen Industrie. In den alten Bundesländern allein betrug dieser Anteil 2,5 %. Auf die ostdeutsche Glas- und Feinkeramikerzeugung entfielen 32 % und 68 % auf die westdeutsche Glas- und Keramikerzeugung.

6.3.1 Glas

Die Glasproduktion in den alten Bundesländern war mit 5 Mio. t etwa sechsmal größer als in den neuen Bundesländern (828.000 t). Das Verhältnis von Strom zum Brennstoffverbrauch bei der Herstellung von Glas beträgt ca. 1 : 5,4. Dominierende Brennstoffe sind Gas und Heizöl mit einem Anteil von ca. 75 %. In den neuen Bundesländern wurden im Gegensatz zu den alten Bundesländern noch erhebliche Mengen Kohle zur Energiebereitstellung genutzt. Im Jahr 1989 gab es in den alten Bundesländern 82 und in den neuen Bundesländern 15 Betriebe mit durchschnittlich (alte und neue Bundesländer) 283 Beschäftigten.

Die Glasindustrie gehört zu den vier energieintensivsten Branchen der Bundesrepublik. Rund 70 % des Energieverbrauchs werden für die Hohlglasproduktion aufgewendet. Die Rohstoffe des Glases (Quarzsand, Soda, Kalkstein usw.) werden meist mit Glasscherben gemischt, in einer Wanne bzw. Tiegel bei ca. 1400 bis 1600 °C geschmolzen und geläutert. Bei großen Schmelzwannen ist eine regenerative Luftvorwärmung üblich. In zunehmendem Maße werden Wannenöfen mit elektrischer Zusatzbeheizung verwendet, um eine gute Durchmischung der Glasschmelze zu gewährleisten, wobei über Elektroden Wechselstrom durch die Schmelze geschickt wird. Für die Flachglasproduktion wird das Glas aus der Wanne nach oben oder zur Seite gezogen, durch Walzen nach unten geführt oder bei Floatverfahren auf einer Zinnschmelze erstarren gelassen. Bei der Hohlglasproduktion wird das Glas entweder in eine Form gepreßt oder geschleudert. Anschließend können die Gläser noch spannungsfrei gegläht und weiter veredelt werden.

Größter Energieverbraucher bei der Glasproduktion ist der Glasschmelzofen, auf den ca. 80 % des Energiebedarfs entfallen. Der spezifische Energieverbrauch in den Schmelzöfen liegt bei ca. 5.000 kJ/kg_{Glas}. Aufgrund der hohen Prozeßtemperaturen zum Glasschmelzen kommt der Nutzung der Abgaswärme eine besondere Bedeutung zu. Einsparpotentiale von 20 und mehr Prozent sind durch eine konsequente Nutzung der Abgaswärme hinter den Schmelzwannen möglich. Vielfach wird derzeit das Abgas noch mit Temperaturen von etwa 500 °C über die Abgasreinigung in den Kamin abgeleitet /Barklage-Hilgefort, 1989/. Durch die Verbesserung

von Feuerfestmaterialien und damit der **Ofenisolierungen** kann der Brennstoffbedarf um ca. 5 % reduziert werden. Weitere Verbesserungen sind durch **strömungs- und verbrennungstechnische optimierte Brenner** zu erwarten.

Günstig auf den spezifischen Energieverbrauch wirkt sich des weiteren der **steigende Altglaseinsatz** aus. Eine Erhöhung des Scherbenanteils um ca. 10 % führt zu Energieeinsparungen von ca. 3 % im Schmelzprozeß. Durch die **Zugabe von Flußmitteln** wie z. B. LiO wird über die Verringerung der Schmelztemperatur eine Reduzierung des Energiebedarfs erreicht. Die Nutzung von **sauerstoffangereicherter Verbrennungsluft** führt trotz des Energiebedarfs bei der Sauerstoffanreicherung insgesamt zu weiteren Brennstoffeinsparungen.

Durch die Optimierung von Nebenanlagen wie z. B. Druckluftherzeugung, Motoren und Antrieben sowie Beleuchtung kann der spezifische Verbrauch von elektrischer Energie der Glasindustrie um 6 bis 12 % verringert werden.

6.3.2 *Feinkeramik*

Die Feinkeramikindustrie umfaßt die Bereiche Porzellan, Steingut und Tonerzeugnisse sowie die Herstellung von Sanitärkeramik. In den neuen Bundesländern gab es 1988 18 Betriebe. 200 Betriebe mit durchschnittlich 234 Mitarbeitern produzierten in den alten Bundesländern (1989). Die Herstellung von keramischen Erzeugnissen gliedert sich in die drei Hauptschritte: Aufbereiten des Rohstoffs und Formgebung, Trocknen, Brennen. Während für die Aufbereitung und Formgebung im wesentlichen Strom als Energieträger eingesetzt wird, erfolgt die Energiebereitstellung zum Trocknen und Brennen weitgehend durch fossile Brennstoffe.

Der Anteil des Stroms am Endenergieverbrauch liegt in den alten Bundesländern bei 13,4 % (NBL 11,9 %). Für die Keramikherstellung in den neuen Bundesländern betrug der spezifische Stromverbrauch 12,9 GJ/t und der spezifische Brennstoffverbrauch 95,4 GJ/t.

Aufgrund des großen Anteils der Brennöfen am Energieverbrauch ist mit ofentechnischen Maßnahmen das größte Einsparpotential zu erzielen. Maßnahmen im Ofenbereich sind die **genaue Temperaturführung**, verbesserte **Nutzung der Ofenabgase**, Einsatz von **Isoliermaterialien** mit geringeren Wärmeleitfähigkeiten und dickere Isolationsschichten. Einsparpotentiale lassen sich zudem durch den Übergang zu größeren Brennöfen mit

geringeren Oberflächenverlusten pro Tonne Brenngut erreichen. Von Bedeutung ist darüber hinaus die Marktdurchdringung neuer Ofentechnologie wie z. B. der **Rollentunnelöfen**, der gegenüber einem konventionellen Tunnelofen einen von 33,6 auf 14,7 GJ/t reduzierten spezifischen Energiebedarf aufweist.

6.3.3 *Sonstige Verbrauchsgüterindustrie*

Unter dem Begriff sonstige Verbrauchsgüterindustrie werden neben der kunststoff- und der textilverarbeitenden Industrie alle sonstigen Verbrauchsgüter zusammengefaßt (s.o.). Der Endenergieverbrauch dieses aggregierten Bereiches betrug 159,9 PJ für die westdeutsche Industrie und 70,3 PJ für die ostdeutschen Betriebe. Der Stromanteil an Endenergiebedarf betrug 38,8 % (neue Bundesländer 18,6 %).

Die Hauptprodukte der kunststoffverarbeitenden Industrie sind Kunststoff-Halbzeuge -Einzelteile, -Bauelemente, -Verpackungsmittel und -Fertigerzeugnisse. Sie hat einen Endenergiebedarf von 42,3 PJ in den alten Bundesländern und 10 PJ in den neuen Bundesländern. Innerhalb des Verbrauchsgütergewerbes hat sie den höchsten Stromverbrauch, während der Brennstoffverbrauch weniger bedeutend ist. Mit einem Energiekostenanteil am Bruttoproduktionswert von 2,9 % liegt die Branche im Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes, während die durchschnittliche Betriebsgröße mit etwa 110 Beschäftigten pro Betrieb vergleichsweise gering ist.

Die Herstellung von Kunststoffwaren erfolgt durch Vorbereitung des flüssigen oder festen Ausgangsmaterials durch Mischen, Kneten usw., Aufheizen bzw. Aufschmelzen der Kunststoffe, Formen durch Gießen, Pressen usw. sowie Abkühlen und Nachbearbeiten durch Umformung oder spanabhebende Bearbeitung. Der Stromverbrauchsschwerpunkt liegt mit ca. 60 bis 70 % beim Kraftbedarf, etwa 20 bis 30 % entfallen auf Aufheiz- und Aufschmelzprozesse.

Die beiden wichtigsten Verarbeitungsverfahren zur Herstellung von Thermoplasten sind Extrudieren und Spritzgießen, wobei elektrische Energie hauptsächlich zum Aufschmelzen und Formen der Kunststoffe benötigt wird. Beim Spritzgießen wird elektrische Energie überwiegend für Pumpen und Antriebsmaschinen, Heizbänder, Werkzeugtemperiergeräte sowie für Steuerungszwecke gebraucht. 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. Beim **Extrudieren** handelt es sich im Gegensatz zum **Spritzgießen** um ein kontinuierlich arbeitendes Verfahren, bei dem

größere Mengen pro Zeiteinheit verarbeitet werden. Elektrische Energie dient hier in erster Linie zur Deckung des Kraftbedarfes für Antriebszwecke. Die beiden Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich des Strombedarfs pro Gewichtseinheit erheblich. Beim Spritzgußverfahren liegen Praxiswerte etwa zwischen 0,4 und 2,5 kWh/kg, bei im Extruder hergestellten Kunststoffwaren zwischen 0,3 und 0,6 kWh/kg.

Während kaum mit signifikanten Strom-Mehrverbrauchstendenzen durch weitere Automatisierung und Wärmerückgewinnungsmaßnahmen zu rechnen ist, besteht noch ein großer Spielraum für Stromeinsparmaßnahmen von 20 bis 25 %. So läßt sich beispielsweise durch die Zylinderisolierung bei Spritzgußmaschinen bis zu 70 % des hierzu bereitgestellten Wärmestroms einsparen. Darüberhinaus bestehen weitere Möglichkeiten einer rationelleren Nutzung von Antriebsenergie. Konkrete Vorschläge u. a. zur Optimierung der Maschinenauslegung und zur Verringerung der Verluste in Mechanik und Hydraulik existieren.

Die **Textilindustrie** ist nach der Glasindustrie der bedeutendste Energieverbraucher innerhalb des Verbrauchsgütergewerbes mit jeweils etwa einem Viertel bei Strom und Brennstoffen. Der Endenergiebedarf lag 1989 in den alten Bundesländern bei knapp 61 PJ, in den neuen Bundesländern bei knapp 40 PJ. Das Textilgewerbe umfaßt die Aufbereitung von Rohmaterialien wie Baumwolle, Wolle oder Kunststoffen zu Natur-, Misch- oder Chemiefasern, deren Verarbeitung zu Garnen, die Herstellung von Textilflächen und Verbundstoffen sowie die Veredelung der Produkte durch Färben, Bleichen, Waschen und Appretieren. Der Anteil der Textilien für technische Anwendungen steigt und liegt bereits bei über 15 % der Gesamterzeugung.

Große Einsparpotentiale bestehen bei den Brennstoffen. So wird der hohe Raumwärmeanteil von rund 30 % im wesentlichen durch die hohen Luftwechselraten (10 - 30) verursacht, die zur Vermeidung von Fadenbrüchen und elektrostatischen Aufladungen sowie zur Verringerung des Fasenbruchs bei Webmaschinen hoher Ertragsleistung notwendig sind. Durch die Entwicklung in der **Klimatechnik**, nicht mehr ganze Hallen sondern nur das Mikroklima unmittelbar in der Arbeitszone aufrecht zu erhalten, sind hier in Verbindung mit **wärmetechnischen Sanierungen** der Gebäude und einer **Nutzung der Abwärme** große Heizenergieeinsparungen erzielbar. Durch das Einhausen der Schlichte, Isolierung der Luftkanäle, gezielte Führung der Luftströme und weiterer Wärmerückgewinnungsmaßnahmen können Brennstoffe beim Schlichten eingespart werden. Die Kreislaufführung vom Waschwässern, die Verwendung von Wärmetauschern und eventuell Wärmepumpen im Bereich Färben, Waschen und Bleichen bieten erhebliche Einsparpotentiale.

