ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Frondel, Manuel; Grösche, Peter; Halstrick-Schwenk, Marianne; Janßen-Timmen, Ronald

Research Report

Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft: Monitoringbericht 2003 - 2004. Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge und zur Minderung der CO2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung. Endbericht - Februar 2008

RWI Projektberichte

Provided in Cooperation with:
RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen

Suggested Citation: Frondel, Manuel; Grösche, Peter; Halstrick-Schwenk, Marianne; Janßen-Timmen, Ronald (2008) : Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft: Monitoringbericht 2003 - 2004. Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge und zur Minderung der CO2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung. Endbericht - Februar 2008, RWI Projektberichte, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Essen

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/70886

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

RWI : Projektberichte

Rheinisch-Westfälisches Institut
für Wirtschaftsforschung

Die Klimavorsorge-verpflichtung der deutschen Wirtschaft

Monitoringbericht 2003–2004

Forschungsprojekt des Bundesministeriums für
Wirtschaft und Technologie,
des Bundesverbandes der Deutschen Industrie
und des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Endbericht

RWI
ESSEN

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

Vorstand:
Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Ph.D. (Präsident),
Prof. Dr. Thomas K. Bauer
Prof. Dr. Wim Kösters

Verwaltungsrat:
Dr. Eberhard Heinke (Vorsitzender);
Dr. Dietmar Kuhnt, Dr. Henning Osthues-Albrecht, Reinhold Schulte (stellv. Vorsitzende);
Prof. Dr.-Ing. Dieter Ameling, Manfred Breuer, Dr. Hans Georg Fabritius, Prof. Dr. Harald B. Giesel, Dr. Thomas Köster, Dr. Wilhelm Koll, Dr. Thomas A. Lange, Tillmann Neinhaus, Dr. Torsten Schmidt, Dr. Gerd Willamowski

Forschungsbeirat:
Prof. Michael C. Burda, Ph.D., Prof. David Card, Ph.D., Prof. Dr. Clemens Fuest, Prof. Dr. Justus Haucap, Prof. Dr. Walter Krämer, Prof. Dr. Michael Lechner, Prof. Dr. Till Requate, Prof. Nina Smith, Ph.D.

Ehrenmitglieder des RWI Essen
Heinrich Frommknecht, Prof. Dr. Paul Klemmer †

RWI : Projektberichte

Herausgeber: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung,
Hohenzollernstraße 1/3, 45128 Essen
Tel. 0201/81 49-0, Fax 0201/81 49-200, e-mail: rwi@rwi-essen.de
Alle Rechte vorbehalten. Essen 2007
Schriftleitung: Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Ph.D.

Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft –
Monitoringbericht 2003–2004
Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, des Bundesverbandes der Deutschen Industrie und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Endbericht – Februar 2008
Projektteam: Dr. Manuel Frondel (Projektleiter), Peter Grösche, Marianne Halstrick-Schwenk und Ronald Janßen-Timmen

Rheinisch-Westfälisches Institut
für Wirtschaftsforschung

Die Klimavorsorge-verpflichtung der deutschen Wirtschaft

Monitoringbericht 2003–2004

Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge und zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung

Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, des Bundesverbandes der Deutschen Industrie und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Endbericht – Februar 2008

Projektteam:

Dr. Manuel Frondel (Projektleiter), Peter Grösche, Marianne Halstrick-Schwenk und Ronald Janßen-Timmen

Das Projektteam dankt den zahlreichen hilfreichen Händen, die für die Fertigstellung des vorliegenden Berichts ungemein wichtig waren. Besonderer Dank gilt Frau Christiane Brüggemann, die bei der technischen Redaktion eine großartige Geduld mit dem Projektteam bewies und die Arbeiten mit einer außergewöhnlichen Schnelligkeit und Zuverlässigkeit erledigte. Herrn Tobias Nolteklocke und Herrn Markus Behn gilt unser Dank für das manchmal mühselige Recherchieren und Korrektur lesen sowie Frau Daniela Schwindt für die Erstellung der Grafiken. Nicht zuletzt sind wir Herrn Prof. Christoph M. Schmidt für wertvolle Anregungen, Korrekturen und hilfreiche Kommentare zu Dank verpflichtet.

Inhaltsverzeichnis

Die Klimaschutzerklärung der deutschen Wirtschaft 9

Überblick über die erzielten Minderungen 14

1. Die Kaliindustrie 19
1.1 Datenbasis 19
1.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung 20
1.3 Beschreibung des Produktionsprozesses 22
1.4 Die Selbstverpflichtung 23
1.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen 23
1.6 Ursachenanalyse 24
1.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung 27
1.8 Zusammenfassung und Bewertung 27

2. Die Zuckerindustrie 30
2.1 Datenbasis 31
2.2 Energieverbrauch und Produktion 32
2.3 Kurzbeschreibung des Produktionsprozesses 33
2.4 Selbstverpflichtung 34
2.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen 35
2.6 Ursachenanalyse 36
2.7 Maßnahmen im Einzelnen 39
2.8 Zusammenfassung und Bewertung 40

3. Die Textilindustrie 42
3.1 Datenbasis 42
3.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung 43
3.3 Beschreibung des Produktionsprozesses 44
3.4 Die Selbstverpflichtung 46
3.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen 47
3.6 Ursachenanalyse 48
3.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung 49
3.8 Zusammenfassung und Bewertung 53

4. Die Zellstoff- und Papierindustrie 55
4.1 Datenbasis 56
4.2 Energieverbrauch, Umsatz und Beschäftigung 58
4.3 Beschreibung des Produktionsprozesses 59
4.4 Die Selbstverpflichtung 62
4.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen 62
4.6 Ursachenanalyse 63
4.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung 68
4.8 Zusammenfassung und Bewertung 70

5. Die Chemische Industrie ... 73
5.1 Datenbasis ... 74
5.2 Energieverbrauch und Produktion ... 75
5.3 Ausgewählte Produktionsprozesse ... 76
5.4 Die Selbstverpflichtungserklärung ... 77
5.4 Bis 2004 erreichte Energieverbrauchs- und Treibhausgasminderungen ... 78
5.5 Ursachenanalyse ... 79
5.6 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 81
5.7 Zusammenfassung und Bewertung ... 82

6. Die Glasindustrie ... 85
6.1 Datenbasis ... 86
6.2 Energieverbrauch und Produktion ... 87
6.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 88
6.4 Die Selbstverpflichtungserklärung ... 90
6.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 91
6.6 Ursachenanalyse ... 92
6.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 95
6.8 Zusammenfassung und Bewertung ... 96

7. Die Feuerfestindustrie ... 99
7.1 Datenbasis ... 100
7.2 Energieverbrauch und Produktion ... 101
7.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 102
7.4 Die Selbstverpflichtung ... 103
7.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 104
7.6 Ursachenanalyse ... 105
7.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 106
7.8 Bewertung ... 107

8. Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten ... 109
8.1 Datenbasis ... 110
8.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung ... 110
8.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 111
8.4 Die Selbstverpflichtung ... 112
8.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 113
8.6 Ursachenanalyse ... 113
8.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 116
8.8 Bewertung ... 117

9. Die Ziegelindustrie ... 119
9.1 Datenbasis ... 119
9.2 Energieverbrauch, Umsatz und Beschäftigung ... 120
9.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 121
9.4 Die Selbstverpflichtung ... 122

9.5 Bis 2004 erreichte Minderungen ... 122
9.6 Ursachenanalyse ... 123
9.7 Ausgewählte Minderungsmaßnahmen ... 125
9.8 Zusammenfassung und Bewertung ... 127

10. Die Zementindustrie ... 130
10.1 Datenbasis ... 130
10.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung ... 131
10.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 133
10.4 Die Selbstverpflichtung ... 136
10.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 136
10.6 Ursachenanalyse ... 138
10.7 Bedeutende Maßnahmen zur CO_2-Minderung und Bewertung ... 142

11. Die Kalkindustrie ... 145
11.1 Datenbasis ... 145
11.2 Energieverbrauch und Produktion ... 146
11.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 146
11.4 Die Selbstverpflichtung ... 147
11.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 148
11.6 Ursachenanalyse ... 148
11.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 151
11.8 Zusammenfassung und Bewertung ... 153

12. Die Eisenschaffende Industrie ... 155
12.1 Datenbasis ... 156
12.2 Energieverbrauch und Produktion ... 157
12.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 158
12.4 Die Selbstverpflichtung ... 161
12.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 162
12.6 Ursachenanalyse ... 163
12.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 167
12.8 Zusammenfassung und Bewertung ... 169

13. Die Nichteisen-Metallindustrie ... 171
13.1 Datenbasis ... 171
13.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung ... 172
13.3 Beschreibung des Produktionsprozesses ... 173
13.4 Die Selbstverpflichtungserklärung ... 174
13.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 175
13.6 Ursachenanalyse ... 176
13.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 178
13.8 Zusammenfassung und Bewertung ... 179

14. Die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie ... 182
14.1 Datenbasis ... 183

14.2 Energieverbrauch und Produktion ... 184
14.3 Beschreibung der Produktionsprozesse ... 185
14.4 Die Selbstverpflichtung ... 186
14.5 Bis 2004 erzielte CO_2-Minderungen ... 187
14.6 Ursachenanalyse ... 187
14.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 189
14.8 Zusammenfassung und Bewertung ... 191

15. Der Steinkohlenbergbau ... 193
15.1 Datenbasis ... 193
15.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung ... 194
15.3 Kurzbeschreibung des Produktionsprozesses ... 195
15.4 Die Selbstverpflichtung ... 197
15.5 Bis 2004 realisierte CO_2-Minderungen ... 198
15.6 Ursachenanalyse ... 198
15.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 201
15.8 Zusammenfassung und Bewertung ... 203

16. Das Gasfach ... 205
16.1 Datenbasis ... 205
16.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung ... 206
16.3 Die Selbstverpflichtung ... 207
16.4 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 208
16.5 Ursachenanalyse ... 210
16.6 Zusammenfassung und Bewertung ... 212

17. Die Mineralölwirtschaft ... 215
17.1 Datenbasis ... 215
17.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung ... 217
17.3 Die Selbstverpflichtung ... 219
17.4 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen ... 221
17.5 Ursachenanalyse ... 222
17.6 Ausgewählte Maßnahmen ... 223
17.7 Zusammenfassung und Bewertung ... 225

18. Industrielle Kraft-Wärme-Wirtschaft ... 228
18.1 Datenbasis ... 228
18.2 Produktion, Umsatz und Beschäftigung ... 229
18.3 Die Selbstverpflichtung ... 230
18.4 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung ... 230
18.5 Zusammenfassung und Bewertung ... 234

19. Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft ... 235
19.1 Datenbasis ... 235
19.2 Energieverbrauch und Produktion ... 236
19.3 Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen ... 237

19.4 Die Selbstverpflichtung 239
19.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen 240
19.6 Ursachenanalyse 241
19.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung 245
19.8 Zusammenfassung 246

Anhang 249

A. Wirtschaftliche Entwicklung der an der Klimavereinbarung beteiligten Sektoren 249

B. Die Entwicklung der Energiepreise zwischen 1990 und 2004 252

C. Datengrundlagen 258

Literaturverzeichnis 262

Die Klimaschutzerklärung der deutschen Wirtschaft

Die Klimavorsorge in Deutschland blickt inzwischen auf eine mehr als zehnjährige Entwicklung zurück. Im Vorfeld des Umweltgipfels von Rio de Janeiro wurde 1992 von der damaligen Bundesregierung eine Reduzierung der nationalen CO_2-Emissionen bis 2005 um 25 bis 30 % gegenüber 1987 diskutiert. Dieses Ziel fand Eingang in den Ersten Nationalen Klimaschutzbericht, der aus dem Jahr 1993 stammt.

Auf der ersten Vertragsstaatenkonferenz zum Klimaschutz, die 1995 in Berlin stattfand, formulierte der damalige Bundeskanzler Helmut Kohl ein *nationales CO_2-Minderungsziel.* Demnach sollten die nationalen CO_2-Emissionen bis 2005 um 25 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Darüber hinaus verpflichtete sich die Bundesrepublik, bis 2012 die sechs so genannten Kiotogase um 21 % zu reduzieren. Dazu zählen neben Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) das klimapotente Lachgas (N_2O), Schwefelhexafluorid (SF_6), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW).

Die deutsche Wirtschaft beteiligte sich aktiv an der Erfüllung dieser nationalen Minderungszusagen. Im März 1995 wurde zwischen der damaligen Bundesregierung und dem BDI, dem Bundesverband der Deutschen Industrie, sowie 16 weiteren Unternehmensverbänden die *„Vereinbarung zur Klimavorsorge“* geschlossen. Diese Vereinbarung sah vor, die spezifischen CO_2-Emissionen und den spezifischen Energieverbrauch der deutschen Wirtschaft bis 2005 um bis zu 20 % zu senken. Basisjahr dieser Vereinbarung war 1987.

Im März 1996 wurde die Klimaschutzvereinbarung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft aktualisiert, präzisiert und erweitert. Bezugsjahr war nunmehr 1990, die Vereinbarung wurde bereits von 18 anstatt 16 Verbänden unterstützt. 12 dieser 18 Verbände legten sich auf eine Minderung der absoluten CO_2-Emissionen fest. Im Gegenzug wurde von der Bundesregierung zugesagt, dieser privatwirtschaftlichen Initiative Vorrang vor ordnungsrechtlichen Maßnahmen zu geben.

Im Vorfeld der in Den Haag stattfindenden Klimakonferenz wurde am 9. November 2000 zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft die „*Erweiterte Vereinbarung zur Klimavorsorge“* geschlossen. Diese Vereinbarung wurde außer vom BDI vom Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW), dem Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) und dem Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK) unterzeichnet und von weiteren 14 Verbänden des Produzie-

renden Gewerbes getragen (Übersicht 1). Zusätzlich hinzu kamen am 27. Juni 2001 bzw. 30. Mai 2002 die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie sowie der Steinkohlenbergbau, vertreten durch den Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) bzw. den Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus (GVSt). Zudem hat der Mineralölwirtschaftsverband (MWV) im September 2001 eine die Raffinerien der deutschen Mineralölindustrie betreffende Klimaschutzerklärung ausgesprochen. Davor hatte der MWV bereits zusammen mit drei anderen Verbänden eine Klimaschutzerklärung für den Wärmemarkt abgegeben.

Die erweiterte Vereinbarung zur Klimavorsorge hat bis heute Gültigkeit. Darin verpflichtet sich die deutsche Wirtschaft, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 28 % gegenüber 1990 zu senken. Darüber hinaus wurde bis 2012 eine Reduzierung der Emissionen der sechs Kiotogase – gemessen in CO_2-Äquivalenten – um 35 % gegenüber 1990 zugesagt (BDI 2000). Mit diesen Zielvorgaben verbindet sich die Hoffnung, den absoluten CO_2-Ausstoß gegenüber der ursprünglichen Erklärung bis zum Jahr 2005 um weitere 10 Mill. t reduzieren zu können, unter Einbeziehung aller Kioto-Gase bis 2012 sogar um nochmals 10 Mill. t CO_2-Äquivalente. In Ergänzung dazu ist für die Förderung der CO_2-Minderungen durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung am 25. Juni 2001 eine spezielle Vereinbarung getroffen worden, mit der von 1998 bis 2005 eine absolute Emissionsminderung von 10 Mill. t, bis 2010 sogar von bis zu 23 Mill. t erreicht werden soll. Durch dieses Maßnahmenbündel und die Klimavereinbarung sollen bis 2012 mindestens 43 Mill. t CO_2 vermieden werden.

Im Gegenzug bekräftigte die Bundesregierung ihren Verzicht auf ordnungsrechtliche nationale Klimaschutzmaßnahmen, etwa die Einführung eines Energieaudits. Davon unberührt bleibt die Umsetzung von EU-Recht. So wurde im Jahr 2004 die EU-Emissionshandelsrichtlinie 2003/87/EG durch das Treibhausgasemissionshandelsgesetz (TEHG) zu nationalem Recht. Die Anstrengungen der Wirtschaft zur Klimavorsorge will die Regierung bei der Harmonisierung der Energiebesteuerung in der EU berücksichtigen, vor allem im Hinblick auf ein möglichst einheitliches Niveau der Steuersätze, einheitliche Steuergegenstände und Bemessungsgrundlagen.

Die Bundesregierung hat die Anstrengungen der Wirtschaft zur Klimavorsorge bereits beim Einstieg in die ökologische Steuerreform in Form eines Spitzenausgleichs anerkannt (BDI 2000). Die deutschen Behörden haben den bis 2005 geltenden Spitzenausgleich bei der ökologischen Steuerreform gemäß Ziff. 51.1(a) der Umweltschutzleitlinien bei der Europäischen Kommission angemeldet (EU 2002: 12). Nach diesen Leitlinien können mit EU-Mitgliedstaaten Steuerbefreiungen für Wirtschaftszweige vereinbart werden, die während der Zeit der Freistellung Umweltschutzziele verwirkli-

chen, wie dies mit der freiwilligen erweiterten Vereinbarung zur Klimavorsorge aus dem Jahr 2000 beabsichtigt ist. Die dabei erzielten Fortschritte müssen von einem unabhängigen Institut überwacht werden (EU 2002: 13).

Getragen wird die erweiterte Klimavereinbarung nunmehr von 19 Einzelverpflichtungen (Übersicht 1). Basisjahr für alle Selbstverpflichtungen ist 1990. Zieljahr ist teils 2005, teils 2012. Das Spektrum der Minderungszusagen ist vielfältig: Die Reduktionsziele beziehen sich nicht immer unmittelbar auf die Höhe der *absoluten*, in CO_2-Äquivalenten ausgedrückten Treibhausgasemissionen, sondern häufig in mittelbarer Weise auf die Minderung der *spezifischen* Treibhausgasemissionen oder auf die des *spezifischen* Energieverbrauchs. In der weit überwiegenden Zahl aller beteiligten Industriesektoren sind dabei lediglich CO_2-Emissionen relevant. Die an der Klimavereinbarung beteiligten Sektoren hatten 2002 einen Anteil von rund 63 % am Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes. Fast 75 % der nationalen CO_2-Emissionen von 1990 sind durch die Klimavereinbarung berücksichtigt.

Eine Besonderheit ergibt sich für den Sektor der Elektrizitätserzeugung. Anlagen zur Stromerzeugung werden größtenteils von Unternehmen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft betrieben. Für diese hat stellvertretend der VDEW eine Selbstverpflichtungserklärung abgegeben. Daneben werden in geringerem Umfang auch von der Industrie Anlagen zur Eigenstromerzeugung betrieben. Diese wird in Fragen der Energiewirtschaft vom VIK betreut. Der Energieverbrauch der industriellen Anlagen wird vom jeweiligen Branchenverband erfasst. Um Doppelzählungen des Energieverbrauchs zu vermeiden, wird seitens des VIK auf eine Spezifizierung eines Klimaschutzziels verzichtet.

Wie von der Europäischen Kommission gefordert, vereinbarten die Bundesregierung und die deutsche Wirtschaft, die Umsetzung und Weiterentwicklung der Klimavorsorgevereinbarung regelmäßig durch ein unabhängiges, wirtschaftswissenschaftliches Institut überprüfen zu lassen. Mit dieser Aufgabe wurde das Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen) betraut.

Mit dem vorliegenden Monitoringbericht wird diese Aufgabe auftragsgemäß für den Berichtszeitraum 2003 bis 2004 wahrgenommen. Der folgende Abschnitt bietet einen kurzen Überblick über die bislang bei der Minderung der Treibhausgasemissionen erzielten Fortschritte der an der erweiterten Vereinbarung zur Klimavorsorge beteiligten Branchen. Im Anschluss folgt die detaillierte Beschreibung der Minderungsanstrengungen der einzelnen Sektoren. Diese Beschreibungen werden ergänzt durch die im Anhang befindlichen Erläuterungen zur wirtschaftlichen Entwicklung dieser Sektoren in den Jahren 2003 und 2004, der Entwicklung der Energiepreise zwischen

1990 und 2004 sowie einer kurzen Darstellung des Monitoringkonzeptes inklusive der verwendeten Datenbasen.

Übersicht 1
Klimaschutzerklärungen der deutschen Wirtschaft
Minderungszusagen gegenüber 1990

Industriesektor	Minderungsziele	Zieljahr
Allg. Elektrizitätswirtschaft	Absolute CO_2-Emissionen um 25 Mill. t auf 264 Mill. t CO_2	2015
Chemische Industrie	30 % des energiebedingten spezifischen Energieverbrauchs	2005
	30 % der energiebedingten absoluten CO_2-Emissionen	2005
	35 bis 40 % des energiebedingten spezifischen Energieverbrauchs	2012
	45 bis 50 % der CO_2-Äquivalente der energiebedingten CO_2- und N_2O-Emissionen	2012
Eisenschaffende Industrie	22 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Rohstahl	2012
Elektrotechnik- und Elektronikindustrie	35 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro Mill. €	2005
	40 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro Mill. €	2012
Feuerfestindustrie	33 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Feuerfest-Erzeugnisse	2005
	35 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Feuerfest-Erzeugnisse	2012
Gasfach	45 Mill. t CO_2-Äquivalente pro Jahr an klimarelevanten Gasen	2012
Glasindustrie	10 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Glas.	2005
Industrielle Kraft-Wärme-Wirtschaft	Kein konkretes Klimaschutzziel (zur Vermeidung von Doppelzählungen)	
Kaliindustrie	66 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t verarbeitetem Rohsalz	2005
	78 % der absoluten CO_2-Emissionen	2005
Kalkindustrie	15 % der brennstoffbedingten spezifischen CO_2-Emissionen pro t Kalk	2005
Keramische Fliesen und Platten	22 bis 26 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Fliesen und Platten	2005
	30 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Fliesen und Platten	2012
Mineralölwirtschaft	10 % der spezifischen CO_2-Emissionen der Raffinerien pro t Bruttoraffinerieerzeugung	2012
	Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades der Ölheizungsanlagen um 23 bis 25 %	2005
	Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades der Ölheizungsanlagen um 27 bis 30 %	2012

noch: Übersicht 1

Industriesektor	Minderungsziele	Zieljahr
Nichteisen-Metallindustrie	22 % des spezifischen Energieverbrauchs pro t NE-Metalle	2005
Steinkohlenbergbau	70 % der absoluten CO_2-Emissionen	2005
	75 % der absoluten CO_2-Emissionen	2012
	70 % der Methan-Emissionen	2012
Textilindustrie	28 % der spezifischen CO_2-Emissionen	2005
	35 % der spezifischen Emissionen aller Kiotogase	2012
Zellstoff- und Papierindustrie	35 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Papier	2012
Zementindustrie	28 % der energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen pro t Zement	2012
Ziegelindustrie	27,7 % des spezifischen Energieverbrauchs pro kg gebrannter Ziegel	2005
	28 bis 30 % der spezifischen CO_2-Emissionen pro t Ziegel	2012
Zuckerindustrie	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen auf 81 bis 87 kg/t Rüben (Minderung von 42,9 % bis 46,8 %)	2005
	Reduktion des spezifischen Energiebedarfs auf 29 kWh/dt Rüben (Minderung von rund 41 %)	2005

Nach Angaben der Verbände.

Überblick über die erzielten Minderungen

Der vorliegende Monitoringbericht des RWI Essen liefert eine detaillierte Beschreibung der CO_2-Minderungserfolge, die im Rahmen der *Erweiterten Vereinbarung zur Klimavorsorge* von den daran beteiligten Industriesektoren im Berichtszeitraum 2003 bis 2004 erzielt wurden. Darüber hinaus bietet der Bericht aber auch einen Überblick über die von diesen Sektoren seit 1990 erreichten CO_2-Emissionsminderungen.

Im Basisjahr 1990 wurden 745,6 Mill. t CO_2 von den beteiligten Wirtschaftszweigen emittiert, während nach Angaben des Umweltbundesamts deutschlandweit rund 1 032 Mill. t CO_2 freigesetzt wurden (UBA 2007a: 43). Somit umfassten die CO_2-Emissionen der an der Klimaschutzvereinbarung beteiligten Wirtschaftszweige beinahe drei Viertel des damaligen Ausstoßes an CO_2 in Deutschland. 2004 wurden von den an der Klimaschutzvereinbarung beteiligten Sektoren insgesamt rund 614 Mill. t CO_2 emittiert (Tabelle 1). Dies waren knapp 18 % weniger als 1990 und mehr als 68 % der 2004 in Deutschland ausgestoßenen Emissionsmenge von rund 897 Mill. t CO_2 (UBA 2007a: 43).

Deutschlandweit wurden 2004 fast 136 Mill. t bzw. 13,1 % weniger CO_2 als 1990 emittiert. Mit der seit 1995 existierenden Vereinbarung zur Klimavorsorge und der zwischen 1990 und 2004 erreichten Minderung um 131,3 Mill. t bzw. 17,6 % leisteten die an der Klimaschutzvereinbarung beteiligten Sektoren einen großen Beitrag zu dieser Emissionsreduktion (Tabelle 1). Bis 2002 konnte eine Minderung von 114,6 Mill. t CO_2 gegenüber dem Basisjahr 1990 erreicht werden. Somit konnten die CO_2-Emissionen zwischen 2002 und 2004 um weitere 16,7 Mill. t gesenkt werden. Mit 14,4 Mill. t entfiel der Großteil dieser Minderung auf das Jahr 2004, in dem das BIP real um 1,1 % gegenüber dem Vorjahr wuchs und das den Beginn der konjunkturellen Erholung kennzeichnete (Anhang A).

Zur Minderung der CO_2-Emissionen in den Jahren 2003 und 2004 trugen nur wenige der beteiligten Industriebereiche in größerem Umfang bei. Diese wiesen in diesem Zeitraum allesamt ein im Vergleich zum Bruttoinlandsprodukt überdurchschnittliches wirtschaftliches Wachstum auf (Anhang A). Dazu zählen die allgemeine Stromwirtschaft mit einer Reduktion des CO_2-Ausstoßes um 8,0 Mill. t, die Chemische Industrie mit 4,5 Mill. t, das Gasfach mit 3,1 Mill. t sowie die Mineralölwirtschaft mit 1,7 Mill. t (Tabelle 1).

Durch die Beteiligung einer Vielzahl von Wirtschaftssektoren an der Klimavorsorgevereinbarung wird nicht nur der Ausstoß der Treibhausgase des Produzierenden Gewerbes berücksichtigt. Mit der Einbindung der allge-

meinen Elektrizitätsversorgung, bei der die weitaus größte Menge an CO_2-Emissionen anfällt, der Mineralölwirtschaft sowie des Gasfachs wird auch ein großer Teil des Energieverbrauchs der privaten Haushalte in die Betrachtung einbezogen. Durch die Erfassung der Produktionsmenge von leichtem Heizöl, zu dem auch Dieselkraftstoff gezählt wird, ist im geringeren Umfang auch der Verkehrssektor berücksichtigt.

Tabelle 1
CO_2-Emissionen der an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten Branchen
1990 bis 2004; in Mill. t

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	1990-2004
Allg. Stromwirtschaft	289,0	267,0	264,0	274,0	277,0	281,0	269,0	-6,9 %
Chemische Industrie[1]	65,5	49,7	47,5	48,3	48,8	46,0	44,3	-32,5 %
Eisenschaff. Industrie	70,0	63,7	65,5	63,1	62,3	61,1	63,1	-9,9 %
Elektroindustrie	9,3	7,6	7,7	7,9	8,1	8,4	8,1	-13,0 %
Feuerfestindustrie	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	- 50,0 %
Fliesen und Platten	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	- 42,9 %
Gasfach	127,7	106,0	94,6	93,4	91,5	89,9	88,4	-30,8 %
Glasindustrie	6,3	6,0	6,4	6,3	6,2	6,5	6,2	-1,6 %
Kaliindustrie	4,8	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	-75,0 %
Kalkindustrie	3,2	2,9	2,8	2,6	2,5	2,5	2,5	-21,9 %
Mineralölwirtschaft	104,5	95,5	88,8	87,6	86,7	85,9	85,0	- 18,7 %
NE-Metallindustrie	14,6	12,9	14,3	14,6	14,5	14,3	14,4	- 1,4 %
Papierindustrie	14,4	13,8	14,4	14,0	14,1	14,4	14,6	+ 1,4 %
Steinkohlenbergbau	9,2	6,7	3,4	2,8	2,7	2,6	2,5	-72,8 %
Textilindustrie	5,8	4,1	3,9	3,7	3,5	3,2	3,0	-48,3 %
Zementindustrie	13,0	10,9	9,2	7,9	7,3	7,4	7,3	-43,8 %
Ziegelindustrie	2,4	2,3	2,4	2,0	1,7	1,7	1,7	-29,2 %
Zuckerindustrie	4,6	2,5	2,4	2,2	2,2	2,0	2,2	-52,2 %
Insgesamt	745,6	653,7	629,1	632,2	631,0	628,7	614,3	-17,6 %
Minderung		12,3 %	15,6 %	15,2 %	15,4 %	15,7 %	17,6 %	

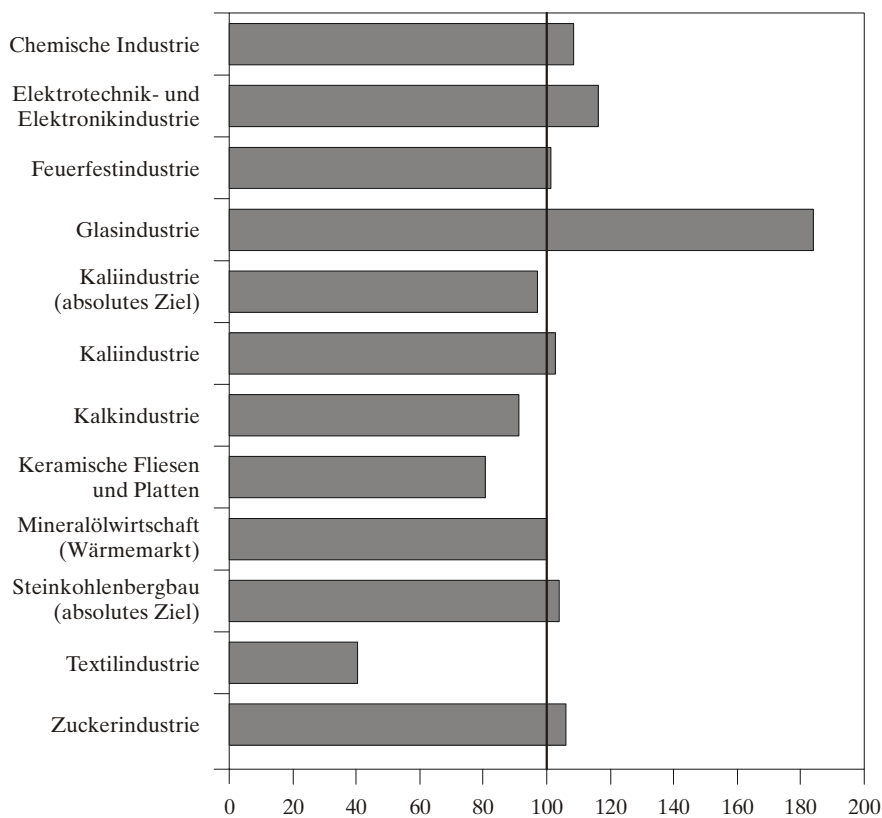
Nach Angaben der beteiligten Verbände.

Schaubild 1 fasst den Stand der für 2005 formulierten CO_2-Reduktionszusagen zusammen, die für 2012 ausgesprochenen Minderungszusagen sind in Schaubild 3 dargestellt. Die in Schaubild 1 dargestellten Zielerreichungsgrade beziehen sich mit drei Ausnahmen auf spezifische CO_2-Minderungen.

[1] Im Gegensatz zur Eisenschaffenden Industrie spiegeln die Werte für die Chemische Industrie alleinig die energetisch bedingten CO_2-Emissionen wieder, ohne die rohstoffbedingten Emissionen.

Die Kaliindustrie hat sowohl ein spezifisches als auch ein absolutes Ziel ins Auge gefasst, die Chemische Industrie sowie der Steinkohlenbergbau beziehen sich auf ein absolutes Minderungsziel. Deutlich zu erkennen ist, dass nahezu alle Sektoren im Jahr 2004 ihrem Ziel bereits sehr nahe waren oder die für 2005 avisierte Zielmarke bereits überschritten hatten. Vor allem die Glasindustrie hat ihr Ziel, die spezifischen CO_2-Emissionen je t Glas um 10 % im Vergleich zu 1990 zu senken, mit einer Minderung um 184 % bereits 2004 sehr deutlich übertroffen. Dies ist Folge einer deutlich effizienteren Nutzung der eingesetzten Energie. Als Resultat konnte der absolute Energieverbrauch trotz einer Zunahme der Glasproduktion um fast 21 % nahezu konstant gehalten werden.

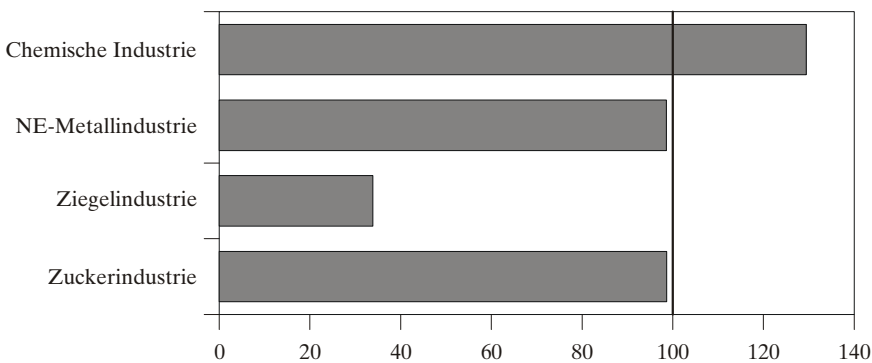
Schaubild 1
Zielerreichungsgrade für die CO_2-Minderungszusagen für 2005
Stand 2004, in %



Eigene Berechnungen.

Im Gegensatz zu allen anderen an der Klimaschutzvereinbarung beteiligten Sektoren war für die Textilindustrie bis 2002 eine Steigerung der spezifischen CO_2-Emissionen im Vergleich zu 1990 festzustellen. Zum Teil war dies auf einen gestiegenen Anteil technischer Textilien an der Produktion zurückzuführen, die einen überdurchschnittlichen Energieeinsatz erfordern. Erst 2003 und 2004 gingen die spezifischen Emissionen um fast 12 % zurück. Die absoluten CO_2-Emissionen sanken hingegen im Vergleich zu 1990 um fast 50 % (Tabelle 1). *Summa summarum* wurden bei 8 von 12 der auf das Jahr 2005 bezogenen Selbstverpflichtungserklärungen die vorgesehenen Ziele bereits im Jahr 2004 erreicht. Darüber hinaus ist ein Großteil der übrigen Zusagen für 2005 bereits nahezu erfüllt worden.

Schaubild 2
Zielerreichungsgrade der Minderungszusagen für den spezifischen Energieverbrauch für 2005
Stand 2004, in %



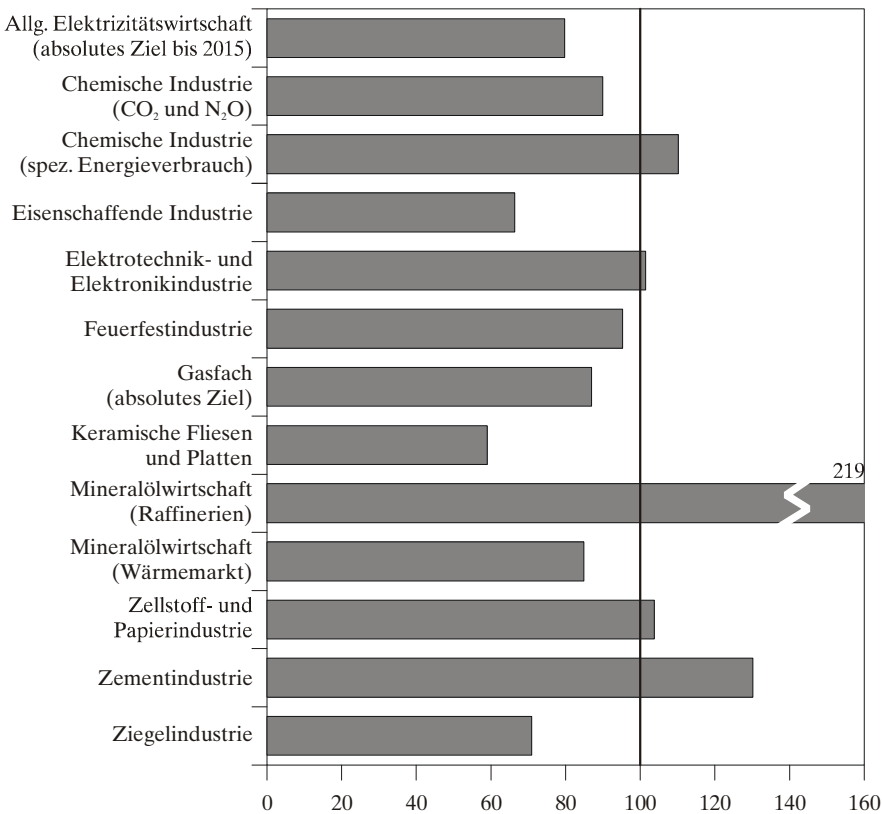
Eigene Berechnungen.

Die Chemische Industrie sowie die Zuckerindustrie haben für 2005 neben einem CO_2-Minderungsziel ein Reduktionsziel für den spezifischen Energieverbrauch festgelegt. Auch die Ziegel- und die Nichteisen-Metallindustrie haben spezifische Energieverbrauchsziele, die bis 2005 erreicht werden sollen. Mit Ausnahme der Ziegelindustrie wurden diese Ziele bereits 2004 nahezu erreicht, im Falle der Chemischen Industrie sogar übertroffen (Schaubild 2).

Neben ihrem Reduktionsziel für den spezifischen Energieverbrauch hat die Ziegelindustrie für 2012 eine Minderungszusage für die spezifischen CO_2-Emissionen abgegeben. Dieser Wirtschaftszweig hat jedoch mit Überkapazitäten und somit einer schlechten Auslastung der Brennöfen zu kämpfen. Hierdurch steigt der spezifische Energieverbrauch, sodass die Erreichung der Reduktionszusage für 2005 ungewiss erscheint. Für das spezifische CO_2-Reduktionsziel der Ziegelindustrie für 2012 zeigt sich indessen ein positive-

res Bild (Schaubild 3). Der Zielerreichungsgrad lag 2004 bereits bei gut 71 %. Die Chemische Industrie hat ihr Ziel für den spezifischen Energieverbrauch für 2012 bereits 2004 übertroffen; ihr Ziel bezüglich der CO_2- und N_2O-Emissionen wurde bereits zu 90 % erreicht.

Schaubild 3
Zielerreichungsgrade der Minderungszusagen für 2012
Stand 2004, in %



Eigene Berechnungen.

Die Eisenschaffende Industrie, einer der größten Energieverbraucher im Verarbeitenden Gewerbe, hatte 2004 bereits zwei Drittel ihrer spezifischen Minderungszusage für 2012 erfüllt. Die Zementindustrie hat ihre bis 2012 eingegangene Selbstverpflichtung ebenfalls bereits 2004 deutlich erfüllt. Dies gilt ebenso für die Mineralölwirtschaft und ihr auf Raffinerien bezogenes Ziel für 2012.

1. Die Kaliindustrie

Das Kerngeschäft der Kaliindustrie besteht in der Herstellung von mineralischen Düngemitteln für die Agrarwirtschaft und der Produktion von Industriesalzen. Ein großer Teil der Industriesalze wird zur Herstellung von Chlor und Kaliumhydroxid (Kalilauge) eingesetzt. Kleinere Mengen werden als hochreine Salze in der Pharmazeutischen Industrie, zur Herstellung von Nahrungsmitteln oder in der Tierernährung verwendet. Bis zum Jahr 2000 war der Welt-Kalimarkt von einem erheblichen Überangebot geprägt, auf das in Deutschland mit dem Abbau unrentabler Kapazitäten und der Konzentration auf nur noch wenige Produktionsstandorte reagiert wurde. Aufgrund einer anhaltend positiven Nachfrageentwicklung – insbesondere auf den Märkten Lateinamerikas und Asiens – konnte die rückläufige Entwicklung seit Anfang der 1990er Jahre durchbrochen werden. Mittlerweile sind die Produktionskapazitäten der deutschen Kaliindustrie weitgehend ausgelastet (K+S 2005: 3). Ihr Weltmarktanteil lag 2004 bei 13 % (K+S 2004a). Während der Umsatz auch im Berichtszeitraum 2003 bis 2004 weiter gesteigert werden konnte, ging die Beschäftigung erstmals seit 2000 wieder zurück.

1.1 Datenbasis

Verbandsaufgaben für den deutschen Kali- und Steinsalzbergbau werden vom Kaliverein mit Sitz in Kassel (heute Verband der Kali- und Salzindustrie – VKS e.V., Berlin) wahrgenommen. Dieser stellte für das Monitoring auch die maßgebliche Datenbasis zur Verfügung. Zudem publiziert das Statistische Bundesamt (StaBuA) in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, Werte zum jährlichen Verbrauch an verschiedenen Energieträgern und dem Stromeinsatz. Die Kaliindustrie wird in der *Klassifikation der Wirtschaftszweige* (StaBuA 1993) unter der Kennziffer 14.30 („Bergbau auf chemische und Düngemittelmineralien“) geführt.

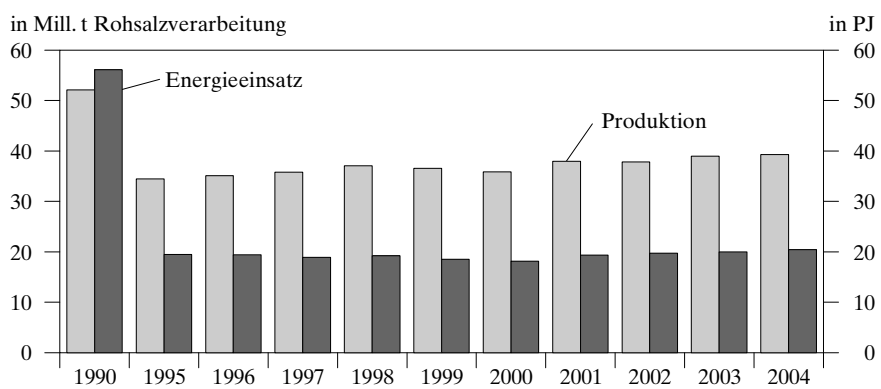
Zwischen diesen beiden Datenquellen ergeben sich jedoch erhebliche Differenzen, die vornehmlich auf eine abweichende Klassifikation der Unternehmensteilbereiche zurückzuführen sind. Während das Statistische Bundesamt den energieintensiven Teilbereich der Weiterverarbeitung des Kalirohsalzes der Herstellung von chemischen Grundstoffen und damit der Chemischen Industrie zuordnet, ist diese Produktionsstufe in den Verbandsdaten enthalten (Buttermann, Hillebrand 2002: 41). Die Meldungen des Kalivereins liegen daher erheblich über den Angaben des Statistischen Bundesamtes. Die folgenden Ausführungen stützen sich deshalb wie bislang ausschließlich auf die Angaben des Kalivereins.

Seit 1993 ist die deutsche Kaliindustrie durch die Fusion der westdeutschen Kali und Salz AG und der ostdeutschen Mitteldeutsche Kali AG zusammengefasst in der Kali und Salz AG. Im Jahr 2002 wurde der Geschäftsbereich Kali- und Magnesiumprodukte in eine eigenständige Tochter (K+S KALI GmbH) ausgegliedert. Aufgrund dieser Umstrukturierungen weichen die im folgenden Abschnitt dargestellten Werte zur Beschäftigung von denen früherer Monitoringberichte ab. Die neuen Zahlen basieren auf Angaben der Kali und Salz AG, die mittlerweile in K+S AG umbenannt wurde.

1.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Die Kaliindustrie befand sich Anfang der 1990er Jahre in einer Krise und sah sich mit deutlichen Überkapazitäten konfrontiert. Daraufhin wurden zwischen 1990 und 1992 eine Reihe von Bergwerken in Thüringen und Niedersachsen stillgelegt und die Produktion deutlich eingeschränkt.[2] So fiel die Produktionsmenge – gemessen in Mill. t Kalirohsalzverarbeitung – zwischen 1990 und 1995 um knapp 34 % von 52,1 auf 34,4 Mill. t (Schaubild 1.1). In den letzten Jahren ist eine Erholung zu verzeichnen. Im Zeitraum 2003 bis 2004 stieg die verarbeitete Rohsalzmenge um fast 4,0 % auf 39,3 Mill. t. Dennoch lag sie damit um fast ein Viertel unter der Kalirohsalzverarbeitung des Jahres 1990.

Schaubild 1.1
Produktion und Energieeinsatz der Kaliindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Kalivereins im Rahmen des Monitoring.

[2] Vgl. WV Bergbau (1994: 238), sowie die historische Darstellung auf der Internet-Homepage der K+S AG (http://www.k-plus-s.com/gruppe/historie.cfm).

Zur Gewinnung und Herstellung marktfähiger Kaliprodukte wurden 2004 insgesamt 20,4 PJ Energie aufgewendet. Dies entspricht gegenüber 2002 einer Steigerung um 3,6 %. Der Energieverbrauch ist damit gegenüber der Produktion nur unterproportional gewachsen. Dies liegt daran, dass der Stromverbrauch weniger stark zugenommen hat als in früheren Jahren. Während die Produktion seit 1995 durchschnittlich um 1,5 % pro Jahr wuchs, verharrte der Energieverbrauch seither auf etwa demselben Niveau von rund 20 PJ. Offenbar erfordert die Produktionsweise ein bestimmtes Mindestmaß an Energie, das zumindest in Teilen unabhängig von der Produktionsmenge ist. In Jahren mit einer vergleichsweise hohen Produktion ist somit ein niedriger spezifischer Energieverbrauch zu beobachten. Mit einem spezifischen Energieverbrauch von 517,4 MJ je Produktionstonne war die Kaliindustrie 2004 deutlich weniger energieintensiv als noch im Jahr 1990 (Tabelle 1.1).

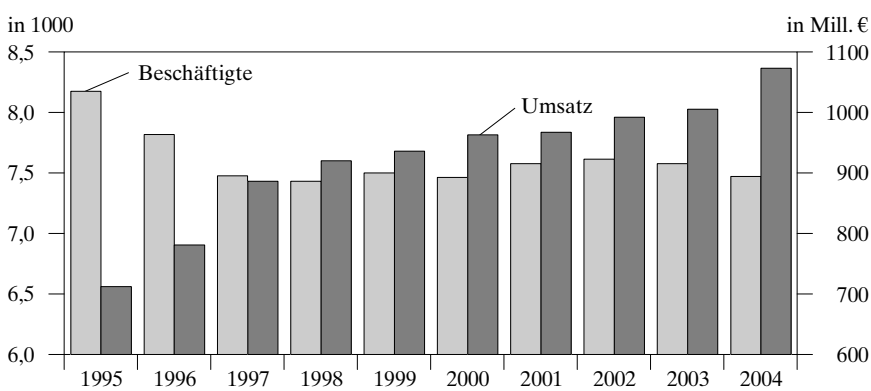
Tabelle 1.1
Spezifischer Energieverbrauch der Kaliindustrie
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
in MJ/t	1 077,5	565,3	505,7	505,9	510,0	521,3	513,4	517,4

Nach Angaben des Kalivereins.

Nach Angaben der K+S AG wurde im Jahr 2004 mit 7 472 Beschäftigten ein Umsatz von 1 073 Mill. € erwirtschaftet. Dank der gestiegenen Nachfrage konnte der Umsatz seit 1995 um insgesamt 50,7 % gesteigert werden. Die Beschäftigung sank dagegen um 8,6 % (Schaubild 1.2).

Schaubild 1.2
Umsatz und Beschäftigung in der Kaliindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Kalivereins im Rahmen des Monitoring.