Beim Trocknen von Textilflächen und Fixieren von Druckfarben weisen **direkt gasbeheizte** Spannrahmen und Druckfarbentrockner mit nachgeschaltetem Wärmetauscher den niedrigsten Energieverbrauch auf. Auch bei sonstigen Arbeitsgängen bieten verhältnismäßig einfache und preisgünstige Wärmerückgewinnungsmaßnahmen beachtliche Möglichkeiten zur Reduktion des Brennstoffverbrauchs.

Der Stromverbrauch für Klimatisierung kann bis zu 30 % des Stromverbrauchs einer textilen Verarbeitungsstufe betragen. Durch den oben erwähnten Trend zur Mikroklimatisierung ergibt sich ein niedrigerer Kraftbedarf für die Ventilatoren, der sich durch Drall- oder Drehzahlregelung nochmals reduzieren läßt. Durch verlustarme Regelung der Motoren der Textilmaschinen, Minderung der Reibung und systemgerechte Auslegung der Motoren sowie Verbesserungen im Bereich der Drucklufterzeugung sind weitere Stromeinsparungen möglich. Insgesamt werden technische Energiesparmöglichkeiten beim Strom von knapp 20 % und bei Brennstoffen von fast 50 % gesehen.

Das **übrige Verbrauchsgütergewerbe** umfaßt die Branchen Musikinstrumente und Spielwaren, Holzverarbeitung, Papier- und Pappeverarbeitung, Druckereien und Vervielfältigung, Ledererzeugung und -verarbeitung sowie das Bekleidungs-gewerbe. Der Energiekostenanteil liegt mit 1,6 % niedrig, ebenso die durchschnittliche Betriebsgröße von 90 Beschäftigten pro Betrieb. Der Anteil des Brennstoffverbrauchs des übrigen Verbrauchsgütergewerbes an dem Verbrauch der gesamten Industrie lag 1990 bei 3,8 %, der Stromverbrauch bei 2,1 %.

Aufgrund der Vielzahl der einzelnen Produkte und Herstellungsprozesse ist eine Disaggregation der Einsparmaßnahmen wegen des hohen Analyseaufwandes nicht sinnvoll und möglich. Für die sonstige Verbrauchsgüterindustrie lassen sich jedoch produktunabhängige Einsparpotentiale von Querschnittstechnologien angeben. Einsparpotentiale ergeben sich durch die Verringerung von Leckverlusten bei der Druckluftversorgung, den Ersatz von Druckluft durch Hydraulik- oder Elektroantriebe und den Einsatz effizienterer Kompressoren.

Im Bereich der Wärmeerzeugung und Verteilung sind bessere Kesselwirkungsgrade, verstärkte Isolierungen und Wärmerückgewinnung durch Kondensatrückführung und Entspannungsdampfnutzung bei Dampfnetzen einige der Maßnahmen, die zu einer Verringerung des spezifischen Energiebedarfs führen.

6.3.4 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Einzelbranchen zum Verbrauchsgüterproduzierenden Gewerbe

Der Nettoproduktionswert der Verbrauchsgüterindustrie wird gemäß den bei IKARUS getroffenen Annahmen bis zum Jahr 2005 in Westdeutschland um fast 63 % auf 134 Mrd. DM ansteigen (vgl. Tab. 6.3.4-1). In der Referenzentwicklung hat dies einen Brennstoffbedarf von 174 PJ (+9 %) und einen Strombedarf von 111 PJ (+48 %) zur Folge. Einsparinvestitionen in Höhe von jeweils etwa 1,3 bis 1,4 Mrd. DM könnten den Strombedarf gegenüber der Referenzentwicklung um etwa 5,5 % und den Brennstoffbedarf um 8,5 % senken. Realisierbar erscheint auch ein Brennstoffbedarf in Höhe von 147 PJ (-15 % gegenüber Referenz) und ein Strombedarf in Höhe von 99 PJ (-11 % gegenüber Referenz), wenn zusätzliche Investitionen gegenüber dem "business as usual" in Höhe von insgesamt knapp 6 Mrd. DM getätigt würden.

In den neuen Bundesländern wird für das Jahr 2005 ein Brennstoffbedarf von 35 PJ und ein Strombedarf von 22 PJ erwartet, bei einem Nettoproduktionswert in Höhe von 26 Mrd. DM. Dieser könnte sich für zusätzliche Investitionen in Höhe von insgesamt etwa 1,5 Mrd. DM auf etwa 29,5 PJ (Brennstoffe) bzw. 19,5 PJ (Strom) reduzieren lassen.

Bei einem Nettoproduktionswert von 320 Mrd. DM in Gesamtdeutschland im Jahre 2020 wird für die Verbrauchsgüterindustrie ein Brennstoffbedarf in Höhe von 256 PJ und ein Strombedarf in Höhe von 158 PJ erwartet. Für etwa 2,5 Mrd. DM bzw. 5,5 bis 6 Mrd. DM dürften sich dann 7 PJ (-4,5 %) bzw. 13 PJ (-8,5 %) im Strombereich einsparen lassen, bei den Brennstoffen sind dies 22 PJ (-8,5 %) bzw. 39 PJ (-15 %) für 3,5 bis 4 Mrd. DM bzw. 7,5 bis 8 Mrd. DM.

Branche	ABL 1989	ABL 1989		ABL 2005	ABL 2005-1		ABL 2005-2		ABL 2005-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brennst.	elektr. Str.		Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.
Glas	6,3	42,9	11,2	9,7	49,2	10,6	45,9	10,1	42,6	9,5
Rest Konsum	76,1	116,2	63,7	124,4	124,6	100,4	113,0	94,8	104,7	89,6
SUMME	82,4	159,0	74,8	134,0	173,8	111,0	158,9	104,8	147,4	99,0

Branche	NBL 1989	NBL 1989		NBL 2005	NBL 2005-1		NBL 2005-2		NBL 2005-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brennst.	elektr. Str.		Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.
Glas	0,37	7,9	0,8	2,1	10,7	3,5	10,0	3,4	9,3	3,2
Rest Konsum	3,83	80,1	16,5	24,0	24,0	18,3	21,8	17,3	20,2	16,3
SUMME	4,20	88,0	17,3	26,1	34,7	21,8	31,8	20,7	29,5	19,5

Branche	ABL+NBL 2020	ABL+NBL 2020-1		ABL+NBL 2020-2		ABL+NBL 2020-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.
Glas	15,75	74,9	16,0	69,5	15,1	64,2	14,4
Rest Konsum	204,25	181,1	142,2	164,8	136,0	152,6	130,4
SUMME	220,00	256,0	158,2	234,3	151,1	216,8	144,8

Tab. 6.3.4-1: Produktion und Energiebedarf des Verbrauchsgüterproduzierenden Gewerbes
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

6.4 Nahrungs- und Genußmittelgewerbe

Das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe (NuG) umfaßt alle Bereiche der Verarbeitung von landwirtschaftlichen und industriellen Rohstoffen zu Nahrungsmitteln, nicht aber die Rohstoffgewinnung sowie Transport und Weiterverteilung. Während die Energiebilanz das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe nach Zuckerindustrie, übriges Nahrungsmittelgewerbe sowie Genußmittelgewerbe (im wesentlichen Spirituosen) unterteilt, gliedert das Statistische Bundesamt in die zwei Hauptgruppen Ernährungsgewerbe sowie Tabakverarbeitung und diese wiederum in 30 Branchen, davon 28 in der ersten Hauptgruppe. In der IKARUS-Datenbank sind die Zuckerindustrie, die Brauereien, die Backwarenindustrie und die Milchverarbeitung separat beschrieben und die übrigen Branchen zu einer Restgruppe zusammengefaßt.

Im Nahrungs- und Genußmittelgewerbe der **alten Bundesländer** wurden 1989 rund 153 PJ Endenergie verbraucht, was einem Anteil von 6,7 % des Endenergieverbrauchs des Verarbeitenden Gewerbes entspricht. Wichtigste Energieträger sind die Gase mit einem Anteil von 42 %, gefolgt von den Heizölen mit einem Anteil von 29 % (15 % HEL, 14 % HS), während die übrigen Brennstoffe mit 7 % und die Fernwärme mit 2 % (trotz hohem Anteil an Niedrigtemperaturwärmebedarf, aber wegen meist ländlicher Standorte) keine große Rolle spielen. Der Stromanteil von 21 % ist deutlich niedriger als im Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes (27 %).

Der Anteil der Stromeigenerzeugung des NuG-Gewerbes am Strombedarf ist in Westdeutschland mit 14 % sehr hoch. Innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes steht das NuG-Gewerbe damit an vierter Stelle. Mit einem Eigenerzeugungsanteil von über 90 % ist die Zuckerindustrie zu 60 % an der Stromeigenerzeugung des NuG-Gewerbes beteiligt. Der Endenergieverbrauch des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes wird weitgehend durch einige wenige energieintensive Branchen bestimmt. Den größten Endenergieverbrauch weist die Zuckerindustrie mit einem Anteil von über 17 % auf. Es folgen die Brauereien mit 12 % und das Milchverarbeitungsgewerbe mit 10 %. Die Tabakverarbeitung weist einen Anteil von rund 1,5 % am Endenergieverbrauch dieser Wirtschaftsgruppe auf.

Mit rund 82 PJ benötigte das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe in den **neuen Bundesländern** 1989 rund 8,4 % der Endenergie der ostdeutschen Industrie. Mit einem Anteil von 68 % Kohlen lag die Branche deutlich über dem durchschnittlichen Kohleanteil des Verarbeitenden Gewerbes in den neuen Bundesländern von 50 %. Relativ hoch war der Fernwärmeanteil von 8 %, während nur 11 % Gase und 10 % Strom eingesetzt wurden.

Mit rund 4 500 Betrieben und etwa 450 000 Beschäftigten wurde in den alten Bundesländern 1989 ein Nettoproduktionswert von 49 Mrd. DM erwirtschaftet. Daraus ergibt sich ein spezifischer Brennstoffverbrauch von 2,45 PJ/Mrd. DM und ein spezifischer Stromverbrauch von 0,66 PJ/Mrd. DM. Ein deutlicher Rückgang des Endenergieverbrauchs ist in allen drei energieintensiven Branchen zu beobachten. Seit 1979 ging der Endenergiebedarf des NuG-Gewerbes absolut um gut 10 % und spezifisch um ein Drittel zurück.

6.4.1 Zuckerindustrie

Die Zuckerindustrie ist die energieintensivste Branche des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes.

In den alten Bundesländern benötigte die Branche 1989 rund 27 PJ Endenergie und damit 18 % bezogen auf das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe bzw. 1,2 % bezogen auf das gesamte Verarbeitende Gewerbe. Nur 10 % des Endenergiebedarfs der Zuckerindustrie wird durch Strom gedeckt, die damit den niedrigsten Stromanteil des gesamten Verarbeitenden Gewerbes hat (Durchschnitt 27 %) und auch absolut mit 2,6 PJ das Schlußlicht bildet. Dieser Strom wird fast ausschließlich in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen der Zuckerindustrie hergestellt. Bei den Brennstoffen dominiert mit 40 % das schwere Heizöl, gefolgt von den Gasen (31 %) und Kohlen (27 %). Leichtes Heizöl kommt nur mit 2 % zum Einsatz und Fernwärme überhaupt nicht.

In den neuen Bundesländern verbrauchte die Zuckerindustrie 1989 mit knapp 25 PJ fast genau soviel Endenergie wie in den alten Ländern, was allerdings auch auf eine andere statistische Abgrenzung zurückzuführen ist /GEU, 1995/. Mit 1,2 PJ verbrauchte sie etwa halb so viel Strom wie die in den alten Bundesländern. Der Brennstoffbedarf wurde zu 93 % mit Kohlen gedeckt, während Gas und sonstige Brennstoffe einen Anteil von 4 % bzw. 3 % hatten.