1.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Der Ausgangspunkt für Kaliprodukte wie Kali-Düngemittel und Industriesalze ist das Kalirohsalz. Darin sind Mineralien wie Kalium, Magnesium und Schwefel gebunden. Der Prozess der Gewinnung marktfähiger Kaliprodukte umfasst im Wesentlichen zwei Produktionsschritte: Den Abbau des Kalirohsalzes und die Rohsalzaufbereitung/-verarbeitung, bei der die enthaltenen Mineralsalze von den anderen Bestandteilen getrennt werden.

Das Rohsalz wird in Deutschland unter Tage mittels Bohr- und Sprengarbeiten gewonnen und durch Bandanlagen über Tage transportiert, um dort der Weiterverarbeitung unterzogen zu werden. Energierelevant sind dabei der Betrieb der Förderanlagen, die Antriebsmotoren der (fahrbaren) Gerätschaften mit Elektro- und Dieselantrieb sowie Beleuchtung und Frischluftzufuhr.

Für die Aufbereitung des Rohsalzes zu verkaufsfähigen Kaliprodukten stehen grundsätzlich drei Verfahren zur Verfügung (WV Bergbau 1994: 229-231): Das Heißlöseverfahren, das Flotationsverfahren und das elektrostatische Verfahren. Das Heißlöseverfahren ist das älteste bekannte Verfahren zur Gewinnung von Kaliumchlorid (KCl). Es nutzt das bei verschiedenen Temperaturen unterschiedliche Löseverhalten der Rohsalzbestandteile. Das Rohsalz wird dabei in eine erhitzte Löselauge gegeben. Das KCl wird hierin gelöst, während die anderen Bestandteile ungelöst verbleiben und aus der Lauge ausgefiltert werden können. Mittels Vakuum-Kühlung kann das KCl wieder auskristallisiert werden. Da jedes Abbaurevier eine spezifische Zusammensetzung des Rohsalzes besitzt, bedarf es im Heißlöseverfahren einer dem jeweiligen Revier angepassten Löselauge, um das gebundene KCl zu separieren.

Das Flotationsverfahren vermeidet den hohen thermischen Aufwand des Heißlöseverfahrens, erfordert aber vorab eine Feinvermahlung des Rohsalzes. Das gemahlene Rohsalz wird in einer Flotationslauge suspendiert, der ein Flotationsmittel – so genannte Sammler-Reagenzien – zugesetzt wird. Diese Reagenzien binden sich selektiv an einzelne Kristalle des Kaliumchlorids. Durch Einblasen von Luft bildet diese Verbindung einen Schaum, der an die Oberfläche der Lauge steigt und dort mechanisch abgestreift werden kann. Der Schaum wird anschließend von Rückständen gereinigt und der Trocknung zugeführt. Durch Beigabe unterschiedlich wirkender Reagenzien ist es in einem mehrstufigen Prozess möglich, neben KCl auch Magnesium und andere Stoffe aus dem Rohsalz zu extrahieren.

Das verhältnismäßig junge elektrostatische Verfahren zur Rohsalzverarbeitung erfordert – ebenso wie das Flotationsverfahren – eine Feinvermahlung des Rohsalzes. Durch eine geeignete Behandlung werden diese Kristalle

unterschiedlich elektrostatisch aufgeladen und können so mittels eines elektrischen Feldes trocken separiert werden. Dieses Aufbereitungsverfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es ohne den Einsatz von Wasser auskommt und somit keine Energie zur Trocknung aufgewendet werden muss. Mittlerweile wird knapp die Hälfte der Produktion der Kaliindustrie mit diesem Trennverfahren aufbereitet (K+S 2004b: 30).

Sofern das resultierende Produkt in feinkristalliner Form anfällt, bedarf es einer Nachbehandlung, da Düngemittel zum großen Teil als Granulat nachgefragt werden. Die Granulierung kann bei feuchtem Salz mittels Granulierungsschnecken (Aufbaugranulation) geschehen, bei trockenem Salz wird die gewünschte Form durch Pressgranulierung herbeigeführt.

1.4 Die Selbstverpflichtung

Die Kaliindustrie hat 1996 eine Selbstverpflichtung zur Minderung der CO_2-Emissionen abgegeben und diese im Jahre 2001 ergänzt (K+S 2005). Demnach besteht die Verpflichtung, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 66 % gegenüber 1990 auf 31 kg CO_2 je Tonne verarbeitetes Rohsalz zu senken (Übersicht 1.1). Darüber hinaus sichert der Industriezweig zu, seine absoluten CO_2-Emissionen um 78 % auf insgesamt 1,05 Mill. t CO_2 zu vermindern.

Übersicht 1.1
Selbstverpflichtung der Kaliindustrie

Spezifisches Ziel	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um 66 % auf 31 kg CO_2/t Rohsalzverarbeitung bis 2005.
Absolutes Ziel	Verringerung der absoluten CO_2-Emissionen um 78 % auf 1,05 Mill. t CO_2 bis 2005.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des Kalivereins im Rahmen des Monitoring.

Das Reduktionsziel wird auf die Menge an *verarbeitetem Rohsalz* bezogen und nicht auf die Menge an verkaufsfähigen Kaliprodukten. Der Grund dafür ist: Der Gehalt an wertvollem Reinkali (K_2O) im Rohsalz variiert je nach Abbaurevier (WV Bergbau, 1994: 225). Bergwerke mit geringem Kaligehalt müssen entsprechend mehr Rohsalz verarbeiten, um eine vergleichbare Menge an Endprodukt zu gewinnen.

1.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Verglichen mit den Emissionen in Höhe von fast 4,8 Mill. t CO_2, die im Jahr 1990 ausgestoßen wurden, konnten vor allem bis 1995 erhebliche Einsparungen erzielt werden (Tabelle 1.2). Das absolute Einsparziel wurde 1999 erstmals erreicht. Nachdem 2000 noch einmal eine Verringerung der Emissionen erzielt wurde, nahm der CO_2-Ausstoß seit 2001 wieder zu, auf

1,15 Mill. t CO_2 im Jahr 2004. Damit lag der CO_2-Ausstoß im Berichtszeitraum wieder über dem Wert von 1995. Der Zielerreichungsgrad für die absoluten Emissionen sank 2004 auf 97,1 %. Geschuldet ist dieser Anstieg in erster Linie dem Produktionswachstum. Seit 2000 nahm die Rohsalzverarbeitung um 3,5 Mill. t (Tabelle 1.3) bzw. 9,8 % zu, die Emissionen indessen sogar um rund 12,8 %. Damit einher ging eine leichte Erhöhung der spezifischen Emissionen zwischen 2000 und 2004 (Tabelle 1.3).

Tabelle 1.2
Entwicklung der absoluten CO_2-Emissionen der Kaliindustrie von 1990 bis 2004
Minderungsziel bis 2005: -78 % im Vergleich zu 1990 auf 1,05 Mill. t CO_2.

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Emissionen in Mill. t	4,76	1,11	1,04	1,02	1,09	1,12	1,14	1,15
Minderung in %	-	76,6	78,2	78,6	77,1	76,6	76,1	75,7
Zielerreichungsgrad in %	-	98,2	100,3	100,8	98,9	98,2	97,6	97,1

Nach Angaben des Kalivereins.

Der spezifische CO_2-Ausstoß, der die Ausweitung der Produktion um 4,9 Mill. t zwischen 1995 und 2004 berücksichtigt, ist in diesem Zeitraum um fast 9,0 % gesunken. Lag er 1995 noch bei 32,3 kg CO_2/t Rohsalzverarbeitung, waren es 2004 noch 29,4 kg CO_2/t (Tabelle 1.3). Die spezifischen CO_2-Emissionen haben 1997 mit 29,6 kg CO_2/t erstmals das gesetzte Ziel einer Minderung um 66 % erreicht und seither nicht wieder verfehlt. 2004 lagen die spezifischen Emissionen leicht unterhalb des Wertes im Jahr 2002. Damit konnte der sich seit 1999 abzeichnende Trend steigender spezifischer Emissionen gestoppt werden. Das spezifische Minderungsziel dürfte daher auch im Zieljahr 2005 eingehalten oder sogar unterschritten werden.

Tabelle 1.3
Entwicklung der spezifischen CO_2-Emissionen der Kaliindustrie von 1990 bis 2004
Ziel bis 2005: -66 % im Vergleich zu 1990 auf 31 kg CO_2/t verarbeitetes Rohsalz

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Rohsalzverarbeitung, Mill. t	52,1	34,4	36,6	35,8	38,0	37,8	39,0	39,3
Spez. Emissionen, kg CO_2/t	91,4	32,3	28,4	28,5	28,8	29,5	29,1	29,4
Minderung in %	-	64,6	69,9	68,8	68,5	67,7	68,1	67,9
Zielerreichungsgrad in %	-	97,9	105,9	104,2	103,8	102,6	103,2	102,8

Nach Angaben des Kalivereins.

1.6 Ursachenanalyse

Im Zeitraum 2003 bis 2004 wurde die Veränderung der CO_2-Emissionen durch Effekte mit z.T. unterschiedlichen Wirkungsrichtungen ausgelöst. Dies wird bereits daran ersichtlich, dass bei unterschiedlichem Produktionswachstum in den Jahren 2003 und 2004 von 3,2 % bzw. 0,8 % (Tabelle 1.3) der Energieverbrauch mit gleichbleibender Rate von 1,6 % gewachsen ist, was sich gegenüber 2002 positiv auf die Energieeffizienz auswirkte,

insbesondere im Jahr 2003 (Tabelle 1.1). Gleichzeitig sind die absoluten CO_2-Emissionen in den beiden Berichtsjahren mit 1,9 % bzw. 1,7 % schneller gewachsen als der Energieverbrauch (Tabelle 1.2). Dies deutet auf eine Substitution kohlenstoffarmer Energieträger durch kohlenstoffreichere hin. In der Tat stieg der bereits seit 1998 zunehmende Stromverbrauch weiter an, 2003 um ca. 28 %, 2004 um etwa 5 %. Der Anteil von Strom am Energiebedarf stieg nach Tabelle 1.4 zwischen 2002 und 2004 von 6,6 % auf 8,3 %, wohingegen der Anteil des CO_2-armen und den Energiemix dominierenden Erdgases von 93,4 % auf 91,2 % leicht abnahm. Da Strom mit einem höheren CO_2-Faktor bewertet wird als Erdgas, führt die Substitution von Erdgas durch Strom zu einem steigenden CO_2-Ausstoß.

Nach Angaben der K+S AG ist der Zuwachs beim Stromverbrauch drei Ursachen geschuldet. So entfernt sich das abzubauende Flöz mit zunehmendem Kaliabbau vom Förder- und Versorgungsschacht, was einen erhöhten Aufwand an Beleuchtung, Bandanlagenbetrieb usw. erfordert. Zudem werden unter Tage aufgrund verschärfter Arbeitsplatzbestimmungen zunehmend Diesel- durch Elektrofahrzeuge substituiert. Schließlich wird nachfragebedingt ein größerer Anteil an granulierter Ware produziert (Buttermann, Hillebrand 2002: 43).

Tabelle 1.4
Energiemix der Kaliindustrie
1990 bis 2004, in PJ, gerundete Werte

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Rohbraunkohle	27,1	0	0	0	0	0	0
Heizöl, schwer	1,4	0	0	0	0	0	0
Heizöl, leicht	0	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04
Erdgas	19,2	16,8	17,6	18,4	18,4	18,3	18,6
Strom	8,5	2,6	0,5	0,9	1,3	1,6	1,7
Insgesamt	56,1	19,5	18,1	19,4	19,7	20,0	20,4

Nach Angaben des Kalivereins.

Das ganze Ausmaß der Veränderung des Energiemix seit 1990, bei der das CO_2-arme Erdgas zum dominierenden Energieträger wurde, spiegelt sich in der Entwicklung der CO_2-Emissionen je Energieeinheit wider: Insgesamt sanken die Emissionen je GJ seit 1990 von 84,8 t CO_2/GJ auf 56,7 t CO_2/GJ im Jahr 2004 (Tabelle 1.5). Multipliziert man die Verringerung um 28,1 t CO_2/GJ mit dem Energieverbrauch des Jahres 1990 von 56,1 PJ bzw. 56,1 Mill. GJ, ergibt sich rein rechnerisch eine Verringerung der absoluten Emissionen von etwa 1,6 Mill. t bzw. rund einem Drittel. Ein Großteil davon geht auf den vollständigen Verzicht auf Rohbraunkohlenstaub und schweres Heizöl als Energieträger zurück.

Neben Änderungen im Energiemix konnten die Emissionsverringerungen von rund 3,6 Mill. t zwischen 1990 und 2004 im Wesentlichen durch Energieeffizienzverbesserungen und einen geringeren Energieverbrauch aufgrund der im Vergleich zu 1990 stark reduzierten Rohsalzverarbeitung erzielt werden. Bewertet man den zwischen 1990 und 2004 erfolgten Rückgang der Produktionsmenge von 12,8 Mill. t mit dem hohen spezifischen CO_2-Emissionswert von 1990 von 91,4 kg je Tonne Produktionsoutput, kommt man zu einer Emissionsreduktion von knapp 1,2 Mill. t. Legt man hingegen die spezifischen CO_2-Emissionen von 2004 von 29,4 kg je t zugrunde, mithin einen vergleichsweise niedrigen Wert, erhält man eine Mindestreduktion von etwa 0,4 Mill. t. Demnach liegt die Emissionsverringerung durch Kapazitätsanpassungen innerhalb der Bandbreite von 0,4 bis 1,2 Mill. t.

Tabelle 1.5
Energieverbrauch, CO_2-Emissionen absolut und je Energieeinheit
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Emissionen in Mill. t	4,76	1,11	1,04	1,02	1,09	1,12	1,14	1,15
Energieverbrauch in PJ	56,1	19,5	18,5	18,1	19,4	19,7	20,0	20,4
Emissionen in kg CO_2/GJ	84,8	57,1	56,1	56,3	56,4	56,6	56,7	56,7

Nach Angaben des Kalivereins.

Bei der Energieeffizienz schließlich waren deutliche Verbesserungen festzustellen, wenngleich überwiegend in der ersten Hälfte der 90er Jahre, jedoch auch danach. Insgesamt sank der spezifische Energieverbrauch zwischen 1990 und 2004 auf weniger als die Hälfte, von rund 1 078 MJ/t auf rund 517 MJ/t (Tabelle 1.1). Damit einher ging eine Reduzierung der spezifischen CO_2-Emissionen. Multipliziert man die Effizienzsteigerung von rund 560 MJ/t bzw. 0,56 GJ/t mit 84,8 kg CO_2/GJ, den Emissionen je Energieeinheit von 1990, so ergibt sich eine Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen durch Effizienzsteigerungen in Höhe von 47,5 kg CO_2/t. Tatsächlich wurden 1990 jedoch 91,4 kg CO_2/t freigesetzt. Folglich konnten durch eine effizientere Energienutzung die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2004 um 48,0 % gesenkt werden. Bezogen auf die 1990 verarbeitete Menge in Höhe von 52,1 Mill. t ergibt sich somit ein Einsparvolumen von gut 2,5 Mill. t CO_2.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass gegenüber 1990 sowohl die Veränderung des Energieträgermix und die Verbesserung der Energieeffizienz wie auch der Rückgang der produzierten Menge den absoluten CO_2-Ausstoß deutlich verringert haben. In den Jahren 2003 und 2004 konnte demgegenüber lediglich die Verbesserung der Energieeffizienz einen Beitrag zur Minderung der CO_2-Emissionen leisten. Der zunehmende Ein-

satz von Strom sowie die Ausweitung der Produktion führten dagegen im Vergleich zu 2002 zu höheren Emissionen.

1.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Die deutsche Kaliindustrie nennt in ihrem für den Berichtszeitraum relevanten Fortschrittsbericht zum Klimaschutz (K+S 2005) zwei Investitionsmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und damit zur CO_2-Minderung. Beide Maßnahmen beziehen sich auf das Jahr 2004. Für 2003 werden keine Maßnahmen genannt.

Im Kraftwerk eines Kaliwerks in Sachsen-Anhalt wurde nach Angaben der K+S AG mit einem Investitionsaufwand von 2,16 Mill. € eine Gasturbine vor einen der Kessel eingebaut. Bei einem Erdgaseinsatz von 4,3 Mill. m^3/a erzeugt diese Anlage 35 GWh/a an Strom. Der Fremdstrombezug wurde in diesem Umfang verringert. Mit Hilfe des im Monitoring verwendeten CO_2-Faktors für Erdgas von etwa 1,78 kg CO_2/m^3 ergibt sich für den zusätzlichen Erdgasverbrauch eine Emission von rund 7 600 t CO_2. Dem steht jedoch eine Verringerung des CO_2-Ausstoßes durch den niedrigeren Fremdstrombezug von 23 450 t CO_2 gegenüber. Dieser Wert ergibt sich, wenn für den reduzierten Fremdstrombezug ein CO_2-Faktor von 670 kg CO_2/MWh angesetzt wird. Per Saldo werden die CO_2-Emissionen der Kaliindustrie durch diese Anlage also um etwa 15 800 t CO_2 vermindert.

Im Zuge einer weiteren Maßnahme wurde das Kraftwerk eines Kaliwerks in Niedersachsen für 150 000 € mit einer Anlage zur Wärmerückgewinnung aus Rauchgasen ausgerüstet. Die in den Wärmetauschern zurück gewonnene Wärme wird zur Aufwärmung von Kondensaten genutzt, die an das Kraftwerk zurück geliefert werden. Auf diese Weise werden 390 000 m^3 Erdgas pro Jahr eingespart. Dies bedeutet eine Verringerung der CO_2-Emissionen von umgerechnet knapp 700 Tonnen pro Jahr.

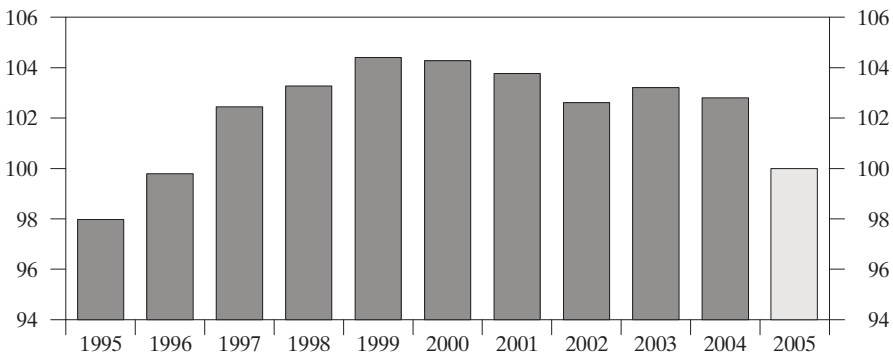
Allerdings wurden beide Anlagen erst 2005 in Betrieb genommen. Die Verbesserung der Energieeffizienz sowie Minderungen der CO_2-Emissionen können daher für den Berichtszeitraum 2003 bis 2004 nicht angerechnet werden.

1.8 Zusammenfassung und Bewertung

Durch Umstrukturierung und Konzentration auf die wirtschaftlichsten Standorte ist es der Kaliindustrie in den 90er Jahren gelungen, die Energieeffizienz ihrer Anlagen erheblich zu steigern (K+S 2005: 3). Der Ausstoß von CO_2 konnte bis 2004 um mehr als drei Viertel gegenüber 1990 verringert werden. Ein Blick auf Schaubild 1.3 lässt kaum einen Zweifel daran,

dass die deutsche Kaliindustrie das avisierte Vermeidungsziel – eine Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 66 % gegenüber 1990 – erreichen wird. Diese Marke wurde bereits 1997 das erste Mal übertroffen.

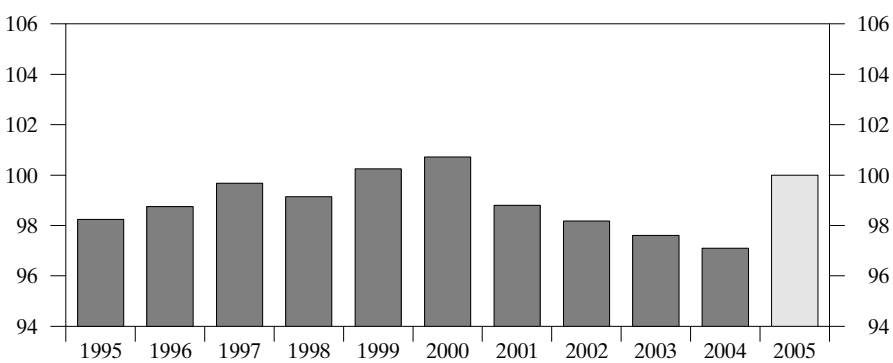
Schaubild 1.3
Zielerreichungsgrad des spezifischen Minderungsziels
1995 bis 2004



Nach Angaben des Kalivereins im Rahmen des Monitoring.

Bei den absoluten Emissionen lässt sich kein derart optimistisches Bild zeichnen. Zwar konnten der CO_2-Ausstoß bis 2000 um mehr als 78 % gegenüber 1990 gesenkt werden, seit 2002 nehmen die Emissionen aber wieder leicht zu. 2004 lag der Zielerreichungsgrad mit 97,1 etwas unter dem Wert von 1995 (Schaubild 1.4).

Schaubild 1.4
Zielerreichungsgrad des absoluten Minderungsziels
1995 bis 2004



Nach Angaben des Kalivereins im Rahmen des Monitoring.

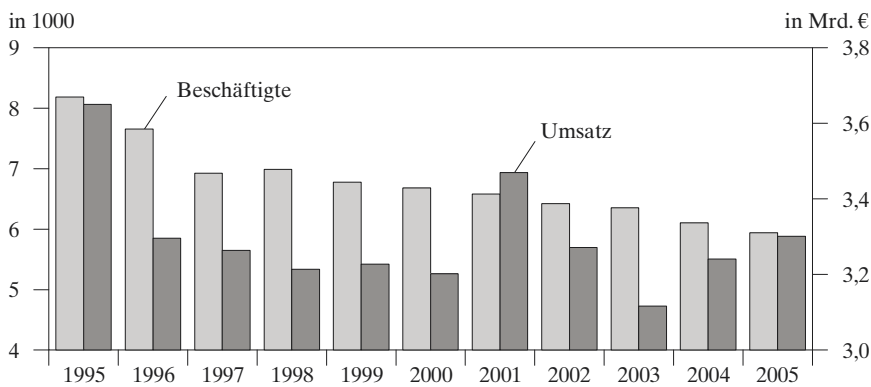
Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Kaliprodukten ist zu erwarten, dass das absolute Emissionsziel auch in den kommenden Jahren verfehlt wird. Die Wirtschaftsvereinigung Bergbau prognostiziert, dass die Nachfrage mittelfristig um 2 % jährlich wachsen wird (WV Bergbau 2005: 30). Mit einer zunehmenden Produktionsmenge wird aber auch die Menge an CO_2-Emissionen ansteigen, zumal der aktuelle Nachhaltigkeitsbericht der K+S AG davon ausgeht, dass „keine spürbaren Emissionsminderungen“ durch Effizienzsteigerungen mehr zu erreichen sind, da die betriebenen Standorte allesamt auf dem Stand der Technik arbeiten (K+S 2004b: 28).

2. Die Zuckerindustrie

Das Kerngeschäft der Zuckerindustrie umfasst die auf Basis von Zuckerrüben erfolgende Herstellung und Raffination von Zucker. Produktionsniveau und -entwicklung werden unter anderem von der europäischen Zuckermarktordnung bestimmt, die eine strenge Regulierung der Zuckererzeugung vorsieht. Dabei wurden in der Fassung der Ratsverordnung von Juni 2001 den Zuckerherstellern mittels Quoten garantierte Preise zugesichert (EU 2001a). Die Reform der Zuckermarktordnung Mitte 2006 führte inzwischen u.a. zu sehr einschneidenden Preissenkungen (36 %) und einer deutlichen Senkung des Schutzniveaus (EU 2006).

Der Umsatz der Zuckerindustrie betrug im Jahr 2005 rund 3,3 Mrd. € (Schaubild 2.1). Mit einem Umsatzanteil am Verarbeitenden Gewerbe von gut 0,2 % gehört diese Industrie zu den kleinen Wirtschaftszweigen.

Schaubild 2.1
Beschäftigte und Umsatz in der Zuckerindustrie
1995 bis 2005



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Einem Wachstum der Rübenverarbeitung von 3,9 % in den Jahren 1995 bis 2004 stand ein Rückgang des Umsatzes von 11,2 % auf 3,2 Mrd. € im Jahr 2004 gegenüber. In 26 Betrieben beschäftigte die Zuckerindustrie 2004 rund 6 100 Mitarbeiter. Die Anzahl der Beschäftigten der Zuckerindustrie ist zwischen 1995 und 2005 von 8 248 auf 5 938 um 27 4% zurückgegangen. Allein in den Jahren 1995 bis 1997 betrug der Beschäftigungsabbau 15,4 %.

2.1 Datenbasis

Grundlage des vorliegenden Monitoringberichts für die Zuckerindustrie sind die Angaben des Vereins der Zuckerindustrie (VdZ) zum Energieverbrauch und zur Produktion. Diese basieren auf internen Erhebungen bei den Mitgliedsunternehmen. Als Indikator für die Produktion dient die Menge verarbeiteter Rüben. Der vorliegende Monitoringbericht weicht wie schon der Bericht für die Jahre 2000 bis 2002 von den Berichten davor in zweifacher Hinsicht ab: Erstens beruhen die Angaben zum Energieverbrauch nicht mehr auf den Energieverbrauchsangaben des Statistischen Bundesamtes, die der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, zu entnehmen sind, sondern auf Verbandsangaben, und zweitens beziehen sich diese Werte auf das Kalenderjahr und nicht mehr auf das so genannte Zuckerwirtschaftsjahr. Dieses umspannt den Zeitraum vom 1. Juli bis zum 30. Juni des Folgejahres.

Eine Ausnahme davon bildet das hier verwendete Basisjahr, für das nur Energie- und Produktionsangaben für das Zuckerwirtschaftsjahr 1990/91 vorhanden sind. Entsprechende kalenderjährliche Angaben lassen sich nicht mehr konstruieren. Zur Vereinfachung der Schreibweise wird im Folgenden für das Basisjahr anstatt 1990/91 kürzer 1990 geschrieben.

Die Umstellung auf Kalenderjahre ist ohnehin unumgänglich: Ab 2003 entfällt die monatliche Erfassung der Energiedaten des Verarbeitenden Gewerbes durch das Statistische Bundesamt, es stehen somit nur noch jährliche Energiedaten zur Verfügung. Die monatlichen Angaben wären aber notwendig, um daraus den Energieverbrauch der jeweiligen Zuckerwirtschaftsjahre zu rekonstruieren.

Als wesentlicher Grund dafür, dass hier die Energieangaben des VdZ und nicht die des Statistischen Bundesamtes verwendet werden, kommt zudem hinzu, dass letztere nicht mehr in der erforderlichen Gliederungstiefe bzgl. der Energieträger zur Verfügung stehen. Ein Nachteil der Daten des Statistischen Bundesamtes war auch bisher schon, dass nicht der gesamte Energieverbrauch der Zuckerindustrie im Rahmen der amtlichen Erhebung erfasst. wurde. Als Beispiel nannte der VdZ den Koksverbrauch zur eigenständigen Kalkherstellung, der vom Statistischen Bundesamt nicht der Zuckerindustrie zugeordnet wird (VdZ 2004: 3). Das Fehlen dieser Energieeinsätze bei den Werten der amtlichen Statistik erklärt, dass die Erhebungen des VdZ in früheren Jahren einen höheren Energieverbrauch ergaben als vom Statistischen Bundesamt ausgewiesen wurde. Darüber hinaus gab es noch weitere Gründe, die auch bei den Werten anderer Industriezweige zu statistischen Ungenauigkeiten führen, beispielsweise Sprünge bei den vom Statistischen Bundesamt zur Ermittlung des Energieverbrauchs benutzen Heizwerten.

Der VdZ hat seine Energieverbrauchswerte in PJ durch Multiplikation der eingesetzten Energiemengen mit den ihm durch seine Lieferanten mitgeteilten Heizwerten berechnet. Üblicherweise sieht das Monitoring-Konzept jedoch vor, dass bei Verwendung von Verbandsdaten Heizwerte der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) heranzuziehen sind. Eine Multiplikation der Verbandsdaten mit den Heizwerten der AGEB ermöglicht es, die Differenzen beim Energieverbrauch aufzuzeigen, die aus der Benutzung dieser unterschiedlichen Heizwerte resultieren.

Im Vergleich zu den VdZ-Angaben liegen die auf Basis der AGEB-Heizwerte ermittelten Werte in den Jahren 2003 und 2004 um etwa 4 bis 4,5 % niedriger (Tabelle 2.1). Die resultierenden Unterschiede bei den CO_2-Emissionen belaufen sich auf 3,5 bis 4 %. Die Abweichungen entsprechen damit auch weiterhin denen früherer Jahre. Damit stellen die vom VdZ gelieferten Angaben die Entwicklung des Energieverbrauchs und der CO_2-Emissionen in der Zuckerindustrie moderat ungünstiger dar als die auf Basis der Heizwerte der AGEB ermittelten Verbrauchswerte. Wenn im Folgenden zur Überprüfung der freiwilligen Selbstverpflichtung der Zuckerindustrie ausschließlich auf die Angaben des VdZ zurückgegriffen wird, ist die Benutzung der speziellen Heizwerte auch deshalb bedenkenlos zu akzeptieren, da dies nur Auswirkungen auf das Niveau, nicht aber die zeitlichen Änderungen der Energieverbrauchswerte und der Emissionen hat.

Tabelle 2.1
Energieverbrauch an fossilen Energieträgern und CO_2-Emissionen in der Zuckerindustrie auf Basis der Heizwerte der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen und des VdZ*
1998 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Energieverbrauch, AGEB	30,5	29,2	28,3	26,6	26,9	25,3	27,8
Energieverbrauch, VdZ	31,0	30,7	29,2	27,3	28,3	26,3	29,1
Differenz, in % des Energieverbrauchs des VdZ	-1,6	-4,9	-3,1	-2,6	-4,6	-3,8	-4,5
CO_2-Emissionen in Mill. t, AGEB	2,50	2,27	2,29	2,17	2,07	2,00	2,21
CO_2-Emissionen in Mill. t, VdZ	2,55	2,38	2,37	2,22	2,16	2,07	2,30
Differenz, in % der CO_2-Emissionen des VdZ	-0,4	-3,4	-2,6	-1,8	-4,2	-3,4	-3,9

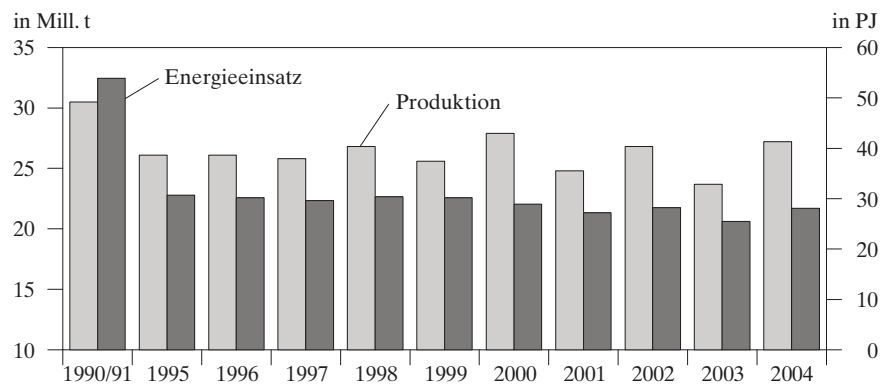
Eigene Berechnungen nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. *einschließlich der aus dem Eigenstromexport resultierenden Verbräuche und Emissionen.

2.2 Energieverbrauch und Produktion

Der Energieverbrauch sank zwischen 1990 und 1995 um 43 %, von 53,9 auf 30,7 PJ (Schaubild 2.2). Die Produktion ging unterdessen nur um 14,1 % zurück. Danach blieben Energieverbrauch und Produktion bis 1999 in etwa konstant. Von 1999 bis 2002 konnte der Energieeinsatz wieder verringert

werden, um 6,6 % auf 28,2 PJ, während die Rübenverarbeitung im Mittel sogar zunahm und 2000 bzw. 2002 mit 27,9 respektive 26,8 Mill. t über dem Niveau von 1999 lag. 2003 wurden mit 23,7 Mill. t deutlich weniger Rüben verarbeitet als im Jahr zuvor. Parallel dazu ging der Energieverbrauch im Vergleich zu 2002 beträchtlich zurück auf 25,5 PJ. 2004 stiegen sowohl der Energieverbrauch als auch die Rübenverarbeitung an, nämlich auf 28,1 PJ und 27,2 Mill. t und erreichten bzw. übertrafen leicht das Niveau des Jahres 2002.

Schaubild 2.2
Energieverbrauch und Produktion in der Zuckerindustrie
1990 bis 2004



Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie.

2.3 Kurzbeschreibung des Produktionsprozesses

Bei der Zuckergewinnung wird der in der Rübe vorhandene Zucker von den übrigen Pflanzenbestandteilen getrennt und auskristallisiert. Die Zuckerherstellung lässt sich in die Verfahrensstufen Rübenvorbereitung, Rohsaftgewinnung, Saftreinigung, Dünnsaftgewinnung, Safteindampfung, Kristallisation sowie Zentrifugierung/Trocknung untergliedern. Bei der Rübenvorbereitung werden diese über Förderbänder oder Schwemmrinnen in die Rübenwaschanlage transportiert, dort von noch anhaftender Erde sowie Blattwerk und Steinen befreit und danach in Schneidemaschinen zu Schnitzeln zerkleinert. Zur Rohsaftgewinnung wird den Rübenschnitzeln in Extraktionstürmen über 99 % des Zuckers entzogen. Der so entstandene Rohsaft hat einen Zuckeranteil von 13 bis 15 %.

Die anderen im Rohsaft enthaltenen Stoffe werden mit Hilfe von zugesetzter Kalkmilch und Kohlensäure im Rahmen der Saftreinigung gebunden und vom Rohsaft getrennt. Übrig bleibt der so genannte Dünnsaft. Für die

Safteindampfung wird in der Verdampfstation mit Hilfe reihenweise geschalteter Verdampfungsapparate dem Dünnsaft weiter Wasser entzogen, bis sich ein rund 70 %iger zuckerhaltiger Sirup gebildet hat. In der Kochstation verfestigt sich der Sirup durch Zugabe von Impfkristallen weiter. Diese Kochmasse wird anschließend in liegende Gefäße abgelassen, in denen unter Abkühlung die Zuckerkristalle weiter wachsen. In hochtourigen Zentrifugen werden die Kristalle zum Abschluss durch Abschleudern vom zähflüssigen Sirup getrennt und danach noch einmal mit Wasserdampf gereinigt. Das Endprodukt dieses Prozesses ist Weißzucker (WVZ 2005).

Etwa 90 % der im Produktionsprozess eingesetzten Energie ist Wärmeenergie. Kernstück des komplexen Energieverbundes einer Zuckerfabrik ist die gekoppelte Erzeugung von Wärme und elektrischer Energie (KWK), mit der sich im Vergleich zur reinen Stromerzeugung deutlich höhere Wirkungsgrade erreichen lassen. Überhitzter Dampf wird über Gegendruckturbinen geführt. Der Turbinenabdampf wird zur Eindampfung des Dünnsaftes genutzt. Der bei dieser Eindampfung entstehende Sattdampf, der so genannte Brüden, wird zum Anwärmen an die Extraktion, Saftreinigung und Kristallisation verteilt. Das dabei anfallende Kondensat wird weitgehend für die Wärmeübertragung eingesetzt, bevor es als Abwärme mit niedriger Temperatur an die Umgebung abgegeben wird. Der von der Zuckerindustrie erzeugte Strom wird überwiegend selbst verbraucht; nur 13 % werden, vorwiegend während der Rübenkampagne, ins öffentliche Netz eingespeist. Der Fremdstrombezug konzentriert sich auf den Nicht-Kampagnebetrieb, in der die Zuckerfabriken nur vereinzelt auf Basis von KWK arbeiten (Reinefeld, Thielecke 1984: 185).

2.4 Selbstverpflichtung

Der VdZ hat in seiner Erklärung vom 19. Dezember 2000 für die Zuckerindustrie zugesagt, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 von 148 kg/t auf 81 bis 87 kg/t Rüben gegenüber dem Zuckerwirtschaftsjahr 1990 zu senken (Übersicht 2.1). Dies impliziert bei einer Gesamtemission von 4,5 Mill. t CO_2 im Basisjahr eine Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen um 41 bis 45 % (VdZ 2000: 1-2). Die Zusage des VdZ zur Emissionsminderung basiert auf den vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Energieverbrauchsdaten für das Zuckerwirtschaftsjahr 1990. Dem vorliegenden Monitoringbericht liegen jedoch die vom VdZ erhobenen Daten zugrunde. Diese beziffern den spezifischen CO_2-Ausstoß im Basisjahr mit 152 anstatt mit 148 kg CO_2/t Rüben. Hieraus ergibt sich für 2005 rechnerisch eine Minderungszusage von 42,9 % bis 46,8 %.

Die frühere Zusage, die sich auf den spezifischen Energieverbrauch bezieht und die der VdZ im Rahmen der Selbstverpflichtung der deutschen Wirt-

schaft von 1996 gegeben hat, lässt der Verband unverändert bestehen. Demnach soll der spezifische Energieverbrauch von 49,1 kWh pro Dezitonne (dt) im Jahr 1990 auf 29 kWh/dt Rüben im Jahr 2005 reduziert werden (VdZ 2000: 1-2).

Übersicht 2.1
Selbstverpflichtungen der Zuckerindustrie

Ziel	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen auf 81 bis 87 kg/t Rüben bis 2005 bei einer Reduktion des spezifischen Energiebedarfs auf 29 kWh/dt Rüben
Basisjahr	1990/1991

Angaben des Vereins der Zuckerindustrie (2000).

2.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Nachdem die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2002 um 46,7 % gegenüber 1990 gesenkt wurden, von 152 auf 81 kg/t, stiegen diese 2003 zunächst auf 85 kg/t an, um dann 2004 wieder auf 82 kg/t zurückzugehen. (Tabelle 2.2). Damit wird die für 2005 gesetzte Obergrenze von 87 kg/t für die spezifischen CO_2–Emissionen auch weiterhin deutlich unterschritten.

Tabelle 2.2
Spezifische CO_2-Emissionen und Zielerreichungsgrade der Zuckerindustrie
1990 bis 2004; Minderungsziel bis 2005: 87 kg CO_2/t Rüben

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Emissionen, kg/t	152	96	85	84	89	81	85	82
Minderung in %	-	36,8	44,1	44,7	41,4	46,7	44,1	46,1
Zielerreichungsgrad in %	-	90,6	102,4	103,6	97,8	107,4	102,4	106,1

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

Der spezifische Energieverbrauch sank 2004 auf 28,7 kWh je Dezitonne (Tabelle 2.4). Damit wurde das für 2005 angestrebte Ziel, den spezifischen Verbrauch auf 29 kWh/dt zu reduzieren, im Jahr 2004 erreicht. Resultat der Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs sowie des Rückgangs der Rübenverarbeitung war eine Senkung der absoluten CO_2–Emissionen von 4,6 Mill. t im Jahr 1990 auf 2,2 Mill. t im Jahr 2004 (Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3
Produktion und CO_2-Emissionen der Zuckerindustrie
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen, Mill. t	4,64	2,52	2,35	2,35	2,21	2,16	2,02	2,23
Minderung in %		45,7	49,4	49,4	52,4	53,4	56,5	51,9
Produktion, Mill. t	30,5	26,2	25,6	27,9	24,8	26,8	23,7	27,2
Minderung in %		14,1	16,1	8,5	18,7	12,1	22,3	10,8

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

2.6 Ursachenanalyse

Eine, wenn auch nicht die wesentliche Ursache für die Minderung der Emissionen, ist der Rückgang der Produktion, die vor allem zwischen 1990 und 1995 deutlich sank. Danach schwankte die Produktion mehr oder weniger um einen Durchschnittswert von 26 Mill. t (Tabelle 2.3). Die folgende hypothetische Rechnung macht deutlich, dass die CO_2-Emissionen im Jahr 1995 um etwa 400 000 t über den tatsächlichen Emissionen von 2,5 Mill. t gelegen hätten, wenn das Produktionsniveau von 1990 hätte gehalten werden können. Die Multiplikation des 1990er Produktionswertes von 30,5 Mill. t mit 96 kg CO_2/t, dem spezifischen Emissionswert des Jahres 1995, ergibt eine fiktive Emissionsmenge von rund 2,9 Mill. t, die rund 400 000 t über dem tatsächlichen Emissionswert liegt.

Die entscheidende Determinante für den Rückgang der spezifischen CO_2-Emissionen – und damit auch der absoluten Emissionen – ist die Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs. Dieser reduzierte sich in der ersten Hälfte der 1990er Jahre um rund ein Drittel, von 49,1 auf 32,6 kWh/dt (Tabelle 2.4). Eine ungefähre Abschätzung der Auswirkungen dieser Verbesserung auf Energieverbrauch und Emissionen ergibt die folgende hypothetische Betrachtung: Der Energieverbrauch des Jahres 1995 hätte 46,3 PJ betragen, wäre also um rund 50 % über dem tatsächlichen Wert von 30,7 PJ gelegen, wenn der spezifische Energieverbrauch des Basisjahres von 49,1 kWh/dt auch 1995 erforderlich gewesen wäre, da der spezifische Verbrauch 1990 rund 50 % höher als 1995 war. In diesem Fall wäre auch der CO_2-Ausstoß um 1,28 Mill. t höher gewesen als der effektive Ausstoß von 2,52 Mill. t (Tabelle 2.3). Der Wert von 1,28 Mill. t CO_2 ergibt sich aus der Multiplikation des zusätzlichen hypothetischen Energieverbrauchs von 15,6 PJ mit der 1995er CO_2-Intensität, das heißt der Emissionen pro Einheit eingesetzter Energie (Tabelle 2.4).

Tabelle 2.4
Entwicklung von Energieverbrauch, Produktion und CO_2-Emissionen pro Energieeinheit in der Zuckerindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Energieverbrauch, PJ	53,9	30,7	30,2	28,9	27,2	28,2	25,5	28,1
Minderung in %		43,0	44,0	46,4	49,5	47,7	52,7	47,9
Spez. Verbrauch, kWh/dt	49,1	32,6	32,8	28,9	30,4	29,3	29,9	28,7
Minderung in %		33,6	33,2	41,1	38,1	40,3	39,1	41,5
CO_2-Intensität, kg/GJ	86,2	82,1	77,8	81,3	81,3	76,6	79,2	79,4

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

Die hohe Steigerung der Energieproduktivität zwischen 1990 und 1995 ist zu einem großen Teil auf die vereinigungsbedingten Restrukturierungen in Ostdeutschland, das heißt sowohl auf die Stilllegung von Zuckerfabriken als auch dem kapitalintensiven Aufbau neuer, moderner Anlagen in den neuen Bundesländern, zurückzuführen. Bis 1995 konnte der spezifische Einsatz dort von 90 kWh/dt auf 31 kWh/dt um 65,6 % gesenkt werden, während er in den alten Bundesländern zwischen 1990 und 1995 nur um 4,5 % von 35,6 kWh/dt auf 34 kWh/dt verringert werden konnte (Buttermann, Hillebrand 2002: 176-179). In der zweiten Hälfte der neunziger Jahre blieb der spezifische Energieverbrauch in etwa konstant. Erst ab dem Jahr 2000 gelang es, ihn deutlich weiter zu senken auf 28,7 kWh/dt im Jahr 2004 (Tabelle 2.4).

Auch hier sollen durch eine hypothetische Berechnung die durch die Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs ausgelösten Energieeinsparungen und Emissionsminderungen abgeschätzt werden. Der Energieverbrauch des Jahres 2004 hätte 32,1 PJ betragen und damit um 4 PJ bzw. gut 14 % über dem tatsächlichen Energieverbrauch gelegen, wenn der spezifische Energieverbrauch des Jahres 1999 von 32,8 kWh/dt gegolten hätte. In diesem Fall wäre auch der CO_2-Ausstoß um 315 000 t höher gewesen als der effektive Ausstoß von 2,23 Mill. t. Dieser Wert ergibt sich durch die Multiplikation des zusätzlichen hypothetischen Energieverbrauchs von 3,8 PJ mit den CO_2-Emissionen pro Einheit eingesetzter Energie von 79,4 kg/GJ des Jahres 2004 (Tabelle 2.4).

Meteorologische Bedingungen beeinflussen den spezifischen Energieverbrauch der Zuckerindustrie in erheblicher Weise. So beeinflussen die Witterungsbedingungen den Umfang des Schmutzanhangs der Rüben und bestimmen so die Höhe des Energieeinsatzes bei der Rübenvorbereitung. Der Hintergrund ist: Ein witterungsbedingt erhöhter Erdanhang an den Rüben führt zu Unterbrechungen im Produktionsprozess und somit zu einem vermehrten Energiebedarf. Die Witterung beeinflusst zudem die Qualität der Rüben, vor allem den Gehalt an Zucker und störenden Begleitstoffen (VdZ 2004). Im Jahr 2003 führten nach Angaben des VdZ der strenge Frost nach der Aussaat und der mehrere Wochen anhaltende trockene heiße Sommer zu einer geringeren Zuckerausbeute bei hohem Energiebedarf. Dies wirkte sich negativ auf den spezifischen Energieverbrauch aus (VdZ 2006: 3). 2004 war die Vegetationsperiode durch viel Regen gekennzeichnet, wodurch die Zuckerausbeute bedeutend günstiger war. Es wurden mit 27,2 Mill. t deutlich höhere Erträge erzielt. Jedoch blieb aufgrund des feuchtigkeitsbedingten Erdanhanges der Energiebedarf ebenfalls hoch (VdZ 2006: 3).

Der spezifische CO_2-Ausstoß ging von 1990 bis 1995 um 36,8 % zurück, von 152 auf 96 kg/t (Tabelle 2.2). Die Minderungsrate des spezifischen Energieverbrauchs betrug in diesem Zeitraum 33,6 % (Tabelle 2.4), und war somit lediglich um 3,2 Prozentpunkte geringer als die des CO_2-Ausstoßes. Das deutet darauf hin, dass durch Änderungen des Energiemix kein sehr großer Beitrag zur Reduktion der Emissionen erreicht werden konnte. Dies zeigt sich auch an den CO_2-Emissionen pro Einheit eingesetzter Energie, deren Wert sich zwischen 1990 und 1995 nicht sehr stark verringerte. Der Wert fiel von 86,2 auf 82,1 kg/GJ (Tabelle 2.4). Danach sind mit Ausnahme der Jahre 1999 und 2002 keine stärkeren Veränderungen mehr festzustellen.

In den Jahren 1999 und 2002 lagen die CO_2-Emissionen pro Einheit eingesetzter Energie mit 77,8 und 76,5 kg/GJ vergleichsweise niedrig. Die Ursache war in beiden Jahren dieselbe: Kohlenstoffreiches schweres Heizöl mit einem CO_2-Emissionsfaktor von 78 kg/GJ wurde durch kohlenstoffarmes Erdgas mit einem CO_2-Faktor von 56 kg/GJ in erheblichem Maße substituiert. 1999 stieg der Einsatz des Erdgases von 5 PJ auf 11,7 PJ an, um im nächsten Jahr wieder auf knapp 7 PJ zu sinken (Tabelle 2.5). Im Gegenzug fiel der Verbrauch an schwerem Heizöl von 1998 auf 1999 von 14,2 PJ auf 8 PJ. Dies gilt ebenfalls für das Jahr 2002, in dem der Erdgaseinsatz zulasten des schweren Heizöls auf 11,9 PJ stieg. Der mit 79,2 kg/GJ und 79,4 kg/GJ ebenfalls eher niedrige Wert 2003 bzw. 2004 ist auf den vergleichsweise hohen Anteil des Erdgases am Energieverbrauch in diesen Jahren zurückzuführen.