Der spezifische Endenergieverbrauch pro Tonne Zucker lag in der ehemaligen DDR etwa 55 % höher als in der BRD.

In den 40 Betrieben der Zuckerindustrie der alten Bundesländer wurden 1989 rund 2,8 Mio. Tonnen Zucker mit einem Nettoproduktionswert in Höhe von 1,8 Mrd. DM produziert. Der Energiekostenanteil liegt mit 3,4 %, bezogen auf den Bruttoproduktionswert relativ hoch, so daß der Durchführung von Energiesparmaßnahmen eine hohe Bedeutung bei den Innovationsentscheidungen zukommen dürfte.

Rund 90 % des Energiebedarfs der Zuckerindustrie wird in der Kampagne zwischen Ende September und Ende Dezember benötigt.

Bei der Gewinnung von Zucker aus Zuckerrüben werden die Rüben nach dem Waschen und Schnitzeln ausgelaut. Der dabei entstehende Rohsaft wird anschließend mehrmals gereinigt, die ausgelauten Rübenschnitzel werden als Viehfutter verwendet. Der gereinigte Dünnsaft wird in mehreren Stufen eingedampft und filtriert, bis ein Teil des Zuckers ausscheidet. Dieser wird durch Zentrifugieren abgetrennt, dann durch mehrere Reinigungsverfahren weiter gereinigt.

Etwa 35 % der Prozeßwärme werden für die Schnitzeltrocknung und 65 % für Verdampfungsprozesse benötigt. **Energieeinsparmöglichkeiten** ergeben sich hier durch Brüden-Kompression, Wärmepumpen und kontinuierliche Kristallisationsverfahren, sowie durch Niedertemperatur-Vortrocknung der Rübenschnitzel. Bis zu 45 % des Wärmebedarfs ließen sich technisch einsparen, jedoch behindern die bestehenden KWK-Anlagen mit kostengünstigem Wärmeangebot und die kurze Betriebszeit der Anlagen stark die rationelle Energienutzung. Die Einsparungen im Strombereich durch Maßnahmen wie drehzahlgeregelte Pumpen usw. könnten durch den erwarteten Mehreinsatz von Brüden-Kompressoren und Wärmepumpen in etwa kompensiert werden.

In der Zuckerindustrie konnte der spezifische Energieverbrauch von rund 18 MJ/kg Zucker auf unter 10 MJ/kg Zucker durch umfangreiche Sparmaßnahmen reduziert werden. In gut geführten Betrieben werden derzeit bereits Werte um 6,0 MJ/kg erreicht, langfristig sind spezifische Verbrauchswerte von 4 MJ/kg Zucker durchaus denkbar. So könnten später in einer energetisch optimierten Zuckerfabrik rund 50 % weniger Dampf gegenüber heute benötigt werden. Bei einer auf minimalen Strombedarf optimierten Zuckerfabrik wird eine Reduktion um 37 % für möglich gehalten /Institut für Landwirtschaftliche Technologie, 1991/.

6.4.2 Brauereien

Der Wirtschaftszweig Brauereien gehört mit einem Stromverbrauchsanteil von rund 12 % und einem fast ebenso großen Brennstoffverbrauchsanteil im gesamten Nahrungs- und Genußmittelgewerbe zu den energetisch bedeutenderen Zweigen. Wichtigster Brennstoff ist Erdgas mit 9,5 PJ (63 % des gesamten Brennstoffverbrauchs), gefolgt von Heizöl (30 %) und Steinkohle (6 %). Mit knapp 1 % am Brennstoffverbrauch spielen alle übrigen Brennstoffe eine untergeordnete Rolle. Der in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen eingesetzte Brennstoff beträgt rund 7 %. Der Stromverbrauch lag bei 3,9 PJ (21 % Stromanteil), wovon 266 TJ durch

Eigenerzeugungsanlagen bereitgestellt werden konnten. Die spezifischen Verbrauchswerte der westdeutschen Brauereien ergeben sich nach /Stat. Bundesamt 1990/ zu 169,6 MJ/hl_{VB} Brennstoff (unbereinigt) und 12,2 Wh/hl_{VB} Strom.

In den neuen Bundesländern benötigte die Bierproduktion 1988 für die rund 24,5 Mio. hl etwa 5,6 PJ Brennstoffe (83 % Kohlen, 15 % Gase, 28 % sonstige Brennstoffe) und 0,8 PJ Strom (13 % Stromanteil). Zum Endenergieverbrauch des Nahrungs- und Genussmittelgewerbes trugen die Brauereien mit 8 % bei. Der spezifische Endenergiebedarf lag in den ostdeutschen Brauereien um etwa 22 % höher als in den westdeutschen Brauereien.

1989 waren in den alten Bundesländern knapp 470 Brauereien mit rund 1180 Braustätten registriert /Stat. Bundesamt 1990/, /Bund. Privat., 1989/. Mehr als 40 % der Gesamtproduktion von ca. 89 Millionen hl Verkaufsbier wurden in einigen wenigen Großbetrieben (2 % aller Braustätten) gebraut. Sehr häufig vertreten sind kleine Braustätten mit Jahresausstoßmengen von unter 30.000 hl_{VB}/a.

Die **Bierherstellung** ist ein wärmeintensiver Prozeß bei Temperaturen bis zu 100 °C. Grundsätzlich werden für die Wärmebereitstellung fossile Brennstoffe eingesetzt. Erheblicher Wärmebedarf besteht im Sudhaus bei der Bereitung der Maische sowie beim Würzekochen, das der Sterilisation und Aufkonzentration der Würze dient. Vielfach wird die Kondensationswärme des entstehenden Dampfes bereits genutzt. Vor dem Abfüllen erfolgt eine Wärmebehandlung zur Haltbarmachung des Biers. In der Bundesrepublik wird hierzu meist das Verfahren der Kurzzeiterhitzung angewendet.

Auch der spezifische Energieeinsatz für die Bierherstellung konnte in den letzten Jahren deutlich reduziert werden. Waren vor 40 Jahren noch spezifische Verbrauchswerte von rund 460 MJ/hl Bier üblich, so werden heute bereits Werte von rund 200 MJ/hl Bier erreicht und teilweise sogar unterschritten /Unterstein, 1989/. Weitere **Energieeinsparmöglichkeiten** eröffnen sich durch den verstärkten Einsatz der Abwärmenutzung bzw. Wärmerückgewinnung:

- Der Einsatz von Brüdenkompressoren ermöglicht - durch Anheben des Temperaturniveaus - die weitere Nutzung des Brüdendampfes, der beim Würzekochen anfällt. Die hierbei erreichbare Reduktion des Primärenergiebedarfs beträgt bis zu 70 %.
- Elektromotorisch oder durch Gasmotoren getriebene **Wärmepumpen** erschließen unterschiedliche, ansonsten nicht mehr nutzbare Abwärmequellen, z.B. die Frischluftherwärmung mittels Abluft aus der Malzdarre über gasmotorbetriebene Wärmepumpen.

- Beim Hochtemperaturwürzekochen durchläuft die Würze in einem kontinuierlichen Verfahren drei Kocher, von denen nur der letzte konventionell beheizt wird, da die beiden ersten Stufen durch den Abdampf der jeweils nachgeschalteten Stufe mit Wärme beliefert werden. Das Einsparpotential ist, wie bei der **Brüdenverdichtungsanlage** auch, davon abhängig, inwieweit zum Würzekochen bereits Abwärme eingesetzt wird.
- Durch **Verbesserung der Isolierung**, Vermeidung längerer Auskühlperioden durch häufige Sudfolgen, **Prozeßoptimierung** durch Mikroelektronik und Verbesserung an den Dampferzeugern sind weitere Einsparungen möglich.

Elektrische Energie dient vorwiegend zur Deckung des Kraftbedarfs für Materialtransport, Druckluft- und Kälteerzeugung. Die Antriebsenergie wird für das Schroten des Malzes, das Vermengen der Maische, Auspressen der Restwürze aus dem Treber, dem Transport der Produktströme usw. benötigt. Hier können die gängigen Maßnahmen für elektrische Antriebe Einsparungen bringen. Etwa 30 % der elektrischen Energie einer Brauerei wird zur Kühlung der Würze nach dem Kochen und Klären, Kühlung der Gärbehälter und zur Kühlung der Lagertanks während der Reifung des Biers benötigt. Die besser angepasste Auslegung überdimensionierter Kälteanlagen kann hier fallweise einen Beitrag zur rationellen Stromnutzung leisten. Weitere Möglichkeiten zur Verminderung des Stromverbrauches werden in der Füllerei gesehen.

6.4.3 *Backwarenindustrie*

Die Backwaren- und Dauerbackwarenindustrie weist für 1989 in den alten Bundesländern einen Endenergieverbrauch von 12,3 PJ auf und trägt damit zu 8 % zum Endenergiebedarf des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes bei. Die Energieträgerstruktur bei den Brennstoffen hat sich innerhalb des letzten Jahrzehntes grundlegend verändert. Lag der Anteil von Heizöl 1980 bezogen auf die Brennstoffe noch bei 68 %, so ist er 1989 auf 46 % zurückgegangen. Im gleichen Zeitraum ist der Anteil von Erdgas von 31 % auf knapp 53 % angestiegen. Der Anteil elektrischer Energie am Endenergieverbrauch hat sich im gleichen Zeitraum nur geringfügig auf 17 % erhöht.

Die Brot- und Backwarenindustrie hatte in den neuen Ländern 1988 einen Endenergieverbrauch von knapp 3 PJ, was einem Anteil von 4 % am Endenergieverbrauch des ostdeutschen Nahrungs- und Genußmittelgewerbes entsprach. Während der Stromanteil mit 10 % bezogen auf den Endenergieverbrauch im Durchschnitt des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes lag, war der Anteil der Gase in dieser Branche mit 78 % bezogen auf

den Brennstoffeinsatz außergewöhnlich hoch (Durchschnitt im Nahrungs- und Genußmittelgewerbe der neuen Bundesländer 1989 rund 11 % bzw. 22 % im Gesamtdurchschnitt des ostdeutschen Verarbeitenden Gewerbes).

Mit annähernd 920 Betrieben und 68,5 Tausend Beschäftigten hat die Branche in den alten Bundesländern rund 4,3 Milliarden DM Nettoproduktionswert in 1989 erwirtschaftet /Prognos, 1991/.

Vom Gesamtenergieverbrauch der Brotindustrie entfallen gut 80 % auf die Backöfen. Der übrige Energiebedarf fällt vorwiegend in Form von Elektrizität für Kühl- und Gefriergeräte, Knetmaschinen, Gärshränke, Fettbackgeräte, Beleuchtung und Warmwasserbereitung an.

Der Teig wird in Knetmaschinen angerührt und geknetet. Nach der Teigruhe wird der Teig geteilt und zum Entfernen der Gärblasen gewirkt. Die Stückgärung in klimatisierten Gärshränken schließt sich an. Danach wird der Teig gebacken. Die Backzeit für Brot beträgt 40 bis 60 Minuten, für Brötchen 18 bis 20 Minuten. Der zur Bildung einer Kruste beim Backen benötigte Dampf wird durch Aufsprühen von Wasser auf erhitzte Stahlteile des Ofens erzeugt und anschließend in die Backräume gedrückt.

Der spezifische Energieverbrauch beim Backen ist stark vom Produkt und vom Auslastungsgrad und dem Typ des Backofens abhängig. Das Backen von Brötchen und Kleingebäck ist - je nach Auslastung des Ofens - bis zu doppelt so energieintensiv wie das Backen von Brot. Wenn der Ofen nur zu einem Viertel belegt ist, verdoppelt sich der spezifische Energieverbrauch beim Backen von Brot, bei Brötchen und Kleingebäck verdreifacht er sich sogar gegenüber dem vollaugelasteten Ofen. Messungen an fossil beheizten Öfen zeigten, daß je nach Gebäckart nur 34 bis 37 % des Energieeinsatzes als Nutzwärme in das Backgut gelangt und der Rest als Abgas, Abschwaden, Konvektions- und Strahlungsverlust verloren geht.