Tabelle 2.5
Veränderungen des Energiemix der Zuckerindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohlen	7,3	2,6	2,9	3,0	2,8	2,6	2,5	2,5
Steinkohlenkoks	2,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,5	1,3	1,4
Rohbraunkohlen	11,9	2,4	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	2,3
Br.briketts & –koks	5,9	1,7	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	2,8
Braunkohlenstaub		2,4	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,6
Schweres Heizöl	13,8	14,2	8,0	11,3	11,2	6,4	8,2	8,5
Leichtes Heizöl	0,6	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2
Erdgas	10,2	5,1	11,7	6,9	6,0	11,9	8,6	9,8
Fossile Energieträger	51,9	30,5	30,7	29,2	27,3	28,3	26,3	29,1
Nettofremdstrom	2,0	0,2	-0,5	-0,3	-0,1	-0,0	-0,8	-1,0
Verbrauch insgesamt	53,9	30,7	30,2	29,0	27.2	28,3	25,5	28,1

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

Die Schwankungen beim Einsatz insbesondere dieser zwei Energieträger hängen laut VdZ (2004: 2) von den jeweiligen relativen Energiepreisen ab, das heißt davon, welcher Energieträger zum jeweiligen Zeitpunkt als wirtschaftlich betrachtet wird. Von 1990 bis 1995 spielte hingegen der Bedeutungsverlust der kohlenstoffreichen Energieträger Steinkohle und vor allem Braunkohle im Zuge der Wiedervereinigung die ausschlaggebende Rolle für den Rückgang des CO_2-Emissionsfaktors pro Energieeinheit (Tabelle 2.5).

2.7 Maßnahmen im Einzelnen

Wie in früheren Jahren führte die Zuckerindustrie auch 2003 und 2004 eine Vielzahl anlageseitiger Änderungen und Verfahrensoptimierungen durch, um die Effizienz der Produktionsprozesse zu steigern. Dabei stiegen in diesen beiden Jahren die Investitionen gegenüber 2001 und 2002 deutlich an (Tabelle 2.6). Dies spiegelt sich auch im Verhältnis von Investitionen zu Umsatz, der so genannten Investitionsquote, wider, die 2003 und 2004 rund 4,7 % betrug.

Tabelle 2.6
Investitionen in der Zuckerindustrie
1995 bis 2004

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Investitionen, in Mill. €	231	122	160	134	125	146	153
Investitionsquote	6,3	3,8	5,0	3,9	3,8	4,7	4,7

Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.2.1. Investitionsquote: Investitionen/Umsatz.

Durch diese Änderungen gelang es ebenfalls, die Energieeinsparung sowie die Minderung an CO_2-Emissionen weiter zu verbessern. Die Zuckerindustrie nennt in ihrem Fortschrittsbericht Beispiele für entsprechende Projekte, die in den Berichtsjahren umgesetzt wurden. Hierzu zählen beispielsweise Optimierungen im Bereich der Pressen, der Verfahrensstationen und der Regelungstechnik. Die im Bericht aufgeführten technischen Einzelmaßnahmen belegen Investitionen mit ihren Auswirkungen auf CO_2-Emissionen. Von diesen werden, gemessen an der Investitionshöhe und dem Ausmaß der CO_2-Minderung, die Bedeutendsten in der Übersicht 2.2 ausgewiesen. Die Investitionsbeispiele summierten sich für das Jahr 2003 auf 29,53 Mill. €, die zu einer Minderung des CO_2-Ausstoßes von rund 13 000 t führten. Im Jahr 2004 waren es 12,5 Mill. € mit einem Minderungseffekt von 12 950 t CO_2.

Übersicht 2.2
Ausgewählte CO_2-Minderungsmaßnahmen der Unternehmen in der Zuckerindustrie
2003 und 2004

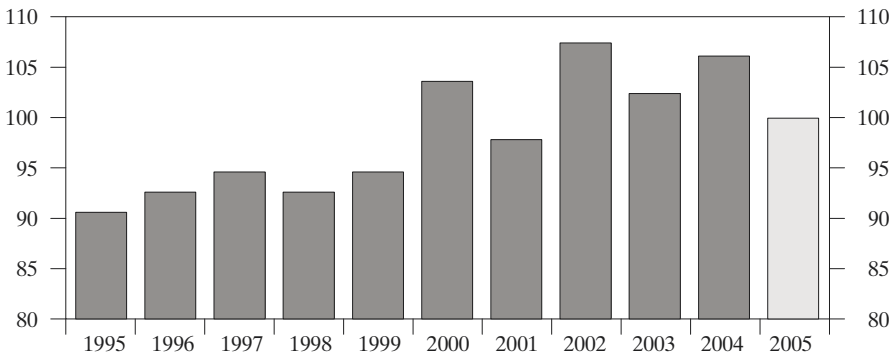
Einzelmaßnahmen in der Zuckerindustrie	Investitionen in 1 000 Euro	CO_2-Minderung in 1 000 t
Inbetriebnahme im Jahr 2003		
– Installation eines neuen Trockners	16 000	8,4
– Optimierung von Pressen	2 700	0,8
– Verstromung von Biogas im Heißdampferzeuger	130	1
– Ertüchtigung einer Druckluftstation	200	0,14
– Umbau einer Verdampfstation	1 750	0,5
– Neue Schnitzelpresse	3 000	0,7
– Optimierung der Verdampfstation	1 250	0,7
– Installation einer neuen Schnitzelpresse in einem weiteren Werk	4 500	0,6
Inbetriebnahme im Jahr 2004		
– Optimierung der Regelungstechnik	200	1,6
– Optimierung der Abpressleistung	400	0,95
– Erweiterung der Extraktion	600	1,5
– Optimierung einer Verdampfstation	5 100	3,5
– Neue Schnitzelpresse	3 100	2,4
– Optimierung der Verdampfstation in einem weiteren Werk	3 100	3,0

Nach Angaben des VdZ 2006.

2.8 Zusammenfassung und Bewertung

Der Zuckerindustrie ist es in den Jahren 2003 und 2004 gelungen, die spezifischen CO_2-Emissionen auf 85 kg/t bzw. 82 kg/t zu senken. Damit wurde das für 2005 gesetzte Mindestziel zur Minderung des spezifischen CO_2–Ausstoßes von 87 kg/t Rüben bereits seit 2000 in jedem Jahr mit Ausnahme von 2001 deutlich unterschritten. Das anspruchsvollere Ziel von 81 kg/t wurde verfehlt (Schaubild 2.3). Die Formulierung des Emissionszieles in Form einer Bandbreite für 2005 von 81 bis 87 kg/t Rüben für die spezifischen CO_2-Emissionen ermöglicht der Zuckerindustrie, im Rahmen eines vorgegebenen Ziels für den spezifischen Energieverbrauch bei unterschiedlichen Energiepreiskonstellationen den jeweils günstigeren Brennstoff einzusetzen (VdZ 2004: 2).

Schaubild 2.3
Zielerreichungsgrade für die Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen der Zuckerindustrie
1995 bis 2004



Eigene Berechnungen.

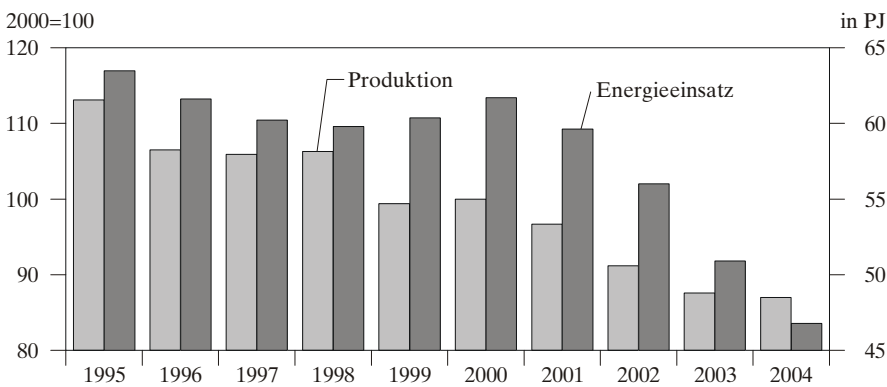
Hinter diesen Zielen steht noch der zusätzliche Anspruch, den spezifischen Energieverbrauch bis 2005 auf 29 kWh/dt zu senken. Diese Zielmarke wurde 2004 erstmalig erreicht; der spezifische Energieverbrauch betrug 28,7 kWh/dt.

Eine weitere deutliche Senkung des spezifischen Energieverbrauchs ist nach Darstellung des VdZ indessen kaum mehr fortsetzbar. Der Konzentrationsprozess der Produktion auf wenige und moderne Standorte mit relativ niedrigem spezifischem Energieverbrauch ist nahezu abgeschlossen. Von den weiterhin stattfindenden Anlagenverbesserungen können nur noch geringe Einsparungen erwartet werden. Zwar erwartet der VdZ (2004: 14-15) von weiteren Qualitätsverbesserungen der Rüben positive Auswirkungen auf den spezifischen Energieeinsatz. Sich abzeichnende neue Entwicklungstendenzen könnten die Energieeffizienz allerdings negativ beeinflussen. Im Rahmen der Konzentration auf eine geringere Zahl von Standorten hat die Zahl derjenigen Werke zugenommen, die Dicksaft einlagern. Die Verarbeitung des Dicksaftes zu einem späteren Zeitpunkt erfordert einen größeren Energieeinsatz, da der Saft erneut angewärmt werden muss.

3. Die Textilindustrie

Die mittelständisch geprägte Textil- und Bekleidungsindustrie ist nach dem Ernährungsgewerbe die größte Konsumgüterbranche in Deutschland. Seit über 30 Jahren befindet sich dieser Sektor laut Branchenfokus des BMWA (2005b) in einem irreversiblen Strukturwandel, mit dem eine Verschlechterung der Position sowohl auf dem Weltmarkt für Textilien und Bekleidung als auch im Vergleich zu anderen Branchen im Inland einhergeht. Die Zahl der Unternehmen und Beschäftigten ist ebenso rückläufig wie die Produktion. Diese sank gemäß der *Zahlen zur Textil- und Bekleidungsindustrie 2004 und 2006* des Gesamtverbandes der deutschen Textil- und Modeindustrie (Gesamtverband textil+mode 2004 und 2006) zwischen 1992 und 1999 um insgesamt rund 28 %, jahresdurchschnittlich um rund 4,6 %. Der Rückgang der Produktion, welcher auch in Schaubild 3.1 deutlich zu erkennen ist, hat sich indessen verlangsamt: zwischen 1999 und 2002 auf jahresdurchschnittlich etwa 2,8 % und bis 2004 weiter auf 2,3 % (Gesamtverband textil+mode 2006).

Schaubild 3.1
Produktion und Energieverbrauch der Textilindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und Gesamttextil 2006.

3.1 Datenbasis

Die wesentliche Datengrundlage für die im Rahmen des vorliegenden Monitoringberichtes erfolgende Berechnung der CO_2-Emissionen bildet im Falle der Textilindustrie die Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes (StaBuA/FS4/R4.1.1). Daraus sind die notwendigen detaillierten Informationen über den Energieverbrauch dieses Sektors für die Zeit ab

1995 zu entnehmen. Ab 2003 werden für den Energieeinsatz die Ergebnisse der neuen Erhebung des Statistischen Bundesamtes über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes herangezogen. Die Größenordnung des im Allgemeinen mit einer neuen Datenerhebung verbundenen Bruchs der Zeitreihe ist nicht abzuschätzen. Nach Aussage des Statistischen Bundesamts gelten die aktuellen Ergebnisse jedoch als genauer. Die hier benutzte Bezeichnung „Textilindustrie" steht für den in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes aufgeführten Wirtschaftszweig Nr. 17, Textilgewerbe. Für das Basisjahr 1990 bezieht sich der Energieverbrauch mangels Angaben für die neuen Bundesländer ausschließlich auf die alten Bundesländer. Im Jahr 1990 setzte die westdeutsche Textilindustrie 89,4 PJ Energie ein und emittierte 5,8 Mill. t CO_2 (Buttermann, Hillebrand 2002: 165).

Aufgrund der Vielzahl der Produkte sowie deren Heterogenität kann im Unterschied zu anderen Industriebereichen die Beschreibung der Entwicklung des Outputs der Textilindustrie nicht mit Hilfe von Mengenangaben erfolgen. Deshalb wird hier auf einen Produktionsindex zurückgegriffen, der vom Gesamtverband deutschen der Textil- und Modeindustrie ermittelt wird (Gesamtverband textil+mode 2004: 4 und 2006: 5). Dieser stellt in seinem Fortschrittsbericht auch die Informationen zu den im Zeitraum 2003 und 2004 vollzogenen Maßnahmen zur CO_2-Minderung zur Verfügung (Gesamtverband textil+mode 2007).

3.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Einhergehend mit dem anhaltenden Produktionsrückgang sank der Energieverbrauch der Textilindustrie: Von 1990 bis 1999 reduzierte sich dieser von rund 89,4 PJ auf 60,4 PJ, also um etwa 32,5 %. Etwas weniger stark als die Produktion verringerte sich der Energieverbrauch zwischen 1999 und 2002: Er nahm um etwa 7,2 % auf ca. 56 PJ ab. Bis 2004 wiederum war der Rückgang mit 16,5 % auf knapp 48 PJ deutlich ausgeprägter. Die offensichtliche hohe Korrelation zwischen Produktion und Energieverbrauch spiegelt sich in einem Korrelationskoeffizienten von 86,9 wider. Es ist somit zu erwarten, dass der Energieverbrauch – und damit auch die CO_2-Emissionen – bei fortschreitendem Produktionsrückgang auch weiterhin fallen werden.

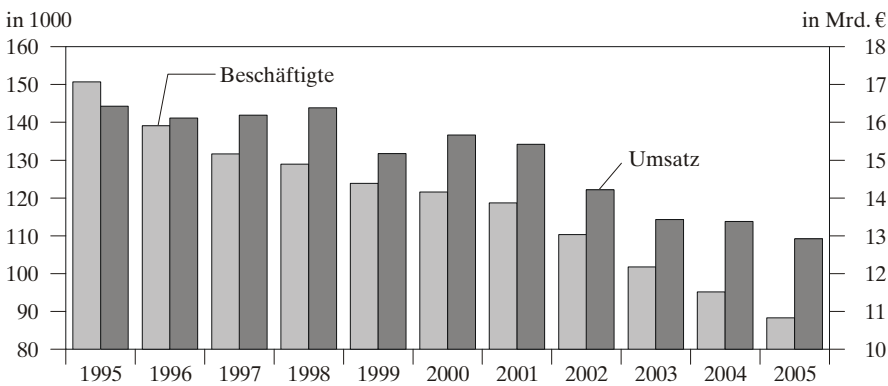
Nicht zuletzt aufgrund des anhaltenden Produktionsrückgangs gehört die Textilindustrie nicht zu den Industriesektoren mit ausgesprochen hohem Energieverbrauch: Der Anteil der Textilindustrie am gesamten Energieeinsatz des Verarbeitenden Gewerbes lag 2004 bei 1,6 %.

Zieht man das Verhältnis von Energieeinsatz und Produktionswert als Indikator für Energieintensität heran, so ist die Textilindustrie mit 4,1 MJ/€ im

Jahr 2004 auch nicht zu den energieintensivsten Sektoren zu zählen. Zum Vergleich: Für die Papierindustrie lautete der entsprechende Wert im selben Jahr 15,1 MJ/€, für die Zementindustrie 60 MJ/€. Dennoch wird die Textilindustrie vor allem aufgrund der für die Herstellung von Textilien notwendigen Reinigungsvorgänge und des Veredlungsprozesses eher zu den energieintensiven Industriezweigen gezählt (VIK 1998: 44).

Der jährliche Umsatz der Textilindustrie schwankte zwischen 1995 und 1998 um etwa 16 Mrd. € (Schaubild 3.2). Seit 1999 entwickelte sich der Umsatz rückläufig bis auf 12,9 Mrd. € im Jahre 2005. In diesem Jahr existierten in der deutschen Textilindustrie noch 981 Betriebe mit rund 88 300 Beschäftigten. Von 1995 bis 2005 hat sich damit die Zahl der Arbeitskräfte um nahezu die Hälfte reduziert. (Schaubild 3.2).

Schaubild 3.2
Beschäftigung und Umsatz der Textilindustrie
1995 bis 2005



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

3.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Die Produkte der Textilindustrie lassen sich im Wesentlichen drei Produktbereichen zuordnen, den Bekleidungstextilien, den Heim- und Haustextilien sowie den technischen Textilien. Der Ausdruck „technische Textilien“ stellt einen Sammelbegriff für alle Industrietextilien und Funktionsbekleidungen dar, die nicht zu den allgemeinen Bekleidungstextilien zählen. Der Anteil der technischen Textilien an der deutschen Textilproduktion beträgt laut Branchenfokus des BMWA (2005b) mittlerweile fast 45 %.

Der Grundstoff für alle Textilprodukte ist die Faser. Weltweit wurden 1998 etwa 50 Mill. t Fasern für textile Verwendungszwecke gewonnen (Meyer 2001: 85). Bei Textilfasern unterscheidet man zwischen Kunst- und Naturfa-

sern. Unter Naturfasern werden Pflanzenfasern wie Baumwolle, Flachs oder Jute subsumiert sowie Tierfasern, die zur Herstellung von Wolle, Seide oder Kaschmir gebraucht werden. Kunstfasern basieren auf der Rohölfraktion Naphtha. Mittels Polymerisations-, Polykondensations- und Polyadditionsverfahren werden daraus unter Einsatz fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdgas und Erdöl Polymere hergestellt, welche den Ausgangsstoff für die unterschiedlichen Kunstfasern wie etwa Polyester bilden. Im Jahr 2003 machten Chemiefasern mehr als 80 % des Rohstoffverbrauchs der deutschen Textilindustrie aus, Baumwolle rund 12 % (Gesamtverband textil+mode 2004: 11).

Die Wertschöpfungskette der Textilindustrie, die so genannte „Textile Kette", beginnt bei der Erzeugung von Garn aus Textilfasern und endet bei der Textilveredelung. In manchen Betrieben stellt die Konfektion, d.h. das Zuschneiden der Stoffe und das Zusammennähen zu fertigen Textil- und Bekleidungsprodukten, einen weiteren, jedoch wenig energieaufwendigen Verarbeitungsschritt dar (VIK 1998: 45). Hingegen ist die Herstellung der Fasern nicht Teil der Textilen Kette, ebenso wenig wie der Handel mit fertig konfektionierten Produkten (Kruska et al. 2001: 16). Daher wirkt sich der wohl auch in Zukunft weiter steigende Anteil der Kunstfasern – deren Herstellung deutlich mehr Energie verbraucht als die von Naturfasern[3] – an der eingesetzten Menge an Fasern nicht erhöhend auf den Energieverbrauch aus.

Die Wertschöpfungskette der Textilindustrie wird häufig in drei Bereiche unterteilt: Fadenerzeugung, Flächenerzeugung sowie Textilveredelung. Bei der Fadenerzeugung werden die Fasern ausgerichtet, zu Faserbändern zusammengeführt, verstreckt und versponnen. Mehrere Einzelgarne lassen sich bei Bedarf zu Zwirnen zusammenfügen. Ein Gewebe entsteht durch das rechtwinklige Verkreuzen von Kett- und Schussfäden. Um die Garne für den Webprozess geschmeidiger und widerstandsfähiger zu machen, werden sie vorher geschlichtet. Hierfür kommen natürliche Stoffe wie Stärke oder auch synthetische Polymere zum Einsatz. Anstelle des Webprozesses können textile Flächen auch durch Stricken, Wirken oder Flechten entstehen. Zunehmende Bedeutung gerade für den Bereich der technischen Textilien hat die direkte Erzeugung von Filzen und Vliesen aus Fasern, bei der die Garnbildung umgangen wird. Für die Mehrzahl dieser Prozesse werden Hilfsmittel eingesetzt, um die Verarbeitungseigenschaften zu verbessern.

[3] Im Vergleich zum Anbau von Baumwolle erfordert die Herstellung von Kunstfasern einen mehr als dreifachen Energieaufwand. Für Polyester wird der Energieaufwand auf etwa 140 GJ/t Faser geschätzt, was einem Rohöläquivalent von 3,35 t entspricht. Die weltweite Polyesterproduktion benötigt rund 2 % der jährlichen Rohölförderung (Meyer 2001: 89).

Sowohl die erzeugten Garne als auch die Flächengebilde werden gebleicht, gewaschen, gefärbt, bedruckt und veredelt. Auf welcher Stufe diese Prozesse jeweils ablaufen, hängt von den gewünschten Effekten und den Einsatzzwecken ab. Bei der Vorbehandlung, also dem Waschen, das häufig in Kombination mit dem Bleichprozess einstufig durchgeführt wird, gelangen Verunreinigungen der Faser und die eingesetzten Hilfsmittel ins Abwasser. Ein guter Waschwirkungsgrad ist entscheidend, um die Textilien für den anschließenden Färbe- und Veredlungsprozess vorzubereiten.

Während der Anteil der Energiekosten mit 2,5 % des Bruttoproduktionswertes der Textilindustrie unbedeutend erscheint, gibt es einige Prozessschritte, vor allem die Textilveredelung, die mit relativ hohem Energieverbrauch durchaus Möglichkeiten zur Kostensenkung bieten (Kruska et al. 2001: 11, 12). Das Verhältnis von Energiekosten zu Umsatz liegt in der Textilveredelung oftmals über 10 % (Meyer et al. 2000b: 532). Insbesondere ist das Imprägnieren von stofflichen Flächen zur Verwendung bei technischen Textilien vergleichsweise energieintensiv. Deren Anteil an der Gesamtproduktion wird vermutlich auch in Zukunft weiter steigen und wird somit der Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs in der Textilindustrie entgegenstehen.

Die Bleichvorgänge, Wasch- und Färbeprozesse benötigen vor allem thermische Energie, da sie typischerweise im Nassverfahren durchgeführt werden. Thermische Energie wird überwiegend in Form von Niedertemperaturwärme zur Erwärmung von Prozesswasser auf Temperaturen von 60°C bis 130°C sowie für Trocknungsprozesse benötigt (Kruska et al. 2001: 12). Mit zu den wesentlichen Wärmeverbrauchern bei der Textilveredelung zählen die Spannrahmen, die zur Trocknung und Formgebung der Gewebe eingesetzt werden. Der dafür erforderliche Dampf wird nur in den größeren Unternehmen in KWK-Anlagen erzeugt (Buttermann, Hillebrand 2002: 167). Die meisten neueren Spannrahmen werden direkt mit Erdgas beheizt, die indirekt mit Dampf beheizten Spannrahmen sind rückläufig.

Beim Spinnen und Weben wird vor allem elektrische Energie für die Elektromotoren zahlreicher Maschinen benötigt, etwa für Webstühle. Bei der Verarbeitung von Naturmaterialien werden beim Weben zudem hohe Anforderungen an die Lufttemperatur und -feuchtigkeit gestellt, was den Einsatz teilweise aufwendiger Klima- und Lüftungsanlagen erforderlich macht (Kruska et al. 2001: 13).

3.4 Die Selbstverpflichtung

In der aktuell gültigen Selbstverpflichtungserklärung des Gesamtverbandes der deutschen Textil- und Modeindustrie verpflichtet sich dieser, die spezifi-

schen Emissionen der sechs Kioto-Gase in der gesamtdeutschen Textilindustrie bis 2012 um 35 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 zu senken (Übersicht 3.1). Zu den sechs so genannten Kioto-Gasen zählen neben CO_2 das klimapotente Lachgas (Distickstoffoxid, N_2O) sowie Methangas (CH_4). Als Zwischenziel sollen die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 28 % verringert werden.

Übersicht 3.1
Selbstverpflichtung der Textilindustrie

Ziele	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um 28 % bis 2005 und aller Kioto-Gase um 35 % bis 2012.
Basisjahr	1990

Angaben aus Gesamtverband textil+mode (2005).

3.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Die Textilindustrie ist ihrem Ziel, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 28 % gegenüber 1990 zu verringern, deutlich näher gekommen, auch wenn sie es wahrscheinlich nicht erreichen wird. 2004 konnte gegenüber 2002 mit einem Zielerreichungsgrad von 40 % eine deutliche Verbesserung erzielt werden (Tabelle 3.1). Während die spezifischen Emissionen nach dem leichten Anstieg zwischen 1999 und 2002 verglichen mit 1990 sogar eine Zunahme zeigten, lag die entsprechende Minderungsrate 2004 bei 11,3 %.