Durch eine Reihe von technischen **Maßnahmen** zur rationellen Energienutzung wie

- Isolierung der Herdtüren
- Herdgruppensteuerung
- Luftabschlußklappe am Brenner
- Stufenbrenner
- Abgasklappe

- Abgasprüfleitung
- Wärmerückgewinnung aus dem Ofen zur Warmwasserbereitung
- Nutzung der Abwärme aus den Kälteanlagen

und organisatorischen Maßnahmen wie

- verbesserte Ofenauslastung
- sparsame Schwadenabgabe
- regelmäßige Wartung von Brennern und Öfen
- Abschalten nicht benötigter Beleuchtung
- regelmäßiges Abtauen von Kühl- und Gefriergeräten

sind **langfristig Endenergieeinsparungen** in Höhe von **30 %** realisierbar.

6.4.4 *Milchverarbeitung*

In der amtlichen Statistik des Produzierenden Gewerbes wird die Milchverarbeitung unterschieden in Molkereien und Käseereien (Sypro Nr. 6831) sowie in die Herstellung von Dauermilch, Milchpräparaten und Schmelzkäse (Sypro Nr. 6836).

Diese Branchen benötigten in den alten Bundesländern 1989 etwa 23 PJ Endenergie, was einem Anteil von 15 % bezogen auf das Nahrungs- und Genußmittelgewerbe bedeutet. Mit einem Anteil von 20 % Strom am Endenergieverbrauch liegt er im Durchschnitt des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes. Etwa 10 % des benötigten Stroms wurden von den Firmen des Milchverarbeitenden Gewerbes selber produziert. Bei den Brennstoffen dominierten mit einem Anteil von 73 % die Gase, gefolgt von den Heizölen mit 26 %, wobei etwa gleich viel auf schweres und auf leichtes Heizöl entfielen.

In den neuen Bundesländern, in denen die Milchverarbeitung 1989 mit knapp 16 PJ Endenergieverbrauch (19 % bezogen auf das dortige Nahrungs- und Genußmittelgewerbe) vertreten war, sah die Energieträgerverteilung gänzlich anders aus: Nur 6 % des Endenergieverbrauchs gingen zu Lasten von Strom; vom Brennstoffbedarf wurden 88 % mit Kohlen und nur ca. 10 % mit Gasen gedeckt.

Der aus den statistischen Angaben zur gesamten Branche errechenbare spezifische Endenergiebedarf lag 1988 in den neuen Bundesländern rund doppelt so hoch wie in den westdeutschen Betrieben.

Die Milchwirtschaft hat in Westdeutschland in den letzten Jahrzehnten eine Entwicklung durchlaufen, die durch Konzentration und Industrialisation gekennzeichnet war. Trotzdem ist die Milchwirtschaft mit 292 Betrieben weitestgehend mittelständisch strukturiert.

Die Hauptprodukte der **Molkereien und Käsereien** sind Trinkmilch, Sahne, Joghurt, Butter, Käse, Kondensmilch und Trockenmilcherzeugnisse. Kennzeichnend für die Branche sind die hohen hygienischen Standards. Daraus resultiert ein erheblicher Wärmebedarf für Reinigung und ein hoher Kühlbedarf. Die angelieferte Milch wird gereinigt und entrahmt, anschließend erfolgt eine Erhitzung zur Abtötung pathogener Keime und zur Verlängerung der Haltbarkeit. Hierzu sind verschiedene Verfahren gebräuchlich, die sich durch die erreichte Temperatur und deren Einwirkdauer unterscheiden. Am gebräuchlichsten ist die Pasteurisierung der Milch mit der Kurzzeiterhitzung auf ca. 70 °C während 40 Sekunden.

Im Mittel werden für die Umwandlung von Rohmilch in Trinkmilch 20 MJ Wärme und rund 50 kWh Strom pro Tonne Milch benötigt. Durch Teilhomogenisierung, bei der nur der Rahm homogenisiert wird, können bei gleicher Produktqualität rund 60 % Strom eingespart werden.

Bei der Butterproduktion wird der pasteurisierte Rahm nach der Reifung durch den Eintrag von mechanischer Energie in Butter umgewandelt. Für die diskontinuierliche Butterung wird ein elektrischer Energiebedarf von 7 bis 11 kWh/t Butter angegeben.

Für die Sauermilchproduktion wird die separierte Rohmilch durch Verdampfen bei rund 70 °C aufkonzentriert. Als Alternative zur Verdampfung sind Membranverfahren einsetzbar, wobei der Energiebedarf gegenüber einem Fallstromverdampfer um den Faktor 5 von 310 Wh/kg auf 62 Wh/kg verdampftes Wasser sinkt. Anschließend erfolgt eine Homogenisierung (65 °C, 200 bar) und die Wärmebehandlung (85 bis 95 °C, 5 bis 30 min).

Die Verfahren der Käseproduktion sind sehr unterschiedlich. Der Wärmebedarf der Hartkäseherstellung liegt bei ca. 85 bis 130 kWh/t verarbeiteter Milch, der Stromverbrauch, der zu gut 50 % durch die Kühlung verursacht wird, liegt im Bereich von 30 bis 80 kWh/t verarbeiteter Milch. Insbesondere bei der Frischkäseherstellung werden zunehmend Membranverfahren eingesetzt. Wegen der Veränderung von Konsistenz und Geschmack hat sich dieses Verfahren trotz der energetischen Vorteile bisher bei der Herstellung gereifter Käse nicht durchsetzen können.

Als technische **Maßnahmen zur rationellen Energienutzung** in Molkereien und Käsereien werden die folgenden genannt:

- Verbesserung des Kesselwirkungsgrades und der Wärmeverteilung (z.B. Brennwertkessel, Rauchgasklappe, Mehrstufenbrenner, Isolierung)
- Milcherhitzer (Plattenwärmetauscher) mit hoher Wärmeausnutzung (aus verfahrenstechnischen Gründen maximal 96 %)
- Mehrstufenverdampfer mit thermischer Brüdenverdichtung. Je größer die Anzahl der Verdampferstufen ist, desto geringer ist der Energieverbrauch, wobei die thermische Brüdenkompression als eine Stufe gezählt werden kann.
- Mehrstufenverdampfer mit mechanischer Brüdenkompression; Ersatz von thermischer durch elektrische Energie. Unter Berücksichtigung der Verluste bei der Erzeugung von elektrischer Energie aus Primärenergieträgern reduziert sich der Energieverbrauch gegenüber einem Mehrstufenverdampfer gleicher Stufenzahl und mit thermischer Brüdenverdichtung erheblich, z. B. benötigt eine dreistufige Verdampfung mit mechanischer Brüdenverdichtung nur 25 % des Primärenergiebedarfs einer dreistufigen Verdampfung mit thermischer Brüdenverdichtung.
- Wärmerückgewinnung bei der Sprühtrocknung (Trockenmilchherstellung)
- Abwärmenutzung durch Wärmespeicheranlagen bei nicht-kontinuierlichen Herstellungsverfahren (z.B. Käseherstellung)
- Gasmotorischer Direktantrieb für Kältemaschinen, Brüdenverdichter oder Druckluftkompressoren unter Nutzung der Abwärme (Kraft-Wärme-Kopplung)
- Nutzung der Abwärme von Druckluft- und Kältekompressoren.
- Optimierung von Druckluft- und Kälte-/Kühlsystemen durch verbesserte Regelung, Betriebsführung und Wartung sowie bessere Auslegung bei Reinvestitionen.

Insgesamt sind auch in dieser Branche noch erhebliche Energieeinsparpotentiale vorhanden (de Beer u.a., 1994).

6.4.5 Zusammenfassung der Projektionsergebnisse der Nahrungs- und Genußmittelindustrie

Im Jahre 2005 wird der Brennstoffbedarf des Nahrungs- und Genußmittelgewerbes in den alten Bundesländern gegenüber 1989 um 8 % auf 110 PJ gesunken sein, während der Strombedarf um 18 % auf 38 PJ ansteigen wird (vgl. Tab. 6.4.5-1). Diese gelten bei der Annahme, daß der Nettoproduktionswert um 29 % auf 63,5 Mrd. DM ansteigen wird und der Stellenwert der rationellen Energieanwendung bei den Investitionsentscheidungen der Unternehmen nicht wesentlich von dem heute üblichen abweicht. Werden etwa 1,0 bis 1,3 Mrd. DM zusätzlich in Energieeinsparmaßnahmen gesteckt, so könnten gegenüber der Referenzentwicklung 8 % der Brennstoffe und 5,5 % der elektrischen Energie eingespart werden. Wären die Betriebe bereit, rund 2,5 bis 3 Mrd. DM mehr als im Basisfall zu investieren, könnte der Brennstoffbedarf auf etwa 95 PJ und der Strombedarf auf 34 PJ sinken, was einer Einsparung um 14 % (Brennstoffe) bzw. 11 % (Strom) entspricht.

In den neuen Bundesländern wird im Jahr 2005 mit einem Brennstoffbedarf in der NuG-Industrie in Höhe von 37 PJ (-50 % gegenüber 1989) und mit einem Strombedarf in Höhe von 13,5 PJ (+ 65 %) gerechnet, wobei ein Nettoproduktionswert von 22,7 Mrd. DM zugrunde gelegt wird. Dieser Endenergiebedarf ließe sich durch zusätzliche Investitionen in Höhe von 1 bis 1,3 Mrd. DM um 14 % bei den Brennstoffen und 11 % beim Strom reduzieren.

Für das Jahr 2020 wird bei einem Nettoproduktionswert in Höhe von 335 Mrd. DM im Standardfall mit einem Brennstoffbedarf von 149 PJ und einem Strombedarf von 57,4 PJ gerechnet. Durch Zusatzinvestitionen in Höhe von rund 2,5 Mrd. DM könnten dann 7 % des Stroms und etwa 4 % der Brennstoffe eingespart werden, bei Zusatzinvestitionen in Höhe von ca. 6 Mrd. DM ließe sich der Brennstoffbedarf auf 132 PJ (um 11 %) und der Strombedarf auf 51 PJ (um 11 %) reduzieren.

Branche	ABL, 1989	ABL, 1989		ABL, 2005	ABL, 2005-1		ABL, 2005-2		ABL, 2005-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brennst.	elektr. Str.		Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.
Zucker	1,8	26,4	2,8	2,2	24,6	3,1	22,9	3,0	21,6	2,8
Rest NuG	47,3	94,1	29,8	61,4	85,5	35,3	78,4	33,3	73,1	31,4
SUMME	49,1	120,5	32,5	63,5	110,1	38,4	101,3	36,3	94,7	34,2

Branche	NBL, 1989	NBL, 1989		NBL, 2005	NBL, 2005-1		NBL, 2005-2		NBL, 2005-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brennst.	elektr. Str.		Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.
Zucker	0,2	23,8	1,2	0,6	6,3	0,8	5,9	0,8	5,5	0,7
Rest NuG	2,8	49,7	7,0	22,1	30,8	12,7	28,2	12,0	26,3	11,3
SUMME	2,9	73,4	8,2	22,7	37,1	13,5	34,1	12,8	31,8	12,0

Branche	ABL+NBL, 2020	ABL+NBL, 2020-1		ABL+NBL, 2020-2		ABL+NBL, 2020-3	
	Produktions- menge Mrd.DM NPW	absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz		absoluter Energieeinsatz	
		Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.	Brennst.	elektr. Str.
Zucker	2,7	27,4	3,7	27,1	3,6	26,9	3,5
Rest NuG	107,1	121,7	53,6	115,8	49,8	105,5	47,7
SUMME	315,2	149,2	57,4	142,9	53,4	132,4	51,3

Tab. 6.4.5-1: Produktion und Energiebedarf des Nahrungs- und Genussmittelgewerbes
(Varianten: Referenz oder Standard = 1; Spar = 2, Super-Spar = 3)

7 **Schlußfolgerungen aus Ausblick**

Mit diesem Bericht und den sektorspezifischen Berichten für die Grundstoffindustrie /Bradke u.a., 1996/, die Investitions- sowie Nahrungs- und Genußmittelindustrie /Schildhauer, Fink, 1996/ und die Konsumgüterindustrie /Petrick, Obst, 1996/ ist die Entwicklungsphase des IKARUS-Projektes für das Teilprojekt Industrie abgeschlossen. Der Leser wird fragen, für welche energie- und umwelttechnischen oder -politischen Fragestellungen nunmehr das Optimierungsmodell oder die Datenbank genutzt werden können.