Tabelle 3.1
Index der spezifischen CO_2-Emissionen und Zielerreichungsgrade für die Textilindustrie
1990 bis 2004

Ziel: - 28 % bis 2005	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spezifische Emissionen	100,0	94,7	99,9	100,9	101,1	100,6	95,9	88,7
Minderung in %	-	5,3	0,1	-0,9	-1,1	-0,6	4,1	11,3
Zielerreichungsgrad in %	-	18,9	0,4	-3,2	-3,9	-2,1	14,6	40,4

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und Gesamtverband textil+mode (2007).

Noch stärker ist zwischen 1999 und 2002 der spezifische Energieverbrauch angestiegen (Tabelle 3.2). Dieser war 2002 etwa 4,1 % höher als 1990. Zwischen 2002 und 2004 wiederum sank er ähnlich wie die spezifischen Emissionen um 12,5 % und lag damit um 8,9 % niedriger als 1990. Zugleich sank der absolute Verbrauch von 1990 bis 2002 um 33,4 PJ bzw. 37,4 %. Der absolute Verbrauch reduzierte sich 2004 gegenüber 1990 um 47,7 %. Im Vergleich dazu verzeichneten die CO_2-Emissionen von 1990 bis 2004 einen etwas höheren Rückgang, um 49,1 % bzw. rund 2,85 auf 2,95 Mill. t.

Hinsichtlich der Reduktion des Energieverbrauchs muss zudem beachtet werden, dass der Wert von 89,4 PJ für das Jahr 1990 nur den Energieverbrauch der Textilindustrie in den *alten* Bundesländern widerspiegelt

(Tabelle 3.2). Da die ostdeutsche Textilindustrie sicherlich eine nicht ganz unbedeutende, wenngleich unbekannte Menge an Energie benötigt hat, hat das Ignorieren dieses Betrages zur Folge, dass die Verringerung des Energieverbrauchs gegenüber 1990 in Wirklichkeit als bedeutend größer einzuschätzen ist.

Tabelle 3.2
Entwicklung des Energieverbrauchs und der CO_2-Emissionen der Textilindustrie
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spezifischer Verbrauch	100,0	95,1	100,9	104,6	100,5	104,1	98,5	91,1
Minderung in %		4,9	-0,9	-4,6	-0,5	-4,1	1,5	8,9
Energieverbrauch in PJ	89,4	63,5	60,4	61,7	59,6	56,0	50,9	46,8
Minderung in %	-	29,0	32,4	31,0	33,3	37,4	43,1	47,7
Emissionen in Mill. t	5,80	4,10	3,80	3,86	3,74	3,51	3,21	2,95
Minderung in %	-	29,3	34,5	33,4	35,5	39,5	44,7	49,1

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und Gesamtverband textil+mode (2006).

3.6 Ursachenanalyse

Offenkundige Ursache für den starken Rückgang des absoluten Energieverbrauchs sowie der CO_2-Emissionen ist der andauernde Rückgang der Textilproduktion in Deutschland. Zur Zunahme des spezifischen Energieverbrauchs in den Jahren 1999 bis 2002 haben insbesondere Verschiebungen im Produktportfolio der Textilindustrie beigetragen. Technische Textilien, deren Herstellung überdurchschnittlich energieintensiv ist, gewinnen laut Fortschrittsbericht der Textilindustrie immer mehr an Bedeutung (Gesamtverband textil+mode 2005: 6). 2003 und 2004 gelang es, durch Energieeinsparmaßnahmen diesen Effekt zu kompensieren und den spezifischen Verbrauch gegenüber 2002 um 12,5 % zu senken.

Der Rückgang des absoluten Energieverbrauchs spiegelt sich bei allen in der Textilindustrie verwendeten Energieträgern wider, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß (Tabelle 3.3): Energieträger mit hohem Emissionskoeffizienten wie Braunkohle und Braunkohlenprodukte sowie schweres Heizöl hatten 1990 einen Anteil von 10,2 % am Energieverbrauch. Sie spielten bereits 1995 mit einem Anteil von 4,5 % kaum noch eine Rolle. 2004 wurden sie mit Ausnahme von schwerem Heizöl nicht mehr eingesetzt. Verglichen damit ist der Rückgang der Steinkohle und Steinkohleprodukte mit etwa 62 % als „moderat“ zu bezeichnen.

Der Einsatz von Erdgas und Elektrizität ist um 44 % bzw. 36 % vergleichsweise wenig zurückgegangen Dies impliziert einen Anstieg des Anteils am Energiemix beim Nettofremdstrombezug von 50,5% im Jahr 1990 auf

61,9 % im Jahr 2004 und beim Erdgas von 27,9 % auf 30 %. Diese Substitutionen der Energieträger trugen dazu bei, dass der Rückgang der absoluten CO_2-Emissionen zwischen 1990 und 2004 etwas höher ausfiel als der des Energieverbrauches. Denn: Erdgas und Strom weisen mit 55,7 kg CO_2/GJ bzw. 68,8 kg CO_2/GJ geringere CO_2-Emissionsfaktoren auf als Braunkohle, Steinkohlenkoks oder schweres Heizöl, deren Emissionsfaktoren mit 99,7, 108,2 respektive 78,6 kg CO_2/GJ weitaus höher liegen.

Tabelle 3.3
Veränderungen des Energiemix der Textilindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohle	0,0	2,6	1,7	1,4	1,5	1,3	1,3	1,3
Steinkohlenbriketts	3,4	-	-	-	-	-	-	-
Steinkohlenkoks	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Rohbraunkohlen	0,3	0,5	0,1	0,0	-	-	-	-
Braunkohlenbrikett	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Schweres Heizöl	8,0	2,1	1,2	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6
Leichtes Heizöl	4,8	4,6	3,2	2,8	2,5	2,5	2,3	1,8
Erdgas	25,0	18,7	20,7	21,2	19,8	18,7	14,8	14,0
Kokereigas	1,9	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	-	-
Primärbrennstoffe*	44,2	29,2	27,3	26,6	25,0	23,7	20,4	17,8
Nettofremdstrombezug	45,2	34,3	33,1	35,1	34,6	32,3	30,5	28,9
Energieverbrauch	89,5	63,5	60,4	61,7	59,6	56,0	50,9	46,7

Nach Angaben des Verbandes im Rahmen des Monitoring.
*enthält weitere, nicht getrennt ausgewiesene Mineralölprodukte wie z.B. Flüssiggas in Höhe von 1,5 PJ für 2003 und 0,1 PJ für 2004.

3.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Ausgangspunkt für viele in den Jahren 2003 und 2004 laut Fortschrittsbericht der Textilindustrie durchgeführten Maßnahmen zur Energieeinsparung waren wie bisher Vorschläge des von Kruska et al. (2001) erstellten Leitfadens „Rationelle Energienutzung in der Textilindustrie“ (Gesamtverband textil+mode 2007: 1). Dort finden sich zahlreiche Strom- und Dampfeinsparmaßnahmen für die einzelnen Stufen des Produktionsprozesses, nach Kosten sowie nach Einsparpotenzialen unterteilt (Kruska et al. 2001: 128ff). Dieser Leitfaden wurde von der Arbeitsgemeinschaft Textilindustrie[4] im

[4]Der Arbeitsgemeinschaft Textilindustrie gehören die Institute für Textiltechnik und für Technische Thermodynamik der RWTH-Aachen, die Unternehmensberatungen Eutech GbR

Rahmen eines von der Landesinitiative Zukunftsenergien Nordrhein-Westfalens geförderten Leitprojekts angefertigt, dessen Ziel die Erstellung von *Branchenenergiekonzepten* zur Verbesserung der Energieeffizienz in ausgewählten Industriesektoren ist. Spezielle Informationsveranstaltungen der beteiligten Verbände zu diesem Themenbereich haben in vielen Betrieben zur Reflektion über den eigenen Energieverbrauch geführt und entsprechende Sparmaßnahmen ausgelöst (Gesamtverband textil+mode 2007: 1).

Der Schwerpunkt des Energiebedarfs der Textilindustrie liegt in der Bereitstellung von Niedertemperaturwärme zur Aufheizung von Prozesswasser, für den Einsatz in dampfbeheizten Maschinen sowie durch den Betrieb direkt mit Gas beheizter Spannrahmen. Prozesswärme wird in nahezu allen Bereichen der Textilverarbeitung benötigt. Das Hauptaugenmerk der rationellen Energienutzung liegt somit auf der Nutzung der Restwärme, insbesondere der Prozessabwässer sowie der Wärmerückgewinnung am Spannrahmen. Das Waschen bei der Garn- und Flächenveredelung dient dem Entfernen von Schmutz, Faserrückständen usw. Generell kann hier mit der Reduzierung des Wasserverbrauchs auch Energie eingespart werden, da eine nahezu proportionale Beziehung zwischen Wasser- und Energieverbrauch besteht (Kruska et al. 2001: 71). Hochleistungsbreitwaschstraßen haben zusätzliche energierelevante Vorteile, die in der sehr guten Wasserausnutzung sowie einer genauen Temperaturführung bestehen (Kruska et al. 2001: 73). Darüber hinaus existieren Einsparpotenziale bei den elektrischen Antrieben der Maschinen und den Klima- und Lüftungssystemen (VIK 1998: 47).

Bei den neueren Spannrahmen ist durch eine gleichmäßigere Verteilung der Luft eine effektivere und damit energiesparende Trocknung möglich. Die Antriebe bestehen vielfach aus Servomotoren oder Motoren mit einem Frequenzumrichter. Eine PC-Steuerung regelt alle Antriebe und kann je nach Prozess Anlagenteile zuschalten oder herunterfahren. Durch diese Art der Antriebs- und Regeltechnik wird die elektrische Energie auf den Bedarf abgestimmt und damit der Verbrauch reduziert. Eingebaut ist häufig eine Wärmerückgewinnung. Dabei wird die im Thermoprozess entstehende und in der Abluft enthaltene Abwärme über die in die Spannrahmenkammer integrierten Abluftkanäle direkt in den Luft/Luft-Wärmetauscher geleitet. Auf diese Weise wird die Frischluft bereits vorgewärmt, was zur Energieeinsparung beiträgt.

---

und Infas Enermetic AG sowie mehrere Industrieverbände und Unternehmen der Textilindustrie an. Die Arbeitsgemeinschaft wurde im Jahre 1998 ins Leben gerufen (Meyer et al. 2000a).

Eine Umfrage des Verbandes im Jahr 2007, an der 40 Unternehmen der Textilindustrie mit Schwerpunkt Textilveredler teilgenommen haben, zeigte für 2003 und 2004 eine Vielzahl von Maßnahmen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf den Energieverbrauch und damit die CO_2-Emissionen. Sie umfassten ein breites Spektrum: angefangen von der Errichtung neuer bzw. dem Austausch von Produktionsanlagen über Optimierungen und Wärmerückgewinnung bis hin zu kleineren, schnell umsetzbaren und kostengünstigen Maßnahmen wie die Isolierung von Rohrleitungen und Apparaturen oder die Abschaltung von Heizungen außerhalb der Betriebszeiten (Übersicht 3.2) (Gesamtverband textil+mode 2007: 1ff).

Übersicht 3.2
Ausgewählte Maßnahmen aus Betrieben der Textilindustrie zur CO_2-Reduktion
2003 und 2004

Maßnahmen	Inbetrieb-nahme	Investitionen in Tsd. €	CO_2–Einsparung in t/Jahr
Neubeschaffung oder Austausch von Anlagen			
Neuer Krumpftrockner	2003	2 090	255
Neue Kompressoren	2003	80	2
Erneuerung Druckluftsystem	2003	28	40
Neue Produktionsanlage sowie techn. u. produktorganisator. Optimierungs-maßnahmen	2003/04	3 135	4 946
Neue Wasserturbinen	2004	386	1 495
Dampfkesselanlage	2004	351	152
Optimierung			
Bei Planung und Steuerung	2003	k.A.	488
Stromoptimierg. im Produktionsprozess	2003	7	7
Install. eines opt. Umluftverfahrens	2004	1	182
Gasbrenner am Spannrahmen neu eingestellt	2004	3	46
Wärmerückgewinnung			
bei Abwasserentfärbungsanlage	2003	733	55
an zwei Spannrahmen	2003	68	232
Nutzung der Kompressorabwärme	2004	3	27
in einer Färberei	2004	120	273
Sonstige Maßnahmen			
Erneuerung d. Heizungsregelung	2003	6	19
Zentralsteuerung Färberei	2003	25	146
Erneuerung d. Beleuchtung	2004	54	36
Isolierung Warmwasserleitungen	2003/04	5	9
Neue Thermopenfenster	2004	12	6

Angaben aus Gesamtverband textil+mode (2007).

Optimierungsmaßnahmen wie Neueinstellungen der Gasbrenner am Spannrahmen oder die Installation verbesserter Umluftverfahren erwiesen sich bzgl. der Ergebnisse der CO_2-Minderung als auch des Verhältnisses der jährlichen CO_2-Einsparung/Investition als sehr effizient (Gesamtverband textil+mode 2007: 3). Maßnahmen an Spannrahmen sowie zur Wärmerückgewinnung wie z.B. in einer Färberei und die Nutzung von Kompressorabwärme bewirkten ebenfalls eine hohe CO_2-Einsparung. Dabei zeigte sich, dass größere Unternehmen aufgrund ihrer produktionsorganisatorischen Struktur weitaus bessere Nutzungsmöglichkeiten haben (Gesamtverband textil+mode 2007: 4).

Zwar kommt es auch durch Neuanschaffungen und Austausch von Anlagen allein aufgrund moderner, energieeffizienterer Konstruktionen zu Einsparungen beim Verbrauch. Durch relativ geringen Aufwand könnte hier nach Ansicht des Verbandes viel mehr erreicht werden, wenn direkt Möglichkeiten der Optimierung des Energieeinsatzes bei der Konstruktion einbezogen würden, wie am Beispiel der neuen Produktionsanlage in Übersicht 3.2 deutlich wird. Für neue Anlagen sind jedoch im Allgemeinen sehr hohe Investitionen mit günstigem Finanzierungsrahmen erforderlich (Gesamtverband textil+mode 2007: 3).

Die Bedeutung, die das Thema Energieeinsparung bei den Unternehmen einnimmt, zeigt sich inzwischen auch darin, dass die Unternehmen begonnen haben, Mitarbeiter zu Energiemanagern auszubilden und ein Energiemanagementsystem aufzubauen, um Einsparpotentiale zu identifizieren (Gesamtverband textil+mode 2007: 4).

Tabelle 3.4
Investitionen der Textilindustrie
1995 bis 2004

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Investitionen, in Mill. €	672	645	628	568	400	391	417
Investitionsquote (Investitionen/Umsatz)	4,1	4,3	4,0	3,7	2,8	2,9	3,1
Investitionsintensität (Investitionen in € pro Beschäftigtem)	4 461	5 208	5 167	4 788	3 628	3 842	4 383

Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.2.1.

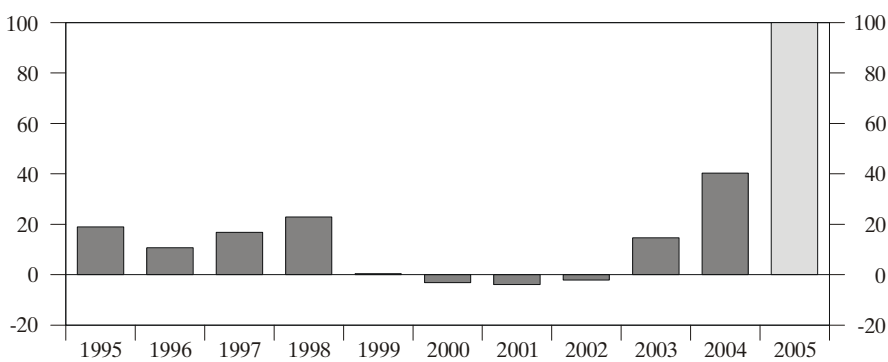
Die im Praxisleitfaden geäußerte Vermutung, dass sich viele Betriebe angesichts der durch den internationalen Wettbewerb ausgelösten Anpassungszwänge scheuen, Kapital durch Investitionen in die Energietechnik zu binden (VIK 1998: 47), dürfte auch weiterhin mit ein Grund für die aus Tabelle 3.5 ersichtlichen niedrigen Investitionen in den Jahren 2003 und 2004 sein: Die Investitionen, die von 1999 bis 2002 um 38 %, d.h. von 645 auf 400 Mill. € abgenommen hatten, blieben auch bis 2004 etwa auf diesem Niveau. Gleichzeitig ist die Investitionsquote gesunken. Seit 2002 liegt sie bei

etwa 3 % im Vergleich zu gut 4 % bis zu Beginn dieses Jahrhunderts (Tabelle 3.4).

3.8 Zusammenfassung und Bewertung

Ein Blick auf den in Schaubild 3.3 dargestellten Zielerreichungsgrad zeigt, dass die Textilindustrie ihrem Zwischenziel, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 28 % gegenüber 1990 zu verringern, in den Jahren 2003 und 2004 näher gekommen ist und mit einem Zielerreichungsgrad von 40 % eine deutliche Verbesserung erreicht wurde. Aber auch vor diesem Hintergrund erscheint das Ziel für 2012, die spezifischen Emissionen der Kioto-Gase um 35 % gegenüber 1990 zu senken, schwer erreichbar zu sein.

Schaubild 3.3
Zielerreichungsgrade für die Textilindustrie
1995 bis 2004, in %



Eigene Berechnungen.

Die starke Reduzierung der spezifischen Emissionen der Jahre 2003 und 2004 wird in den kommenden Jahren nach Ansicht des Verbandes nicht in dem Umfang fortgesetzt werden können. Zwar würden in den Unternehmen derzeit Überlegungen zur grundlegenden Umstellung der Energieversorgung und Erneuerung der KWK-Anlagen durchgeführt, die ein erhebliches Minderungspotential beinhalten. Hohe Energiepreise führten in dieser unter starkem, globalem Wettbewerbsdruck stehenden Branche derzeit zu einer derart hohen Belastung, dass das Kapital für entsprechend hohe Investitionen fehlt.

Reduktionspotential durch Veränderungen im Energiemix besteht kaum noch. Der Spielraum zur Substitution kohlenstoffreicher Brennstoffe durch das kohlenstoffarme Erdgas ist bereits sehr begrenzt: Dieses hatte 2004 einen Anteil am Energieverbrauch von etwa 30 %, der Anteil von Erdgas

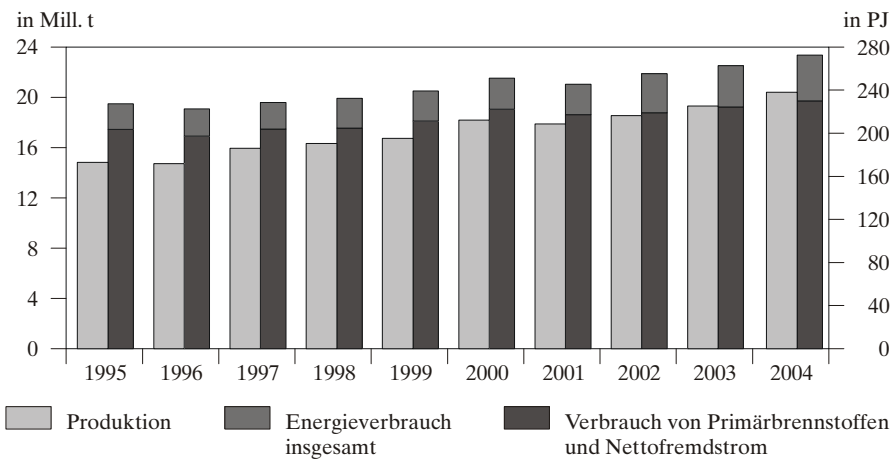
und Strom betrug zusammen mehr als 90 %. Zur Substitution kohlenstoffreicher Brennstoffe durch Erdgas verbleiben allein Steinkohle bzw. Steinkohlenkoks und Heizöl, deren Anteile 2004 aber lediglich 2,8 % bzw. 5,2 % betrugen. Der vollständige Ersatz dieser fossilen Brennstoffe durch Erdgas würde nach unseren Berechnungen bei unverändertem Energieverbrauch zu Einsparungen von lediglich rund 100 000 t CO_2 führen. Das ist kein großes Potenzial, um dadurch dem ambitionierten Ziel für 2012, die *spezifischen* Emissionen um 35 % gegenüber 1990 zu senken, wesentlich näher zu kommen.

Der zu erwartende weitere Anstieg des Anteils der Technischen Textilien an der Produktion sowie generell kleinere Produktionsgrößen, die einen überdurchschnittlichen Energieeinsatz erfordern, erschweren ebenfalls die Erreichbarkeit des Ziels. Zu beachten ist aber, dass die Verringerung des Energieverbrauchs und damit der CO_2-Emissionen gegenüber 1990 in Wirklichkeit bedeutend größer war, denn der Verbrauch und die Emissionen der Textilunternehmen der neuen Bundesländer sind nicht in den Werten für das Basisjahr 1990 enthalten.

4. Die Zellstoff- und Papierindustrie

Die besondere Bedeutung dieser Branche für die nationalen Klimaschutzziele beruht auf zwei Faktoren: dem hohen Energieverbrauch und dem dauerhaften Wachstum dieser Branche. Während der zweiten Hälfte des vergangen Jahrhunderts hat sich der Output dieses Sektors verzehnfacht (Baumgärtner, Winkler 2005: 8). Im für die Klimavereinbarung relevanten Zeitraum von 1990 bis 2004 ist die Produktion von Papiererzeugnissen um 59 % bzw. durchschnittlich 4,8 % pro Jahr gestiegen und erreichte 2004 ein Niveau von rund 20,4 Mill. t (Schaubild 4.1). Im Gegensatz zu diesem Produktionswachstum stieg der Gesamtenergieverbrauch der Branche mit durchschnittlich 2,0 % pro Jahr deutlich langsamer.

Schaubild 4.1
Produktion und Energieeinsatz in der Papierindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1. und des Verbandes Deutscher Papirfabriken e.V. im Rahmen des Monitoring. - Werte für 2003 und 2004 hochgerechnet.

Ein derartiges Wachstum ist unter Umweltgesichtspunkten nicht unerheblich, da die Produktion von Papiererzeugnissen große Mengen an Energie und Rohstoffen erfordert: Der spezifische Verbrauch an Rohstoffen erwies sich über die Zeit hinweg als nahezu konstant und liegt nach Auskunft des Verbands Deutscher Papierfabriken (VDP) bei etwa 1,16 t Rohstoffen je Tonne Output. Folglich mussten 2003 und 2004 jährlich ca. 22 Mill. t Rohstoffe, davon etwa 13 Mill. t Altpapier, zur Produktion von durchschnittlich rund 20 Mill. t Papiererzeugnissen eingesetzt werden. Der spezifische Ener-

gieeinsatz der deutschen Papierindustrie – bezogen auf den Einsatz von Primärbrennstoffen und Strom – konnte indessen zwischen 1990 und 2004 um 29,1 % reduziert werden (Tabelle 4.4).

4.1 Datenbasis

Die hier abkürzend verwendete Bezeichnung „Papierindustrie" steht für den in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes aufgeführten Wirtschaftszweig Nr. 21.1, Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Pappe und Karton. Die Verarbeitung von Papier, die unter den Wirtschaftszweigen 21.2 bis 21.9 verbucht wird, ist hingegen nicht Gegenstand des Monitorings. Die Datenbasis für die im Rahmen des vorliegenden Monitoringberichtes erfolgende Berechnung der CO_2-Emissionen umfasst zum einen Angaben zur produzierten Menge an Papier, Karton und Pappe, zum anderen Angaben zum Energieverbrauch der Branche. Die Gesamtproduktion der deutschen Papierindustrie wird durch den VDP bereitgestellt. Grundlage für den Energieverbrauch bildete bis 2002 die Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes (StaBuA/FS4/R4.1.1). Methodische und konzeptionelle Umstellungen der Energieverwendungsstatistik des Statistischen Bundesamtes haben dazu geführt, dass die Daten ab 2003 wegen einer Vielzahl von Geheimhaltungsfällen und deutlichen Abweichungen zu früheren Daten kaum noch vergleichbar sind. Aus diesem Grund wurde ab 2003 auf Energieverbrauchsdaten zurückgegriffen, die der VDP bei seinen Mitgliedern erhoben hat. Diese Erhebung repräsentiert nach Verbandsangaben rund 85 % der Produktionskapazität der deutschen Papierindustrie. Für das Monitoring werden die Erhebungsergebnisse benutzt, um damit den Energieverbrauch für die gesamte Papierproduktion in Deutschland hochzurechnen.