Grundsätzlich läßt sich zunächst antworten, daß die Autoren und das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) daran interessiert sind, daß das Modell und insbesondere die breite Datenbasis der IKARUS-Datenbank kontinuierlich genutzt und aktualisiert werden. In der vorliegenden Differenzierung der Industrie in so viele Prozesse und Einzelbranchen, in Einspartechiken, prozeßspezifische Emissionen und Kosten dürfte die Datenbank insofern zur Zeit einmalig sein, als die sehr differenzierten Einzeltechniken zu einem gesamtenergiewirtschaftlichen Bild mittels des Industrieteilmodells für die Berechnungen mit dem Optimierungsmodell zusammengefaßt werden können. Dieses Potential gilt es jetzt zu nutzen (vgl. Kapitel 7.1) und zu ergänzen bzw. zu aktualisieren (vgl. Kapitel 7.2).

7.1 **Schlußfolgerungen und Anwendungen**

Nachdem zum Jahreswechsel 1995/96 die IKARUS-Datenbank annähernd mit den erforderlichen Daten ausgestattet und das Optimierungsmodell für die west- und ostdeutsche Industrie getestet ist, kommen die entwickelten Instrumente nunmehr in die Nutzungsphase. Hierbei stellt sich die Frage,

- welche allgemeinen Trends der Energieeffizienzentwicklung sich aus den bisherigen Analysen ableiten lassen (vgl. Kap. 7.1.1),
- welche Unterschiede sich bei den Ergebnissen unterschiedlicher Methoden herausstellen und auf welche Gründe das zurückzuführen sein könnte (vgl. Kap. 7.1.2),
- welche klima- und energiebezogenen technischen und politischen Maßnahmen in ihren Wirkungen mittels des Instrumentariums geeigneterweise analysiert werden können (vgl. Kap. 7.1.3).

7.1.1 Allgemeine Trends der Energieeffizienzentwicklung in der Industrie

Aus der Entwicklung der Energieintensitäten der Branchen in den vergangenen zehn Jahren (vgl. Kap. 3) und der Energieeinsparpotentiale, soweit sie für die nächsten 10 bis 20 Jahre erkennbar sind (vgl. Kap. 6), lassen sich folgende allgemeine Trends ableiten:

- Die spezifischen Energieverbräuche einzelner Branchen, die 1990 in der ostdeutschen Industrie noch wesentlich höher waren als in der westdeutschen, gleichen sich schnell an die Verhältnisse in den westdeutschen Betrieben an. In wenigen Jahren dürften sie häufig unterhalb der Werte der westdeutschen Industriezweige liegen, weil der Kapitalstock der ostdeutschen Industrie in der Regel jünger sein wird.
- Automation und nachsorgender Umweltschutz sind inzwischen soweit vorangeschritten, daß diese Technologieaspekte in Zukunft **kaum mehr zu einer Erhöhung des spezifischen Strombedarfs** beitragen werden. Im Gegenteil: nachsorgender Umweltschutz der 80er Jahre dürfte zunehmend durch emissionsarme Verfahren substituiert werden. Allenfalls wird in Zukunft von der Verfahrenssubstitution zu stromnutzenden Prozessen ein Impuls zu höheren spezifischen Stromverbräuchen ausgehen (z. B. Trocknung mittels Mikrowellen oder Hochfrequenztechnik anstelle von thermischer Trocknung).
- Konkret sind derzeit Potentiale rationeller Energieanwendung auf zwei Gebieten in erheblichem Umfang unausgeschöpft:
 - Alte und **abgeschriebene Anlagen** haben trotz höheren Energieverbrauchs häufig die gleichen Gesamtkosten wie Neuanlagen. Manche abgeschriebene Produktionsanlagen in der Grundstoffindustrie stehen zur **Reinvestition** in den nächsten Jahren an: z. B. die Chloranlagen des Amalgam- und Diaphragma-Verfahrens, die westdeutschen Hüttenkokerien, manche Papiermaschine für eine bessere Entwässerung und Trockenpartie, mancher Drehrohrofen oder Tunnelofen, mancher Schachtofen oder Kupolofen, manche Glaswanne und Trocknerstrecke, mancher Spannrahmen und Glühofen, manche Rektifikationskolonne und Eindicker oder Kristallisator. Allen diesen Reinvestitionen gemeinsam ist ein Energieeinsparpotential zwischen 10 und 25 %; in glücklichen Ausnahmefällen kompletter Prozeßsubstitution (z. B. Dünnbandgießen, Membrantrennung statt thermischer Trennverfahren) sind es noch ein paar Prozentpunkte mehr.
 - Aber auch bei den **Reinvestitionen** der **off-sites** stecken erhebliche Effizienzpotentiale: dem miserablen exergetischen Wirkungsgrad alter Kesselanlagen stünde es gut an, wenn er durch eine Kraft-Wärme-Kopplung erheblich (+25-30 %) verbessert würde; das Druckluftsystem könnte vielleicht verkleinert, auf angepaßte Drücke reduziert und mit einer geeigneten Regelung und Trocknung sowie Wärmenutzung ausgerüstet werden. Eine um 30 % geringere Stromrechnung ist hier ebenso möglich wie bei der Beleuchtung

mit elektronischen Vorschaltgeräten. Die Auslegung und Dimensionierung von Lüftungskanälen, Klimaanlage und innerbetrieblichen Rohrleitungssystemen hatte häufig unnötig hohe Energieverbräuche zur Folge, weil Sicherheitsaufschläge oder mangelnde Kenntnisse über Rohr- und Ventilverluste zu sehr die Auslegung und Installation bestimmten. Elektronisch gesteuerte Elektromotoren sind heute auch in kleinen Leistungsbereichen kostengünstig und rentieren sich schnell bei 30 % geringerem Strombedarf.

So sehr der Technologie in dieser Aufzählung fortfahren könnte, so sehr mangelt es ihm doch am Gesamtüberblick zu den abgeschriebenen und zur Reinvestition anstehenden Produktionsanlagen oder zu den im Produktionsalltag vernachlässigten off-sites. Immerhin erscheint es unter Einbezug aller Branchen aufgrund von detaillierten Analysen im Rahmen des IKARUS-Projektes nicht unplausibel, daß die **heute wirtschaftlichen Energieeffizienzpotentiale bei durchschnittlich etwa 20 bis 25 % liegen**. Unterstellt man einen Durchdringungszeitraum von etwa 10 bis 15 Jahren, um diese Potentiale im Rahmen der Reinvestitionszyklen zu realisieren, so ergibt sich hieraus eine durchschnittliche Effizienzverbesserung von 1,5 bis 2,5 % jährlich. Da der gesamte Anlagenbestand der neuen Bundesländer in dieser Zeit zur Reinvestition (oder Stilllegung) gekommen sein wird, dürfte die Effizienzverbesserung zwischen 1990 und 2005 im Durchschnitt kaum unterhalb von 2 % pro Jahr liegen. Neu gebaute Anlagen der Grundstoffindustrie in den neuen Ländern demonstrieren bereits heute diesen Qualitätssprung der Energieeffizienz sehr deutlich (z. B. Zement, Elektrostahl, Ziegel, Zucker und einige chemische Grundstoffe).

Immer wieder wird bei derartig langfristigen Vorausschätzungen der Energieeffizienz die Frage aufgeworfen, ob angesichts der Effizienzerfolge in der Vergangenheit sich die Potentiale nicht erschöpfen. Denn schon aus theoretischen Gründen können bestimmte spezifische Verbräuche nicht unterschritten werden. Bei genauer Analyse zeigt sich aber, daß in vielen Fällen der Abstand zum theoretischen Minimum noch mehr als 30 % beträgt, daß die Definitionen des theoretischen Minimums die Abwärmenutzung oder Prozeßsubstitutionen noch nicht miteinbeziehen, daß viele Prozesse durch neue energieeffiziente Prozesse substituiert werden und dadurch meist ein neues theoretisches Minimum erhalten: besser Entwässern statt Trocknen, mit Membranen oder Extraktion trennen statt mit Rektifikation, in überhitztem Dampf trocknen statt mit Luft, Metalle als Oberflächen sprayen anstatt sie zu gießen, zu walzen, zwischenzuerwärmen und weiter zu walzen (Smit et al., 1994; Jochem, 1991). Die **Energieeffizienzpotentiale haben die gleiche Geschichte in den letzten 50 Jahren wie die statische Reichweite der Erdölreserven: Die Potentiale liegen stets bei etwa 20 bis 30 %** und die Reichweite der Erdölreserven bei 30 bis 40 Jahren, jeweils der Planungshorizont der Investitionsgüterhersteller bzw. der Erdölproduzenten.

7.1.2 Der Einfluß der Methoden auf die Schätzwerte der Energieintensität

Die Nutzung der technologischen Daten für die Industrieprozesse aus der IKARUS-Datenbank in Prozeßmodellen - seien es Optimierungs- oder Simulationsmodelle - wirft eine Reihe von Fragen auf, die im wesentlichen um die Thematik von Reinvestitionszyklen und Hemmnissen rationeller Energienutzung kreisen. Denn während die ökonometrischen Modelle über ihre statistischen Analysen die Resultate von Preiseinflüssen, autonomem technischen Effizienzfortschritt (infolge von Reinvestitionen) und intra-industriellen Strukturveränderungen darstellen können, müßten diese Einflüsse in den Prozeßmodellen, die einen kausalistischen bottom up-Ansatz verfolgen, die einzelnen Einflußfelder explizit mitabbilden. Dies ist aber wegen mangelnder Detaillierung und mangelnder empirischer Daten derzeit nicht zu lösen.

Insofern muß man sich bewußt sein, daß beim Vergleich von Energiebedarfsprognosen die beiden **unterschiedlichen methodischen Ansätze zu unterschiedlichen Ergebnissen** kommen müssen:

- Folgende Faktoren führen bei den Energiebedarfsschätzungen mittels Prozeßmodellen (wie z. B. des IKARUS-Optimierungsmodells) zu **höheren Werten des Energiebedarfs** als bei Berechnungen mittels ökonometrischer Modelle: die intra-industriellen Strukturänderungen zu höherwertigen Produkten sowie der höhere Dienstleistungsgehalt in der Investitionsgüter-, Konsumgüter- und Nahrungsmittelindustrie wird nicht in der Entwicklung spezifischer Energieverbräuche erfaßt.
- Andererseits führen folgende Faktoren zu **geringeren Werten des Energiebedarfs** bei Prozeßmodellnutzung im Vergleich zu den Ergebnissen ökonometrischer Modelle: die Prozeßmodelle erfassen strukturelle Änderungen in den energieintensiven Produktionen und den Wandel der deutschen Industrie vom Nettoexporteur zum Nettoimporteur energieintensiver Produkte wesentlich genauer. Sie berücksichtigen in vielen Fällen keine Hemmnisse, die in der Realität den rentablen Energieeffizienzpotentials entgegenstehen (vgl. die Beispiele in Kap. 7.1.1). Beispiel für das IKARUS-Optimierungsmodell sind die Kessel- und BHKW-Anlagen, deren rentable Potentiale voll ausgeschöpft werden, auch wenn in der Realität erhebliche Hemmnisse zu beobachten sind.

Das Ergebnis dieser unterschiedlichen strukturellen Merkmale auf den berechneten Energiebedarf nach der einen oder anderen Methode läßt sich **nicht à priori** als "**systematische Abweichung**" festlegen. Vielmehr hängt die Abweichung der Ergebnisse von all jenen Faktoren in ihrer jeweiligen Ausprägung ab, ob die Prognosewerte der Energieintensität für eine Branche oder die Industrie insgesamt höher oder niedriger ausfallen, je nach Nutzung des einen oder anderen methodischen Ansatzes.

7.1.3 Modellierung und modell-externe Behandlung klimarelevanter Minderungsmaßnahmen und Politikinstrumente

Jeder spezielle Modellansatz zur Quantifizierung der Möglichkeiten zur Verminderung klimarelevanter Gase bestimmt auch jenen Umfang an energie- und umweltpolitischen Maßnahmen, die modellendogen behandelt werden können und welche nicht. Hinzu kommt jeweils die Frage, inwieweit zur Einschätzung der Wirksamkeit einzelner Instrumente und Maßnahmen hinreichend empirisch abgesicherte Erkenntnisse vorliegen, um eine klar quantifizierte Wirkung einzelner Maßnahmen oder -bündel angeben zu können, sei dies nun modellendogen durch entsprechende Verhaltensgleichungen oder durch modellexogene Vorgaben.

Im IKARUS-Optimierungsmodell selbst dürften i.a. jene Instrumente und Maßnahmen behandelt werden können, die **pretiale Lenkungsmaßnahmen, Investitionsanreize** sowie **Gebote und technische Standards** oder (alternativ) freiwillige Selbstverpflichtungen umfassen. Denn entweder werden durch die finanziellen Veränderungen die wirtschaftlichen CO₂-Minderungspotentiale verändert, oder die Verordnungen, Standards und Selbstverpflichtungen sind durch Veränderung der technischen Koeffizienten im Modell abbildbar.

Nicht modellendogen zu behandeln sind zweifellos eine Reihe von Maßnahmen, die sich einmal dadurch auszeichnen, daß sie nicht direkt am Entscheidungsprozeß des Energieverbrauchers ansetzen und zum anderen dadurch, daß ihre Wirksamkeit zum Teil nur wenig bekannt ist. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Maßnahmen zur **Verbesserung des Informations- und Kenntnisstandes** in den Betrieben (z. B. Beratung, berufliche Fortbildung), neue Instrumente der Versorgungsunternehmen wie z.B. **Least-Cost-Planning**, die **Pinch-Methode** in den Betrieben und das **Wärmekonzept** für genehmigungspflichtige Anlagen im Rahmen einer angedachten WärmenutzungsVO, neue Unternehmens- und Dienstleistungsformen wie das **Contracting**. Alle diese Maßnahmen vermindern im Trend bestehende Hemmnisse und Marktunvollkommenheiten. Allerdings liegen hierzu hinreichend Kenntnisse vor, um ihre genauen Wirkungen einschätzen zu können. Dies gilt auch für jene Auswirkungen auf **neue** technische Potentiale, die von **Forschung, Entwicklung und Demonstration** ausgehen können.

Diese und andere Maßnahmen, insbesondere jene der Selbstorganisationen der Wirtschaft, müssen in Zukunft noch weiter spezifiziert und danach klassifiziert werden, ob sie nach vorgelegerten Arbeiten mit Hilfe von Modellrechnungen behandelt, außerhalb der Modellanalysen diskutiert oder wegen fehlender empirischer Erkenntnisse gar nicht aufgegriffen werden können. Diese Arbeiten werden in der seit 1995 laufenden Anwendungsphase des IKARUS-Pro-

jektet vorangetrieben (z. B. in einer vom Umweltbundesamt geförderten Aktivität in Zusammenarbeit mit der interministeriellen Arbeitsgruppe (IMA) CO₂).

Abgleich zwischen Rahmenbedingungen und Ergebnissen der Modellrechnungen

Noch ungeklärt sind die Ergebnisse bzw. Abweichungen iterativer Analysen zwischen ökonomischen Rahmenbedingungen des makroökonomischen Modells (MIS) und den exogenen, zusätzlichen Maßnahmen der Klima- und Energiepolitik und deren energiewirtschaftliche Folgen einschließlich ihrer Auswirkungen auf die Wirtschaft, den Außenhandel und die Industrieproduktion sowie die Entwicklung der Einkommen und der privaten Nachfrage, wobei letztere mit den anfangs definierten Rahmenbedingungen nicht im Widerspruch stehen dürfen. Diese Kreis-schließung der ökonomischen Modellbildung zwischen makroökonomischem Modell und Optimierungmodell wird in Zukunft verfolgt werden. Dazu werden die Ergebnisse aus dem Optimierungmodell in zentrale Indikatoren für Industrieproduktion, Strukturänderungen, Nachfrageverschiebungen, Substitution und eventuell Außenhandelsveränderungen einfließen, die dann zur Veränderung von modellendogenen Zusammenhängen oder zum Vergleich der Exogenen genutzt werden können.

Der nicht-energetische Verbrauch - ein z. Zt. separat untersuchter Bereich

Bei der Bearbeitung des Endenergiesektors war von Anbeginn des Projektes deutlich, daß der nicht-energetische Verbrauch zunächst nicht in die Analyse miteinbezogen werden konnte, obwohl er mit jährlich knapp 800 PJ oder rund 30 %, bezogen auf den Endenergieverbrauch der Industrie bzw. 8 % bezogen auf den Gesamtendenergieverbrauch, langfristig eine erhebliche CO₂-Emissionsquelle darstellen kann. Denn die Produkte des nicht-energetischen Verbrauchs (Kunststoffe, Chemiefasern, Farben und Lacke, Öle und Bitumen) werden entweder verbrannt (Müllverbrennung) oder in mehr oder minder langen Zeiträumen mikrobiologisch und durch Verwitterung in CO₂ umgewandelt. Deshalb bat der interministerielle Ausschuß der Bundesregierung, im laufenden BMFT-Klima-Projekt auch den nicht-energetischen Energieeinsatz zu behandeln. Der nicht-energetische Verbrauch trägt theoretisch mit etwa 50 Mio t CO₂-Emissionen jährlich zusätzlich zu den energiebedingten CO₂-Emissionen (1995: 890 Mio t) bei, wobei allerdings ein Teil dieser jährlichen Emissionen erst in der Zukunft wegen des langsamen Abbaus auf Deponien oder langer Nutzungszeiten der Produkte (z. B. Fensterprofile, Möbel, Kabelummantelungen) freigesetzt werden wird. Wegen der Unsicherheit der CO₂-Freisetzungsraten von gebrauchten Produkten und Massenbaustoffen aus den fossilen Rohstoffen sind die **CO₂-Emissionen des nichtenergetischen Verbrauchs** aus den bisherigen Angaben zu CO₂-Emissionen und aus den diskutierten Verminderungsmaßnahmen **stets völlig ausgeklammert** worden.

Wegen des nicht unerheblichen Anteils des nicht-energetischen Verbrauchs an den Gesamtemissionen der klimarelevanten Schadstoffe und eines absehbaren langfristigen Aufbaus eines CO₂-Emissionspotentials in Deponien und langlebigen Produkten wird zusätzlich zu den Arbeiten im Rahmen von IKARUS zu diesem Problemkreis vom ISI eine Analyse in einem gesonderten Projekt durchgeführt, das vom BMBF gefördert wird. Hierbei wurde in einer relativ groben Analyse versucht, die verschiedenen Stoffströme des nicht-energetischen Verbrauchs in ihrer zeitlichen Entwicklung in einer Periode von 1980 - 2030 anhand von Stofffluß- und Simulationsmodellen abzubilden /Patel u.a., 1996/. Nach Abschluß dieser Arbeiten im Juni 1996 soll eine Verknüpfung mit dem IKARUS-Projekt erfolgen, wobei eine modelltechnische Integration erst im Laufe des Jahres 1997 wird erfolgen können.

7.2 Offene Fragen, Kritik und Aktualisierungsbedarf

Der Leser dieses Berichtes und erst recht der Nutzer der IKARUS-Datenbank wird Mängel und Differenzierungsbedarf, Zusatzinformationswünsche und Aktualisierungsbedarf feststellen. Wie kein anderer Sektor ist die Industrie durch die Vielzahl technischer Energienutzungs- und -umwandlungsprozesse gekennzeichnet, die eine ungeheure Herausforderung an die Datenerhebung und an die Strukturierung und Kondensation der Vielfalt in eine angemessene Bearbeitungsform sowohl im Optimierungsmodell wie in der IKARUS-Datenbank darstellt. Denn selbst in der aggregierten Form des Optimierungsmodells benötigt man allein für die Berechnung eines einzigen Zeitpunktes mehr als 20 000 Einzeldaten, jeweils für die west- und ostdeutsche Industrie. Bei der weitaus größeren Differenzierung der IKARUS-Datenbank wächst der Datenbedarf und -bestand aufweit mehr als 100 000 Einzeldaten allein für den Sektor Industrie.

1. In vielen Fällen mußten die jetzt verwendeten Daten anhand empirischer Einzelangaben verallgemeinert oder durch fachlich begründete Schätzungen gewonnen werden. Hier besteht deshalb ein **Verifikationsbedarf** durch Aufgreifen neuer **empirischer Kenntnisse** oder Vergleiche von geschätzten Daten auch im Ausland, z.B. mit dem holländischen "ICARUS"-Projekt oder Daten verschiedener Forschungseinrichtungen und Energieagenturen in westeuropäischen Ländern, Nordamerika oder Japan.
2. Diese Verifikationsbemühungen werden allerdings überlagert durch stetig anfallende Früchte des technischen Fortschritts. Kleinere Prozeßverbesserungen binnen drei bis vier Jahren sind an der Tagesordnung, so daß **sich Verifikationsanstrengungen und Aktualisierungsbedarf überlagern**.
3. **Informationen zu Querschnittstechniken**, z.B. zu den Büro- und Verwaltungsflächen oder zu den Verteilungen von Größe, Anwendungsbereich und Nutzungsdauern von Elek-

tromotoren, fehlten häufig und waren - manchmal nur anhand von ausländischen Verhältnissen - zu schätzen oder gar nicht aus einem Endenergieverbrauch einer Branche oder eines Produktes herauslösbar. Dadurch konnte das Ziel der Untersuchung, möglichst auf der Nutzenebene zu arbeiten, nur teilweise erreicht werden.

4. Die technologischen Daten waren für die ostdeutsche Industrie infolge des schnellen industriellen Strukturwandels und der schmalen Datenbasis für den Bestand im Ausgangsjahr 1988 besonders schwierig festzulegen. An dieser regionalen Unterscheidung zeigt sich auch am deutlichsten, daß eine **neue Ausgangsbasis, das Jahr 1994, wünschenswert** ist, um die erheblichen strukturellen Veränderungen zwischen 1988 und heute nicht mitbehandeln zu müssen. Dies ist noch deutlicher für das makroökonomische Modell, dessen methodisches Rüstzeug gar nicht in der Lage ist, derartige Umwälzungen abzubilden.
5. Ähnlich wie bei den technologischen Daten und Kostenangaben ein **Aktualisierungsbedarf** besteht, gilt dies auch für die **Produktionsschätzungen** sowohl auf makroökonomischer wie auch produktorientierter Ebene. Das Ausmaß des Strukturwandels, bedingt durch die Öffnung der osteuropäischen Länder, die Globalisierung der Unternehmen und die Umweltschutzgesetzgebung und andere Einflüsse, ist in hohem Maße unbekannt und Gegenstand permanenter Beobachtung. Deshalb sind auch hier die Aktualisierungen der Entwicklung der energiebedarfsbestimmenden Größen von erheblicher Bedeutung, um dem IKARUS-Instrumentarium das Zeugnis eines aktuellen Kenntnisstandes ausstellen zu können, das erforderlich ist, um es für die Zielsetzung und für die Beantwortung der heute drängenden Fragen nutzen zu können.