Die Hochrechnung des Energieverbrauchs basiert auf Angaben zu den Produktionskapazitäten und deren durchschnittlichem Auslastungsgrad, die ebenfalls vom VDP bereitgestellt wurden. Der Energiemix in den an der Erhebung des VDP beteiligten Unternehmen diente schließlich dazu, den hochgerechneten Gesamtenergieverbrauch auf die verschiedenen Energieträger umzulegen. Im Ergebnis kommt es hierbei zu einer Unterschätzung des Erdgasverbrauchs und des Fremdstromeinsatzes, da sich an der Erhebung des VDP überwiegend die größeren Hersteller beteiligt haben. Kleinere Unternehmen setzen nach Auskunft des Verbandes jedoch vergleichsweise mehr Erdgas und Fremdstrom ein. Aus Mangel an entsprechendem Datenmaterial konnte dieser Umstand bei der Hochrechnung nicht berücksichtigt werden.

Durch die Zäsur, die durch die Umstellung in der amtlichen Statistik unvermeidbar wurde, weisen die Zeitreihen ab 2003 bei einigen Energieträ-

gern erhebliche Brüche auf (Tabelle 4.2). Dennoch werden die bis 2002 im Monitoring verwendeten Daten zum Energieverbrauch der Papierindustrie nicht nachträglich revidiert. Sie wurden vom VDP auf Basis der Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes für das Monitoring zusammengestellt. Obwohl die amtlichen Daten zur Energieverwendung seit 2003 wesentlich detaillierter erhoben werden, stehen die Ergebnisse nicht in gleichem Umfang zur Verfügung wie beim VDP.

Für das Basisjahr 1990 sind in der amtlichen Statistik lediglich Energiedaten für die alten Bundesländer verfügbar (Buttermann, Hillebrand 2002: 151). Um zu gesamtdeutschen Angaben für 1990 zu gelangen, errechnete der VDP den Energieeinsatz der Papierfabriken der ehemaligen DDR aus Daten des ehemaligen VEB-Kombinats „Papier“ (VDP 2005: 1).

Ergänzend zum Einsatz der für das Monitoring relevanten fossilen Energieträger und dem Verbrauch von Strom stellt der VDP Daten zum Fremddampfbezug und zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen zur Verfügung. Sekundärbrennstoffe, beispielsweise Zellstoffablauge oder Holzrinde, werden wie im Falle der Zementindustrie als CO_2-neutral angesehen und bleiben bei der Berechnung des CO_2-Ausstoßes der Papierindustrie unberücksichtigt. Auch der zunehmende Bezug von Prozessdampf wird aus Datenmangel wie auch aus konzeptionellen Gründen nicht in die Berechnung der CO_2-Emissionen einbezogen. Der Anteil von Fremddampf hat sich nach Angaben des VDP (2007a: 4) zwischen 1995 und 2004 von 4,2 auf 9,9 % mehr als verdoppelt. Zur Bewertung des mit dem Einsatz von Fremddampf verbundenen CO_2-Ausstoßes wären detaillierte Angaben über die den Dampf erzeugenden Anlagen erforderlich, welche im Rahmen des Monitoring nicht erhoben werden. Überdies bereitet die Bewertung des Dampfes in Form von Energie- bzw. CO_2-Äquivalenten Schwierigkeiten, wenn der Dampf beispielsweise in Anlagen zur Kraftwärmekopplung (KWK) erzeugt wird oder als Restwärme anfällt. Dann stellen sich Fragen der verursachungsgerechten Zuordnung, wie etwa: Welcher Teil des Brennstoffverbrauchs einer KWK-Anlage muss der erzeugten thermischen Energie zugeordnet werden und welcher der elektrischen Energie?

Obwohl bei der Berechnung der CO_2-Emissionen unberücksichtigt, werden sowohl Fremddampf als auch Sekundärbrennstoffe im Rahmen der Ursachenanalyse bewertet. Dies ist notwendig, da sie den Bedarf an fossilen Brennstoffen und Strom verringern. Im Monitoring bildet der Verbrauch von Primärbrennstoffen und Nettofremdstrom die Grundlage für die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs und der spezifischen CO_2-Emissionen. Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen und Fremddampf beeinflusst somit indirekt die Höhe der beiden spezifischen Größen.

4.2 Energieverbrauch, Umsatz und Beschäftigung

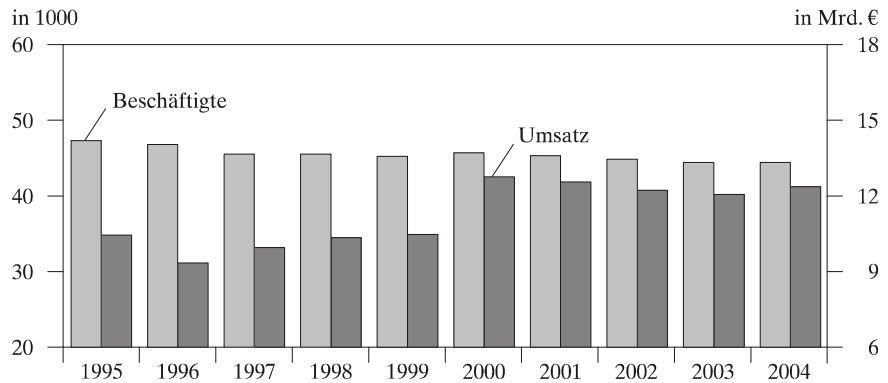
Der auf die deutsche Papierindustrie hochgerechnete Gesamtenergieverbrauch betrug 2004 etwa 272,5 PJ. Etwa 230 PJ davon wurden durch den Einsatz von Primärbrennstoffen und Strom erzeugt. Die übrigen 42,5 PJ (15,6 %) entfielen auf den Einsatz von Fremdwärme und Sekundärbrennstoffen (Schaubild 4.1). Damit zählt der Energieverbrauch der Papierindustrie zu den höchsten der am Monitoring beteiligten Industriebereiche. Mehr Energie wird lediglich in der Chemischen Industrie und der Eisenschaffenden Industrie eingesetzt.

Der Anteil der Sekundärbrennstoffe und von Fremdwärme am Gesamtenergieverbrauch hat seit 2001 überproportional zugenommen. Dies ist ein Grund dafür, dass der Verbrauch von Primärbrennstoffen und Strom 2002 geringer ausfiel als 2000, obwohl die Produktionsmenge wuchs. Mit einem Mehreinsatz in Höhe von 21,5 PJ zwischen 1990 und 2004 haben Sekundärbrennstoffe und Fremdwärme in erheblichem Maße zur Reduktion des Verbrauchs an Primärbrennstoffen beigetragen, welcher in diesem Zeitraum um 23,4 PJ bzw. 19 % gesunken ist (Tabelle 4.3). Die deutliche Zunahme des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen und Fremdwärme hat 2003 und 2004 dazu geführt, dass der Gesamtenergieverbrauch der Branche mit 6,8 % signifikant schneller gestiegen ist als der Verbrauch an fossilen Energieträgern und Strom mit knapp 5,0 %.

Angesichts der zu erwartenden weiteren Expansion dieses Sektors stellt sich die Frage, ob ähnlich wie in der Vergangenheit ein zukünftiger Anstieg des Energieverbrauchs – und somit der CO_2-Emissionen – durch die Verbesserung der Energie- und Rohstoffeffizienz substanziell gedämpft werden kann. Seit 1960 konnte die Papierindustrie ihren spezifischen Energieverbrauch um ca. 60 % senken (Buttermann 2003/04: 32). Dennoch lag der Anteil der Papierindustrie am Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes im Berichtszeitraum bei mehr als 9 %, während ihr Anteil beim Umsatz nur etwa 1 % betrug. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die nach wie vor hohe Energieintensität der Produktion in diesem Sektor.

Die Papierindustrie in Deutschland besteht sowohl aus mittelständischen Unternehmen als auch einigen großen Konzernen. Nach Angaben des VDP stieg der Umsatz seit 1995 um 17,8 % auf 12,4 Mrd. €. Dies entspricht einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von ca. 1,8 %. Einen besonders hohen Zuwachs verbuchte die Branche 2000 mit mehr als 22 % auf 12,8 Mrd. €. Bis 2003 ging der Umsatz dagegen auf 12,1 Mrd. € zurück. Die Zahl der Beschäftigten hingegen ist in dieser Zeit tendenziell leicht gesunken (Schaubild 4.2). 2004 gab es etwa 44 500 Beschäftigte in den 186 Betrieben dieser Branche.

Schaubild 4.2
Beschäftigung und Umsatz in der Papierindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V.

4.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

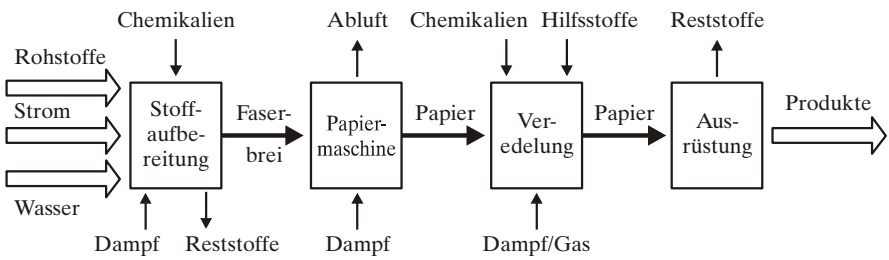
Die von der Papierindustrie hergestellten Erzeugnisse lassen sich grob in vier Sorten unterteilen: Grafische Papiere, zu denen Zeitungsdruck- und Pressepapiere zählen, Papier, Karton und Pappen für Verpackungszwecke, Hygienepapiere sowie Papier und Pappe für technische und spezielle Verwendungszwecke (VDP 2006). Der mit Abstand wichtigste Rohstoff zur Gewinnung dieser Erzeugnisse ist Holz, wobei in Deutschland vor allem Sägerestholz als Input für die zur Papierherstellung erforderlichen Faserstoffe Holz- und Zellstoff verwendet wird (VIK 1998: 30). Zwischen 1950 und 2000 reduzierte sich jedoch der Anteil dieser Primärrohstoffe zugunsten von Altpapier als Sekundärrohstoff: Die Holzstoff-Einsatzquote sank von 26,3 % auf 8,0 %, die des Zellstoffs von 38,3 % auf 23,2 %. Im selben Zeitraum verdoppelte sich die Einsatzquote des Altpapiers von 30,0 % auf 60,1 %. Für diese Steigerung war vor allem der vermehrte Altpapiereinsatz bei grafischen Papieren und Hygienepapieren verantwortlich (Baumgärtner, Winkler 2005: 8).

Die Gründe dafür sind: Altpapier ist selbst in Hochpreisphasen deutlich billiger als die Primärrohstoffe Holzstoff und Zellstoff (Göttsching 1993: 152). Außerdem verbraucht die Rezyklierung von Altpapier deutlich weniger Energie als die Herstellung von Primärfaserstoffen (Göttsching 1998: V69). Im Jahr 2004 wurden an deutschen Produktionsstand-

orten 13,2 Mill. t Altpapier zur Erzeugung von 20,4 Mill. t Papier, Karton und Pappe eingesetzt (VDP 2006: 1).

Die Herstellung von Papiererzeugnissen lässt sich in vier Schritte zerlegen (Schaubild 4.3): Nach der Gewinnung und Aufbereitung der Faserstoffe werden diese in der Papiermaschine zu Papierbahnen verarbeitet. Diese werden nach dem Trocknen durch Streichen, Glätten usw. veredelt und schließlich zu auslieferungsfähiger Rollen- oder Stapelware verarbeitet. Holzstoff wird vorwiegend im Holzstoffverfahren erzeugt, bei dem qualitativ hochwertiges, entrindetes Holz unter Zugabe von heißem Wasser gegen einen rotierenden Schleifstein gepresst wird. Dabei werden feine Holzpartikel abgelöst.

Schaubild 4.3
Schematische Darstellung der Papiererzeugung



Nach VIK (1998 : 30)

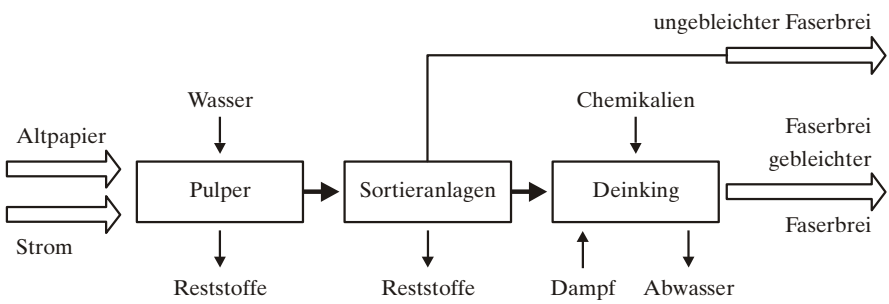
Dieses klassische Verfahren der Holzstoffgewinnung durch die mechanische Zerkleinerung (englisch: mechanical pulping) von Holz wurde technisch ständig weiterentwickelt und durch neue, thermo-mechanische Verfahren ergänzt (englisch: thermo-mechanical pulping, TMP). Bei diesen wird Holzstoff unter erhöhtem Druck und bei höherer Temperatur hergestellt. Gegebenenfalls erfolgt eine weitere Auflösung des Holzstoffes durch Chemikalien (CTMP-Verfahren, VIK 1998: 30). Die Beschreibung macht deutlich, dass die Herstellung von Papier mit einem nicht unerheblichen Energiebedarf einhergeht. VDP-Angaben zufolge beträgt dieser durchschnittlich 2 500 kWh/t.

Durch Zugabe spezieller Hilfsmittel und Füllstoffe zu den Faserstoffsuspensionen wird ein bestimmtes Mischungsverhältnis eingestellt und damit die Sorte des zu erzeugenden Papiers festgelegt. Rohrleitungen transportieren das Stoffgemisch zur Papiermaschine, in der Papierbahnen hergestellt werden. Auf thermischem Wege werden die Papierbahnen über dampfbeheizte Trockenzylinder bis zu einem Restfeuchtigkeitsgehalt von 5 % getrocknet. Die Papierproduktion endet mit dem Aufrollen der getrockneten Papier-

bahnen und deren Verarbeitung zu auslieferungsfähiger Rollen- oder Stapelware. Je nach Papierqualität werden die Papierbahnen davor geglättet und verdichtet.

Zellstoffe stellen im Gegensatz zu Holzstoffen höherwertige Faserstoffe dar: Bei diesen werden die im Holz enthaltenen und für die Papiererzeugung störenden Stoffe wie Harze aus der Holzsubstanz gelöst. Zellstoffe werden daher mittels chemischer Prozesse aus zuvor zerkleinertem Holz gewonnen (chemical pulping). Typischerweise stammen Zellstoffe nicht aus eigener Produktion, sondern gelangen als Handelsware in Form von Zellstoffballen in die Papierfabrik. Der trockene Zellstoff wird zunächst in Wasser aufgeweicht, um in der entstehenden Suspension die Fasern auf mechanischem Wege vollständig trennen zu können. Eine mehrstufige Reinigung und Mahlung der Faserstoffsuspension beschließt die Aufbereitung. Zellstoff enthält auf Grund der fehlenden mechanischen Bearbeitung des Materials einen deutlich höheren Anteil an Fasern, die ihre ursprüngliche Länge besitzen. Dies bewirkt eine höhere Festigkeit des Papiers (VIK 1998: 30).

Schaubild 4.4
Schematische Darstellung zur Gewinnung von Sekundärfaserstoffen aus Altpapier



Nach VIK(1998:31)

Zur Gewinnung von Sekundärfaserstoffen aus Altpapier wird dieses mit Hilfe von Wasser zunächst in eine pumpfähige Suspension überführt (Schaubild 4.4). Der Faserbrei durchläuft anschließend verschiedene Sortier- und Reinigungsstufen. Je nach Verwendungszweck ist die Entfernung von Druckfarben notwendig (deinking). Dabei werden Farbe und unbrauchbare Fasern entfernt. Die verdünnte Faserflüssigkeit wird in einer letzten Aufbereitungsstufe vor dem Einsatz in der Papiermaschine eingedickt.

4.4 Die Selbstverpflichtung

Der Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) hat sich in seiner Erklärung vom 21.12.2000 verpflichtet, die spezifischen CO_2-Emissionen der Zellstoff- und Papierfabriken aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe und Fremdstrom bis 2012 gegenüber 1990 um 35 % zu verringern (Übersicht 4.1). 1990 wurden nach den Angaben des VDP in Deutschland knapp 12,8 Mill. t Papiererzeugnisse produziert. Hierbei wurden rund 14,4 Mill. t CO_2 emittiert (Buttermann, Hillebrand 2002: 147). Für 1990 errechnet sich daraus ein spezifischer CO_2-Ausstoß von ca. 1 130 kg/t.

Übersicht 4.1
Selbstverpflichtung der Papierindustrie

Ziel	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 um 35 % auf 734 kg CO_2 /t.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP 2001).

Ziel der Selbstverpflichtung ist demnach, bis 2012 eine Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen auf rund 734 kg/t zu erreichen. Allerdings würden sich durch die unverändert guten Wachstumsaussichten die absoluten CO_2-Emissionen dieses Sektors gegenüber 1990 vermutlich nicht sehr stark reduzieren. Möglichweise würden diese sogar stagnieren, so wie dies seit 1990 mehr oder weniger der Fall war. Ein absolutes Emissionsminderungsziel wäre folglich mit einer weiteren Expansion der Branche wenig vereinbar.

4.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Der spezifische CO_2-Ausstoß durch den Einsatz fossiler Brennstoffe und Strom konnte seit 1990 um 36,5 % auf 718 kg pro Tonne Papiererzeugnis deutlich verringert werden (Tabelle 4.1). Damit hat die Papierindustrie ihr bis 2012 gesetztes Ziel einer Verringerung ihrer spezifischen Emissionen auf 734 kg CO_2/t bereits im Jahr 2004 erreicht. 2002 betrug die Senkung des spezifischen CO_2-Ausstoßes gegenüber 1990 erst 32,6 %. Wenngleich das 35 %-Minderungsziel bereits eingehalten wurde, ist eine Verlangsamung der Reduzierung des spezifischen CO_2-Ausstoßes festzustellen: Während die spezifischen Emissionen 2003 und 2004 zusammen um 5,8 % gegenüber 2002 verringert werden konnten, betrug die Abnahme im vergleichbaren Zeitraum zwischen 1995 und 1997 insgesamt 8,4 %.

Aus dem in Tabelle 4.1 angegebenen spezifischen Emissionswert von 718 kg CO_2/t und einer Produktionsmenge von rund 20,4 Mill. t lässt sich für 2004 eine Emissionsmenge von 14,6 Mill. t CO_2 errechnen. Im Gegensatz zu den spezifischen CO_2-Emissionen konnten die absoluten Emissionen seit

1990 folglich nicht gesenkt werden. 1990 betrug der CO_2-Ausstoß rund 14,4 Mill. t.

Tabelle 4.1
Spezifische CO_2-Emissionen der Papierindustrie
1990 bis 2004; Minderungsziel bis 2012: 734 kg CO_2/t bzw. -35 % im Vergleich zu 1990

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Emissionen in kg CO_2/t	1 130	928	823	793	783	762	744	718
Minderung in %	-	17,9	27,2	29,8	30,7	32,6	34,1	36,5
Zielerreichungsgrad in %	-	51,1	77,7	85,1	87,7	93,0	97,5	104,2

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 (bis 2002) und des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. (ab 2003). – Berechnungen auf Basis des Verbrauchs von Primärbrennstoffen und Strom. – Werte für 2003 und 2004 hochgerechnet.

4.6 Ursachenanalyse

Die spezifischen CO_2-Emissionen auf Grund des Einsatzes fossiler Brennstoffe und Strom lassen sich grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten senken: Zum einen durch die Substitution von kohlenstoffreichen Primärbrennstoffen wie Braunkohlen durch kohlenstoffärmere Energieträger wie Erdgas und zum anderen durch die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs. Letzteres lässt sich durch Verbesserungen der Energieeffizienz erreichen. Im Falle der Papierindustrie wird sowohl der spezifische Energieverbrauch als auch die spezifischen CO_2-Emissionen zusätzlich durch den zunehmenden Einsatz von als CO_2-neutral erachteten Sekundärbrennstoffen sowie den Bezug von Fremdwärme in Form von Dampf verringert. Zwar bezieht sich das Monitoring auf den Einsatz von Primärenergieträgern und den Nettofremdstromverbrauch, dennoch werden die beiden spezifischen Größen durch die Nutzung von Sekundärenergieträgern und Fremdwärme beeinflusst, da sie den Bedarf an fossilen Brennstoffen und Strom verringern. Die Auswirkungen dieser Faktoren auf den CO_2-Ausstoß werden im Folgenden abgeschätzt.

Vor allem infolge der Modernisierung und Restrukturierung ostdeutscher Papierfabriken hat sich der Energiemix seit 1990 deutlich zu Gunsten des kohlenstoffärmeren Erdgases und zu Lasten von Rohbraunkohlen und Heizöl verschoben (Buttermann, Hillebrand 2002: 151). So stieg der Erdgaseinsatz von 1990 bis 2004 um mehr als 60 % (Tabelle 4.2). Erdgas deckte 2004 rund 83 % des gesamten Einsatzes an Primärbrennstoffen ab. Im Gegenzug verringerte sich der Einsatz aller Kohlen von 1990 bis 2004 um mehr als 65 %, der Einsatz von Heizöl sogar 94 %. Rohbraunkohlen wurden nach Angaben des Statistischen Bundesamtes nur bis 2002 eingesetzt. Steinkohlen und Heizöl hatten 2004 nur noch einen Anteil von rund 12,0 bzw. 1,6 % am Verbrauch an Primärbrennstoffen.

Tabelle 4.2
Wandel des Mix an Primärbrennstoffen in der Papierindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohlen	25,2	27,6	20,7	19,8	17,3	16,2	11,0	7,0
Steinkohlenkoks	1,1	1,3	0,8	0,9	0,6	0,4	4,4	4,9
Rohbraunkohlen	5,6	0,08	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0
Braunkohlenbriketts	12,6	6,0	4,8	4,5	3,4	3,5	3,6	3,5
Schweres Heizöl	24,6	12,5	5,0	3,4	3,1	3,8	1,5	1,3
Leichtes Heizöl	2,1	4,3	1,6	1,2	1,2	1,3	0,6	0,3
Erdgas	51,1	69,8	81,5	79,6	78,9	76,5	82,8	82,0
Flüssiggas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Raffineriegas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1
Kokereigas	0,3	0,006	0,0	0,0	0,0	0,006	0,0	0,0
Insgesamt	122,6	121,6	114,4	109,4	104,8	102,0	104,4	99,2

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 (bis 2002) und des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. (ab 2003). – Werte für 2003 und 2004 hochgerechnet.