Literaturverzeichnis

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland. Essen, verschiedene Jahrgänge
- Barklage-Hilgefort, H.: Abwärmenutzung in der deutschen Glasindustrie. BWK 41(1989)7/8, S.358-363
- BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie): Anforderungen an die Energiepolitik aus Sicht der deutschen Industrie. Köln 1993
- de Beer, J.G., M.T. van Wees; E. Worrell; K. Blok: ICARUS-3. The Potential of Energy Efficiency Improvements in the Netherlands up to 2000 and 2015. Univ. of Utrecht, 1994
- Blick durch die Wirtschaft und Umwelt 11/1992
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft): Energie-Daten '95 - Nationale und internationale Entwicklung. Bonn 1995
- Böke, E.: Energieeinsparung in der Industrie. et 40(1990)1-2, S.58-63
- Bradke, H. u.a.: IKARUS - Teilprojekt 6 „Industrie“ – Grundstoffindustrie und energiebedarfsbestimmende Größen für West- und Ostdeutschland, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe 1996
- Bueb, M.; J. Kussi: CO₂-Reduzierung durch Energieeinsparung in der chemischen Industrie. Proceedings-Beitrag zum Vortrag von G. Weymans, Bayer AG, auf dem Pinch Technology Forum 1994, ausgerichtet von Linnhoff March Ltd. Amsterdam, Juni 1994
- Caddet: Purchase and implementation of a fuzzy logic control system and an infrared scanner (project NL 92-018) Sittard, The Netherlands 1992
- Caddet: Recuperative aluminium recycling plant. Result 130, Sittard, The Netherlands, 1993
- Chemische Rundschau, o.V.: 1.10.1993
- DIW (Hrsg.): Entwicklung des Energieverbrauchs und seiner Determinanten in der ehemaligen DDR. Berlin 1991
- Energiebilanz des Verarbeitenden Gewerbes der DDR: Endenergieeinsatz nach Technologien und Branchen für das Jahr 1988. Gesellschaft für Energieanwendung und Umwelttechnik (GEU). Leipzig, Dezember, 1991
- Europa Chemie, o.V.: Personalabbau zu Ende? 4/1994
- Fahl, U.; D. Hermann; A. Voß: Energieumwandlungstechniken als Elemente von Minderungsstrategien energiebedingter Klimagasemissionen. IKARUS-Monographien, Forschungszentrum Jülich, 1995
- Faure, H. A.: Entwicklung, Stand der Technik und Zukunftsaspekte der Stahlerzeugung. Stahl und Eisen 113 (1993), Nr. 6, S. 39 ff
- FhG-ISI/DIW/ENERWA: Systematische Analyse der Komponenten zur Energieintensität und -effizienz in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie. Karlsruhe: ISI 1990

- Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE): IKARUS, Energieverbrauch der Investitionsgüter- sowie Nahrungs- und Genußmittelindustrie der alten Bundesländer. München, 1995
- Garnreiter, F. et al.: Produktstrukturwandel und technischer Fortschritt als Bestimmungsgrößen des spezifischen Energieverbrauchs in energieintensiven Industriezweigen. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft. FhG-ISI, Karlsruhe 1985
- GEU (Ges. für Energieanwendung und Umwelttechnik): Endenergieeinsatz nach Technologien und Branchen in den Neuen Bundesländern 1988. Leipzig, April 1995
- Gilgen, P.W.: Aluminium in der Kreislaufwirtschaft. Erzmetall 44 (1991) 6.
- Gruber, E., M. Brand: Promoting energy conservation in small and medium-sized companies. Energy Policy, (1991)4, p. 279-287
- Grupp, H., H. Legler: Spitzentechnik, Gebrauchstechnik, Innovationspotential und Preise. Trends, Positionen und Spezialisierung der westdeutschen Wirtschaft im internationalen Wettbewerb. Schriftenreihe Zukunft und Technik. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1986
- IBFG: Perspektiven des Energieverbrauchs in der Industrie. Zürich, August 1994
- IEA (Int. Energy Agency): Market Barriers and the Deployment of New Energy Technologies. Working Party on Energy End-Use Technology, OECD, Paris March 1995
- Institut für Landwirtschaftliche Technologie: Tätigkeitsbericht 1991. Braunschweig 1991
- Jaffe, A.B., R.N. Stavins: The energy efficiency gap. What does it mean? Energy Policy 22(1994)10 S. 804-810
- Jochem, E.: Long-term potentials of rational energy use – The unknown possibilities of reducing greenhouse gas emissions. Energy and Environment 2(1991)1, p. 31-44
- Johnson, B.E.: Modelling energy technology choices. Which investment analysis tools are appropriate? Energy Policy 22(1994)10, S. 277-283
- Käding, G. et al: Innovationsprozesse in der Stahlindustrie. Stahl und Eisen, 113 (1993) 3
- Kaiser, J.: Die Situation der Großchemie in Sachsen-Anhalt und Sachsen. Treuhandanstalt, Berlin 1993
- Kemfert, C., W. Kuckshinrichs: MIS - A Model-Based Macroeconomic Information System for Energy Analysis in Germany. Discussion Paper No. V-153-95 Univ. Oldenburg 1995
- Knördel, K.-D.: Entwicklungsperspektiven der deutschen Gießereiindustrie. Ifo-Institut, ifo-schnelldienst 29 (1993)
- Kunststoffe, o.V. 12/1992
- Linnhoff, B.: Pinch Analysis - A State-of-the Art Overview. Trans IChemE, Vol. 71, Part A, September 1993, Seite 503-522
- Matthies, H.: Ostdeutscher Energiesektor im Umbruch - Teil 2: Chancen und Risiken stromintensiver Produktionen in den neuen Bundesländern. Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH), Halle 1993
- Metallstatistik 1979 - 1989. Frankfurt/M: Metallgesellschaft AG 1990

- Morovic, T. u.a.: Energy Conservation Indicators II. Heidelberg, New York: Springer 1989,
- Müller, G.: Die umweltgerechte Produktion von Polypropylen - Eine Fallstudie aus der Kunststoffherstellung. Diskussionschrift Nr. 191, Alfred Weber-Institut der Universität Heidelberg, 1993
- Nathan, G.J., Luxton, R.E.: A low NO_x gas burner with a radiant flame. in Pilavachi, P.A. ed.: Energy Efficiency in Process Technology. Elsevier Appl. Sc., Amsterdam 1993
- Nilles, P.: Qualitätsaspekte beim endabmessungsnahen Gießen. Stahl und Eisen, 113 (1993) 9
- OTA (Office of Technology Assessment): Industrial energy efficiency. Washington D.C. 1993
- Patel, M., u.a.: Daten zur Behandlung des nichtenergetischen Verbrauchs unter Aspekten der Treibhausgasproblematik. Zweiter Zwischenbericht in einer vom BMBF geförderten Analyse. FhG-ISI, Karlsruhe 1995
- Pfaffenberger, W., Ströbele, W.: Projekt IKARUS Mekoökonomische Einbettung. Szenarienschreibung von Modellrechnungen zur Wirtschafts- und Energieentwicklung in Deutschland bis zum Jahre 2020. Band 2 Uni Oldenburg 1995
- Petrick, L., Obst, G.: IKARUS - Teilprojekt "Industrie", Energieverbrauch und Effizienzpotentiale der deutschen Konsumgüterindustrie, Gesellschaft für Energieanwendung und Umwelttechnik (GEU), Leipzig 1996
- Pohle, H.: Chemische Industrie - Umweltschutz, Arbeitsschutz, Anlagensicherheit. VCH-Verlag, 1992
- Preiss, W.: Ostdeutschland-Europas größte Baustelle. VDI-Nachrichten 21.4.1994.
- Prognos AG: Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010 unter Einbeziehung der fünf neuen Bundesländer. Untersuchung im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft. Basel: 1991 (Textband) und 1992 (Tabellenband)
- Prognos AG: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa – Perspektiven bis zum Jahre 2020. Basel 23.10.1995
- Riesner, W.: Energieeffizienzentwicklung in der Industrie der DDR und den neuen Bundesländern etz 45(1995)9, S. 574-578
- RWE Energie (Hrsg.): Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland. Essen 1990
- Sanstadt, A.H., R.B. Howarth: „Normal markets“ – market imperfections and energy efficiency. Energy Policy 22(1994)10 S. 811-818
- Schildhauer J., Fink, S.: IKARUS - Energieverbrauch und Effizienzpotentiale der Investitionsgüter- sowie Nahrungs- und Genußmittelindustrie. Ffe, München 1996
- Schulz, E.: Zukunftsperspektive des Werkstoffs Stahl für den Automobilbau. Stahl und Eisen, 113 (1993) 5.
- Seidel, H.: Straffung und Delegation. Chemische Industrie 1/1992
- Smit, R. et al.: Long term potentials of energy efficiency improvement: Technology Descriptions, Univ. Utrecht, NOVEM 1994

- Staab, R. et al.: Umrüstung auf Membranzellen in der Alkalichlorid-Elektrolyse vor dem Hintergrund der FCKW/CKW-Diskussion. CIT 65 (1993) Nr. 11, S. 1337-1340
- Statistisches Amt der DDR, Abt. Investitionen, Anlagevermögen und Rohstoffwirtschaft: Jahresbericht Energie 1989, Teil 7, Fbl. S 121-3
- Statistisches Amt der DDR, Endenergieeinsatz nach Technologien und Branchen 1989
- Statistisches Amt der DDR, Jahresbericht Energie 1989
- Statistisches Amt der DDR: Jahresbericht Energie 1989, Teil 7, Seite 244, 989
- Statistisches Bundesamt, Außenstelle Düsseldorf: Fachserie 4, Reihe 7.1. Eisen und Stahl 4. Vierteljahr 1989. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 1990
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 4.3. Kostenstruktur im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe 1989. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 1991
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 7, Reihe 2. Außenhandel nach Waren und Ländern 1989. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 1990
- Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 1991 für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 1991
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) Landesverband Ost (Hrsg.): Strukturwandel in der ostdeutschen Chemie 1992. Halle 1993
- Verband der Papierindustrie (vdp) Ost: Persönliche Mitteilung, Herr Zien, Heidenau 1994
- VDI-Nachrichten: Aluminiumschrott als Energiespeicher. VDI-Nachrichten (1996) 3, S. 17
- Wendenburg, L.: Aufbruch im Chemiedreieck, Chemische Industrie 116(1993)1, S. 24-25
- Wienert, H.: Wettbewerbsschwäche oder Normalisierung? Zum Bedeutungsverlust der nordrhein-westfälischen Stahlindustrie gegenüber inländischen Wettbewerbern seit 1960. RWI-Mitteilungen 46 (1995) S. 23-45

Monographien des Forschungszentrums Jülich

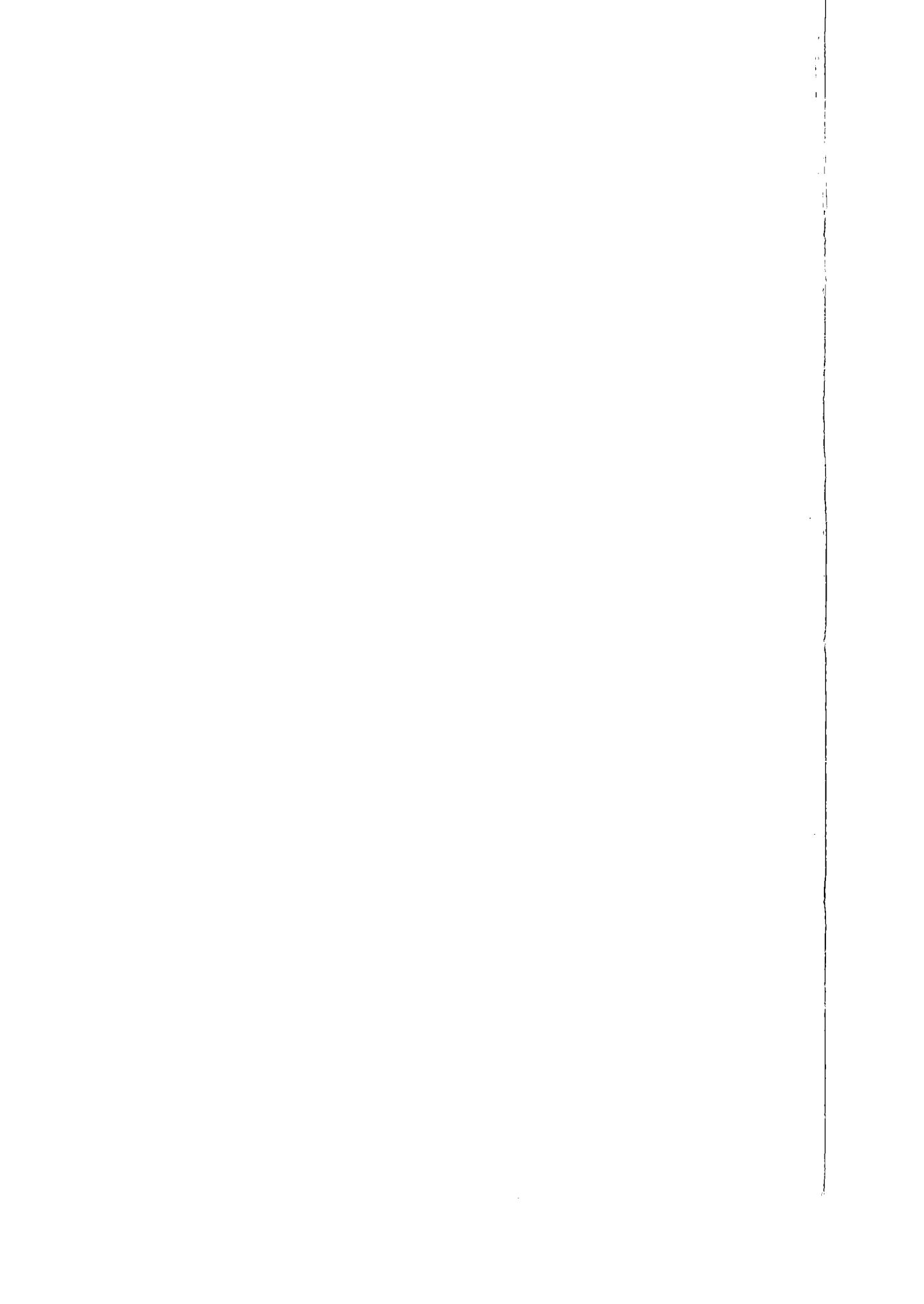
- 1 Pharmakologische Untersuchungen in vitro –
Alternativen zum Tierversuch
E. Weber (Hrsg.) (1990)
- 2 Ozon in Deutschland
Die Belastung durch Ozon in ländlichen Gebieten
im Kontext der neuartigen Waldschäden
D. Kley, H. Geiss, T. Heil, Ch. Holzapfel (1990)
- 3 Risiko-Konzepte
Risiko-Konflikte
Risiko-Kommunikation
H. Jungermann, B. Rohrmann und P.M. Wiedemann (Hrsg.) (1990)
- 4 Energiequellen und Energietechnik
M. Pollermann, W. Litzow (1991)
- 5 Neue Energieträger für den Verkehr
Methanol und Alkoholgemische
B. Höhle (1991)
- 6 Computergestütztes "Molecular Modelling"
Alternativen zum Tierversuch
E. Weber (Hrsg.) (1991)
- 7 Information und Kommunikation
in der naturwissenschaftlich-technischen Forschung
Haben wir die richtigen Bibliothekskonzepte?
E. Lapp, W. Neubauer (1992)
- 8 Fortschritte in der Energietechnik für eine wirtschaftliche,
umweltschonende und schadensbegrenzende Energieversorgung
K. Kugeler, H. Neis, G. Ballensiefen (Hrsg.) (1993)
- 9 Die CO₂-Problematik
Sachverhalte, Zusammenhänge, Hypothesen, Argumente
herausgegeben von H. Neis (1993)
- 10 Das Klimasystem unserer Erde
Ch. Holzapfel (1994)
- 11 Ohne Energie geht nichts
M. Pollermann, W. Litzow (1995)
- 12 Der Schutz der Meere in der internationalen Politik
Nachhaltige Entwicklung und die Ozeane
W. Fischer (1995)

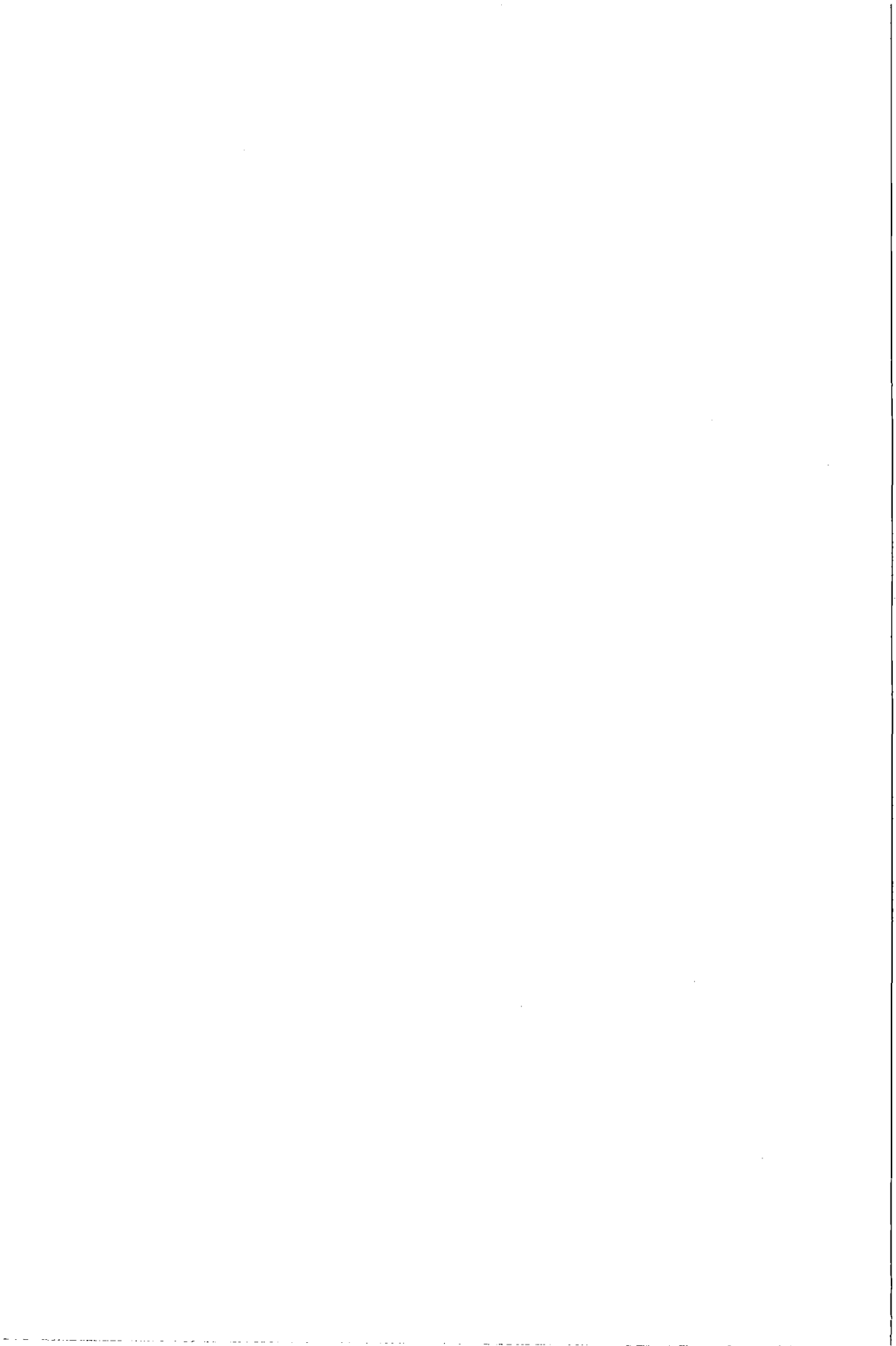
Monographien des Forschungszentrums Jülich

- 13 Computergestützte Analyse energiebedingter Klimagasreduktionsstrategien
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 1 „Modelle“
J.-Fr. Hake, R. Heckler, Ch. Holzapfel, P. Jagodzinski, H. Kollmann,
W. Kuckshinrichs, P. Markewitz, D. Martinsen, D. Müller, M. Walbeck
(voraussichtlich 1996)
- 14 IKARUS-Datenbank – Ein Informationssystem zur technischen,
wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 2 „Datenbank“
H.-J. Laue, K.-H. Weber, J. W. Tepel
(voraussichtlich 1996)
- 15 Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 3 „Primärenergie“
J. Diekmann, M. Horn, P. Hrubesch, B. Praetorius, F. Wittke, H.-J. Ziesing (1995)
- 16 Energieumwandlungstechniken als Elemente von Minderungsstrategien
energiebedingter Klimagasemissionen
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 4 „Umwandlungssektor“
U. Fahl, D. Herrmann, A. Voß (1995)
- 17 Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“,
Sektor „Haushalte“
S. Kolmetz, L. Rouvel (1995)
- 18 Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Kleinverbraucher
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“,
Sektor „Kleinverbraucher“
S. Kolmetz, L. Rouvel, G. Bressler, W. Megele, H. Bradke, E. Jochem, D. Köwener,
M. Patel (1995)
- 19 Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen
Industrie
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 6 „Industrie“
E. Jochem, H. Bradke (1996)

Monographien des Forschungszentrums Jülich

- 20 Klimagasrelevante Energie- und Kostenstrukturen im Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Luftverkehr
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 7 „Verkehr“
J. Brosthaus, R. Kober, W.-R. Müller, H. Waldeyer (1995)
- 21 Querschnittstechniken – Sektor- und branchenübergreifende Techniken zur Energieumwandlung
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 8
„Querschnittstechniken“
H. Schaefer, V. Schäfer (1995)
- 22 Vereinbarungen zum Klimaschutz – das Verifikationsproblem
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 9 „Verifikation“
W. Fischer, H.-J. Hoffmann, W. Katscher, U. Kotte, W.-D. Lauppe, G. Stein (1995)
- 23 Energiestrategien für den Klimaschutz in Deutschland – Das IKARUS-Instrumentarium
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Zusammenfassender Abschlußbericht
H.-J. Hoffmann, W. Katscher, G. Stein
(voraussichtlich 1996)
- 24 IKARUS. Instruments for Greenhouse-Gas Reduction Strategies
Summary
by H.-J. Hofmann, W. Katscher, G. Stein
(voraussichtlich 1996)
- 25 Agreements on Climate Protection – The Verification Problem
IKARUS. Instruments for Greenhouse-Gas Reduction Strategies
Final Report Subproject 9 "International Greenhouse Gas Verification"
by W. Fischer, H.-J. Hoffmann, W. Katscher, U. Kotte, W.-D. Lauppe, G. Stein (1995)







ISBN 3-89336-172-3