Ab 2003 macht sich die Umstellung der Energieverwendungsstatistik bemerkbar: Erhebliche Umschichtungen zeigen sich beim Verbrauch von Steinkohlen und Steinkohlenkoks. Der Verbrauch von Heizöl ist zurückgegangen, während für Erdgas ein deutlich höherer Verbrauch ausgewiesen wird. Der verstärkte Einsatz von Erdgas zu Lasten von Braunkohlen und schwerem Heizöl bewirkte einen deutlichen Rückgang der spezifischen CO_2-Emissionen, wie die folgende Überlegung zeigt: Der Verbrauch an Erdgas nahm zwischen 1990 und 2004 um 30,9 PJ zu, während der Einsatz an Braunkohlen mit einem energetischen Wert von 18,2 PJ im Jahr 1990 auf 3,5 PJ sank und der Verbrauch an schwerem Heizöl sich von 24,6 auf 1,3 PJ drastisch reduzierte (Tabelle 4.2). Nehmen wir an, Erdgas mit einem CO_2-Emissionsfaktor von 0,056 Mill. t CO_2/PJ hätte Rohbraunkohlen und Braunkohlenbriketts mit einem Emissionsfaktor von 0,112 bzw. 0,098 Mill. t CO_2/PJ in dieser Zeit substituiert und der Rest der zusätzlichen Erdgasmenge in Höhe von 16,2 PJ hätte schweres Heizöl mit einem CO_2-Emissionsfaktor von 0,078 Mill. t CO_2/PJ ersetzt. Dann wären durch diese Substitution im Jahr 2004 rund 1,1 Mill. t CO_2 eingespart worden[5]. Hätte es diesen Wandel im Energiemix nicht gegeben, müsste man 1,1 Mill. t CO_2 den Emissionen des Jahres 2004 in Höhe von 14,6 Mill. t hinzufügen und käme

[5]Dieser Wert wurde wie folgt errechnet: 5,6 PJ (Rohbraunk.) * 0,112 Mill. t CO_2/PJ + 9,1 PJ (Braunk.brik.) * 0,098 Mill. t CO_2/PJ + 16,2 PJ (schw. Heizöl) * 0,078 Mill. t CO_2/PJ - 30,9 PJ (Erdgas) * 0,056 Mill. t CO_2/PJ.

bei einer Produktionsmenge von 20,4 Mill. t auf spezifische Emissionen von ca. 769 kg CO_2/t. Dieser Wert entspräche einer Minderung gegenüber 1990 von rund 31,9 % (Tabelle 4.1). Auf die Änderung des Energiemix bei fossilen Brennstoffen zugunsten von Erdgas sind folglich nur etwa 4,6 Prozentpunkte der tatsächlichen Minderung der spezifischen Emissionen um 36,5 % zwischen 1990 und 2004 zurückzuführen. Somit muss der Großteil der Verringerung des spezifischen CO_2-Ausstoßes der Papierindustrie auf die Reduzierung des spezifischen Energieeinsatzes zurückgehen.

Zur Senkung der spezifischen Emissionen hat aber auch die Substitution fossiler Brennstoffe durch den Einsatz von Fremdwärme und Sekundärbrennstoffen beigetragen. Der Bezug von Fremdwärme in Form von Dampf lag 2004 um etwa 6,3 PJ und die Verwendung von Sekundärbrennstoffen um rund 15,2 PJ höher als 1990 (Tabelle 4.3). Durch beide Energieträger wurden somit insgesamt 21,5 PJ an Primärbrennstoffen eingespart.

Tabelle 4.3
Substitution von Primär- durch Sekundärbrennstoffe und Fremdwärme in der Papierindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Primärbrennstoffe	122,6	121,6	114,4	109,4	104,8	102,0	104,4	99,2
Fremdwärme	7,2	6,2	7,8	8,1	8,3	11,0	11,6	13,5
Sekundärbrennstoffe	13,8	17,6	20,2	21,0	20,2	25,1	26,6	29,0
Brennstoffe insgesamt	143,6	145,4	142,4	138,5	133,3	138,1	142,6	141,7
Anteil Sekundärbrennstoffe und Fremdwärme, %	14,6	16,4	19,7	21,0	21,4	26,1	26,8	30,0

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 (bis 2002) und des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. (ab 2003). – Werte für 2003 und 2004 hochgerechnet.

Der Bezug von Fremdwärme stieg nach Angaben des VDP im Rahmen des Monitoring zwischen 1990 und 2004 um 89,2 %, wobei 2002 ein besonders deutlicher Zuwachs um rund ein Drittel zu verzeichnen war. Fremddampf hat somit in verstärktem Maße die Eigenproduktion und die dafür notwendigen Brennstoffe ersetzt. Die mit der Erzeugung von Fremdwärme verbundenen CO_2-Emissionen können mangels der dafür notwendigen Angaben über den erforderlichen Brennstoffaufwand nicht berechnet und somit nicht berücksichtigt werden. Bezogen auf den Verbrauch fossiler Brennstoffe und Strom wirkt sich die Tendenz, zunehmend Fremddampf zu beziehen, für die Papierindustrie CO_2-senkend aus – zumindest rein rechnerisch.

Dieselbe Wirkung hat die zunehmende Nutzung der als CO_2-neutral erachteten Sekundärbrennstoffe, deren Einsatz sich zwischen 1990 und 2004 um 110,7 % erhöhte – allein 2002 um beinahe ein Viertel. 2004 lag der Anteil

der Sekundärrohstoffe am gesamten Energieverbrauch bei 10,6 % und bei mehr als 20 % des Brennstoffverbrauchs (Tabelle 4.3). Dieser Anstieg des Anteils nachwachsender Brennstoffe wie Ablauge und Rinde, aber auch von Faser- und Papierrückständen wurde durch mitunter erhebliche Investitionen in Verbrennungskessel für Rückstände aus der Papierindustrie erreicht (VDP 2007a: 5).

Bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch – einschließlich Sekundärbrennstoffen und Fremdwärme – des Jahres 2004 in Höhe von etwa 273 PJ ergibt sich bei einer Produktionsmenge von 20,4 Mill. t ein spezifischer Energieverbrauch von 13,4 GJ/t. 1990 betrug dieser Wert 17,5 GJ/t. Damit konnte gegenüber 1990 eine Minderung von 23,4 % erzielt werden. Im Durchschnitt ist der Gesamtenergieverbrauch bis 2004 um 2,0 % pro Jahr gesenkt worden. Dieser Wert ist plausibel, entspricht seine Größenordnung doch der durchschnittlichen Verbesserung des spezifischen Primärenergieverbrauchs je € realem Bruttoinlandsprodukt[6], die im gleichen Zeitraum durchschnittlich bei etwa 1,7 % pro Jahr lag (BMWi 2007).

Der spezifische Energieverbrauch beim Einsatz von Primärbrennstoffen und Strom hat sich bis 2004 sogar um 29,1 % reduziert (Tabelle 4.4). Zur Abschätzung, wie sehr der spezifische Verbrauch gesenkt wurde, dient die folgende Überlegung. Unterstellt man für 2004 den spezifischen Energieverbrauch des Jahres 1990 in Höhe von 15,9 GJ/t, wären zur Produktion von 20,4 Mill. t Output anstatt 230 PJ an Primärbrennstoffen und Strom eine weitaus größere Menge an Energie in Höhe von 324 PJ notwendig gewesen. Die Differenz von 94 PJ entspricht einer Energieeinsparung von 29 %, die auf eine Steigerung der Energieeffizienz zurückgeführt werden kann.

Tabelle 4.4
Spezifischer Energieverbrauch und CO_2-Intensität in der Papierindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spezifischer Verbrauch, GJ/t	15,9	13,7	12,6	12,2	12,1	11,8	11,6	11,3
Minderung in %	-	13,7	20,6	23,1	23,6	25,6	26,9	29,1
CO_2-Intensität in kg CO_2/GJ	71,1	67,6	65,2	64,9	64,5	64,5	64,0	63,6

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 (bis 2002) und des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. (ab 2003). – Berechnungen auf Basis des Verbrauchs von Primärbrennstoffen und Strom. – Werte für 2003 und 2004 hochgerechnet.

Die Wirkung der verbesserten Energieeffizienz auf die spezifischen CO_2-Emissionen lässt sich darstellen, wenn angenommen wird, dass der Energiemix seit 1990 unverändert geblieben wäre. Ausgedrückt wird dies durch

[6] Reales BIP in Preisen von 2000.

die CO_2-Intensität des Energiemix im Basisjahr. Diese lässt sich als Verhältnis der absoluten Emissionen zum Verbrauch an Primärbrennstoffen und Nettofremdstrom berechnen. Ihr Wert lag 1990 bei 71,1 kg CO_2/GJ (Tabelle 4.4). Wird die CO_2-Intensität von 1990 mit der Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs bis 2004 von 4,6 GJ/t multipliziert, ergibt sich eine Minderung der spezifischen Emissionen von rund 327 kg CO_2/t. Die Effizienzverbesserung beim Energieverbrauch hat demnach die spezifischen Emissionen seit 1990 um 28,9 % reduziert.

Zu den Maßnahmen, die zur Verbesserung der Energieeffizienz beigetragen haben, gehören beispielsweise die Optimierung der Wärmebereitstellung bei der Trocknung der Papierbahnen und die Verbesserung der Wärmerückgewinnung aber auch die Erhöhung der Altpapierquote. So stieg der Altpapiereinsatz in der deutschen Papierindustrie zwischen 1990 und 2004 von 6,2 auf 13,2 Mill. t. Die Altpapiereinsatzquote stieg im gleichen Zeitraum von etwa 49 auf rund 65 % (VDP 2007a: 6). Welche Einsparungen an Energie und Emissionen damit verbunden sind, lässt sich allerdings mangels Angaben aus der einschlägigen Literatur nicht quantifizieren.

Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch hat auch die Sortenstruktur der Papierproduktion. Für den Zeitraum von 1990 bis 1998 weisen Untersuchungen von Buttermann (2003/04: 34) und Drasdo und Starrmann (2000: 172-174) darauf hin, dass die Bedeutung energieintensiver Papiersorten abgenommen hat. Die Auswertung der Produktionsdaten des VDP zeigt, dass die beiden wichtigsten Gruppen im Sortiment – grafische Papiere und Papier, Karton und Pappe für Verpackungszwecke – mit 66,9 % bzw. 72,1 % deutlich stärker gewachsen sind als die gesamte Papierproduktion. Obwohl damit innerhalb des Produktsortiments die Bedeutung der im Durchschnitt weniger energieintensiven Verpackungsmaterialien stärker zugenommen hat als die energieintensiveren grafischen Papiere, stellen grafische Papiere mit einem Anteil von knapp 50 % weiterhin die größte Produktgruppe. Da die Energieintensitäten innerhalb der beiden genannten Sortimentgruppen sehr unterschiedlich sind, jedoch keine Informationen zur Energieintensität einzelner Papiersorten vorliegen, lässt sich bis 2004 keine eindeutige Tendenz für den Einfluss der Sortimentstruktur auf den spezifischen Energieverbrauch erkennen.

Zusammenfassend können folgende Ergebnisse der Ursachenanalyse festgehalten werden: Die hohe Bedeutung von Sekundärbrennstoffen und Fremdwärme für die Deckung des Energiebedarfs beeinflusst die Ergebnisse des Monitorings für die Papierindustrie, obwohl diese Energieträger nicht Gegenstand des Monitoringkonzeptes sind. Betroffen sind sowohl der spezifische Energieverbrauch als auch die spezifischen CO_2-Emissionen als Zielgröße der Papierindustrie. Hinsichtlich des im Rahmen des Monitoring re-

levanten Einsatzes von fossilen Brennstoffen und Strom hat sich gezeigt, dass die erzielten Minderungserfolge zu einem vergleichsweise geringen Teil auf die Substitution besonders kohlenstoffhaltiger Energieträger durch Erdgas zurückgehen. Den wesentlichsten Beitrag hat vielmehr die Verbesserung der Energieeffizienz geleistet. Auswirkungen durch strukturelle Veränderungen im Sortiment der Papierindustrie lassen sich allerdings nicht eindeutig identifizieren.

4.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Die erheblichen Fortschritte bei der Energieeffizienz seit 1990 beruhen u. a. auf der regen Investitionstätigkeit der Papierindustrie. Die investierten Mittel zur Modernisierung und Erweiterung der Produktionskapazitäten lagen 2004 bei rund 1,4 Mrd. € (Tabelle 4.5). Die Investitionsintensität, welche die Investitionen pro Beschäftigten misst, war um ein Vielfaches höher als beispielsweise in der vom wirtschaftlichen Niedergang gezeichneten Textilindustrie.

Tabelle 4.5
Investitionen in den Betrieben der Papierindustrie
1995 bis 2004

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Investitionen in Mill. €	573,0	981,7	1 040,0	890,0	640,0	825,0	1 370,0
Investitionsquote in %	5,4	9,3	8,1	7,1	5,2	6,8	11,1
Investitionsintensität in € je Beschäftigten	12 056	21 679	22 707	19 604	14 222	18 539	30 787

Nach Angaben des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. – Investitionsquote: Investitionen/Umsatz, Investitionsintensität: Investitionen pro Beschäftigten.

Allein zur Sanierung der ostdeutschen Papierindustrie wurden zwischen 1990 und 1996 rund 1,2 Mrd. € investiert (VDP 2007a: 3). Dadurch konnte der spezifische Energieeinsatz in den neuen Bundesländern vom 2,4-fachen des Verbrauchs der alten Bundesländer im Jahr 1990 auf das 1,15-fache im Jahr 1996 verringert werden. Weitere 3,16 Mrd. € wurden laut VDP (2007a: 3) in den neuen Bundesländern zwischen 1997 bis 2004 investiert, um alte Papierfabriken entweder umzubauen oder ganz zu schließen und durch neue Fabriken zu ersetzen. Dadurch ist heute bei der durchschnittlichen Energieeffizienz der Papierfabriken kaum noch ein Unterschied zwischen den alten und den neuen Bundesländern festzustellen.

Neben den überdurchschnittlichen Einsparerfolgen in den neuen Bundesländern konnte auch in den alten Bundesländern ein weiterer Rückgang des spezifischen Energieeinsatzes erreicht werden. Durch Investitionen in innovative Technologien konnte nach Angaben des VDP (2007a: 3) der spezifi-

sche Energieeinsatz der Papier- und Zellstofffabriken zwischen 1990 und 2004 um ca. 20 % verringert werden.

Dies ist gemäß des Fortschrittsberichts des VDP (2007a: 7) zum Teil auf eine Fülle von kleinen Effizienzverbesserungen zurückzuführen, etwa dem Einbau von Wärmetauschern bzw. Wärmerückgewinnungsanlagen zur Rückführung von Abwärme zum Verbrennungsprozess. Von erheblich größerer Bedeutung sind jedoch Maßnahmen wie vor allem der Bau von modernen Gas- und Dampfkraftwerken (GuD-Anlagen), in denen Strom in zwei hintereinander geschalteten Prozessen produziert wird. Zuerst wird in einer Gasturbine durch die über 1 000° C heißen Abgase der Erdgasverbrennung Elektrizität erzeugt. Die mit 500° C noch immer heißen Abgase der Gasturbine werden im Abhitzekessel zur Erzeugung von Frischdampf genutzt. Der dort erzeugte Hochdruckdampf wird über eine Gegendruckturbine, welche zum zweiten Mal Strom erzeugt, in Niederdruckprozessdampf überführt. Dieser wird schließlich in die Papiermaschine eingespeist. Dies gestattet eine optimale Ausnutzung des Brennstoffes Gas mit einem Gesamtwirkungsgrad von teilweise über 90 %.

Tabelle 4.6
Ausgewählte Maßnahmen der Zellstoff- und Papierindustrie zur CO_2-Reduktion
2003 und 2004

Maßnahmen	Jahr	Investitionen in Mill. €	CO_2-Einsparung pro Jahr
Umbau einer Papiermaschine: Einbau einer Filmpresse sowie zweier Gas-IR-Trockner	2003	4,2	1 046 t
Verbesserung der Wärmerückgewinnung: Erneuerung der Trockenhaube und der Wärmerückgewinnungsanlage, Wärmerückgewinnung aus Abwasser.	2003	2,0	4 066 t
Umbau einer Papiermaschine: Austausch einer Starkdruckpresse gegen eine Schuhpresse, Erneuerung der Trockenhaube, Verbesserung der Entwässerung in der Siebpartie, Verbesserung des Hallenklimas.	2004	18,0	4 347 t
GuD-Anlage: Bau einer Gasturbine mit Abhitzekessel. Substitution von ca. 40 000 MWh/a Strom aus öffentlichem Netz, Nutzung der Abhitze (Dampf).	2004	3,86	28 719 t

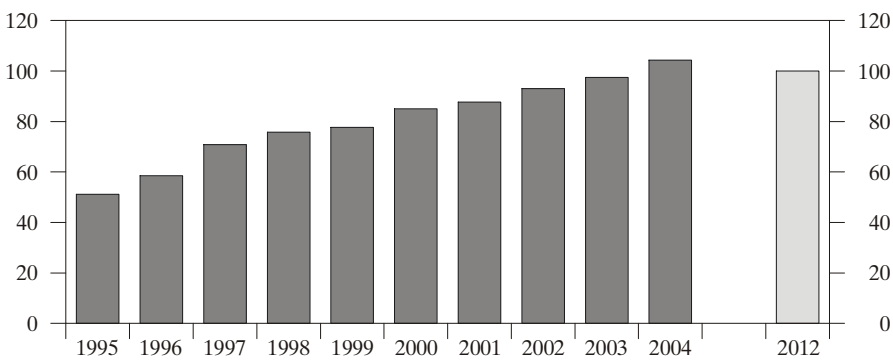
Nach Angaben des Verbands Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP 2007a).

Einige konkrete Investitionen und Maßnahmen von Unternehmen der Papierindustrie zur Verringerung des CO_2-Ausstoßes sind in Tabelle 4.6 aufgelistet. Eine vollständige Liste der vom Verband erhobenen Maßnahmen wird im Fortschrittsbericht für die Jahre 2003 und 2004 dokumentiert (VDP 2007a). Das Investitionsvolumen aller aufgeführten Maßnahmen belief sich auf zusammen 32,4 Mill. €. Im Sommer 2002 wurde zudem der Ausschuss Energie und der Arbeitskreis Emissionshandel im VDP ins Leben gerufen, der in regelmäßig stattfindenden Sitzungen Fragen zum Emissionshandel, aber auch Fragen zum Energieeinsatz und –zur Energieeffizienz behandelt und Empfehlungen an die Mitgliedsunternehmen verabschiedet.

4.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Zellstoff- und Papierindustrie hatte bereits 2004 ihr Ziel erreicht, die spezifischen CO_2-Emissionen durch den Einsatz fossiler Brennstoffe und Strom bis 2012 um 35 % auf 734 kg CO_2/t Papier zu reduzieren.

Schaubild 4.5
Zielerreichungsgrade der Papierindustrie
1995 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen.

Die bis 2004 erzielte Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen gegenüber 1990 ist im Wesentlichen auf vier Ursachen zurückzuführen: Seiner Bedeutung entsprechend an erster Stelle zu nennen ist die Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs, welche durch vielfältige Maßnahmen wie die Steigerung der Altpapierquote und durch die im vorigen Abschnitt dargestellten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ausgelöst wurde. Einen deutlich geringeren Beitrag hat die Substitution kohlenstoffreicher Energieträger durch kohlenstoffärmeres Erdgas geleistet. Neben diesen beiden Determinanten, die im Zentrum des CO_2-Monitorings stehen,

wurde die Senkung der spezifischen Emissionen indirekt aber auch durch die Substitution von Primär- durch Sekundärbrennstoffe sowie die Steigerung des Bezugs von Fremdwärme begünstigt.

Einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz lieferte insbesondere der vermehrte Rückgriff auf Altpapier und die daraus gewonnenen Sekundärfaserstoffe. Der Anteil des Altpapiers am gesamten Verbrauch an Faserstoffen stieg zwischen 1990 und 2004 von 53 % auf über 67 % (Tabelle 4.7). Diese Entwicklung hatte entsprechende Energieeinsparungen zur Folge, da die Gewinnung von Primärfaserstoffen wie Holzstoff energieintensiver ist als die Gewinnung von Sekundärfaserstoffen aus Altpapier.

Tabelle 4.7
Verbrauch an Faserstoffen in der Papierindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in Mill. t

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Altpapier	6,2	8,6	10,3	11,0	10,5	12,0	12,4	13,2
Zellstoff	3,8	3,8	4,1	4,4	4,0	4,3	4,5	4,8
Holzstoff	1,7	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6
Insgesamt	11,7	13,8	15,8	16,9	15,9	17,7	18,4	19,6

Nach Angaben des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP 2000, 2007b).

Im Gegenzug verringerte sich der Anteil von Holzstoff zwischen 1990 und 2004 von 14,5 auf 8,1 %. Die bereits hohe Altpapierquote beim Rohstoffeinsatz in der Papierindustrie deutet aber darauf hin, dass weiteren Energieeinsparungen auf diesem Wege Grenzen gesetzt sind. Zudem ist ein Altpapieranteil von 100 % aus physikalischen Gründen ohnehin nicht realisierbar, da Papierfasern beim Recyclingprozess „altern“ und automatisch aussortiert werden. Schließlich können aus Altpapier gewonnene Sekundärfaserstoffe nicht uneingeschränkt für alle Zwecke verwendet werden, insbesondere nicht für qualitativ sehr hochwertige Papiere.

Auch der Zunahme des Erdgasanteils, die nach unseren Überlegungen 4,6 Prozentpunkte an der Reduktion der spezifischen Emissionen um 36,5 % ausmachte, sind Grenzen gesetzt. 2004 lag der Anteil des Erdgases am gesamten Brennstoffverbrauch bei rund 82 %. Der vollständige Ersatz der übrigen Brennstoffe durch Erdgas, deren energetischer Wert 2004 zusammen rund 17 PJ ausmachte, würde überschlägig gerechnet zu Einsparungen von rund 0,7 Mill. t CO_2 führen. Dieses Resultat ergibt sich, wenn der energetische Wert der übrigen Brennstoffe mit dem CO_2-Faktor für Erdgas von 0,056 Mill. t CO_2/PJ multipliziert wird und die resultierenden CO_2-Emissionen von denen abgezogen werden, die auf die übrigen fossilen Brennstoffe entfallen. Die absoluten Emissionen lägen dann anstatt bei 14,6

bei 13,9 Mill. t CO_2 und die spezifischen bei 682 anstatt bei 718 kg CO_2/t, wie dies 2004 der Fall war.

Wegen vermutlich weiter steigender Erdgaspreise wäre die Ausschöpfung dieses Potentials sicherlich eine teure und unrealistische Option. Günstiger wäre stattdessen eine weitere Erhöhung des Einsatzes an Sekundärbrennstoffen, deren Anteil an allen eingesetzten Brennstoffen sich zwischen 1990 und 2004 von knapp 10 % auf mehr als 20 % verdoppelt hat (Tabelle 4.3). Diese Option zur CO_2-Vermeidung wird sicherlich auch in Zukunft zur weiteren Verringerung der spezifischen Emissionen beitragen.

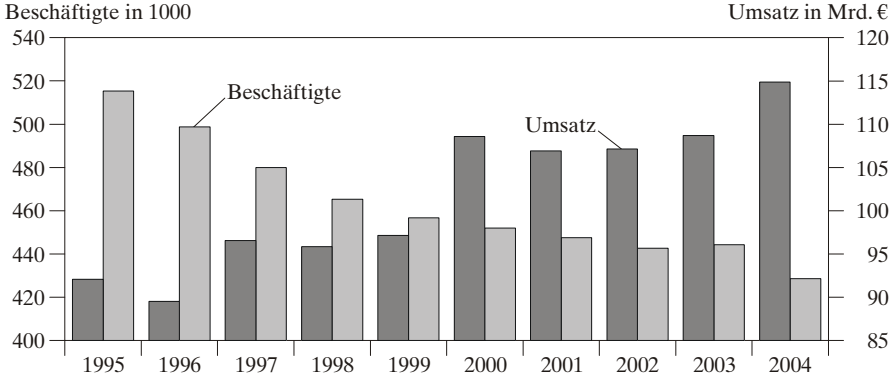
Eine weitere Erhöhung des Bezuges von Fremdstrom, welcher zwischen 1990 und 2004 netto um mehr als 62 % bzw. mehr als 50 PJ zunahm, würde allerdings zu höheren CO_2-Emissionen führen, da Fremdstrom trotz Effizienzverbesserungen in der Stromerzeugung mit dem CO_2-Emissionsfaktor des Basisjahres bewertet wird. Durch den konstanten CO_2-Faktor für Strom wird gewährleistet, dass die entsprechenden Effizienzverbesserungen dem Stromerzeugungssektor gutgeschrieben werden.

Festzuhalten bleibt einerseits, dass die Grenzen einiger Einsparmöglichkeiten, etwa die Substitution von Kohlen durch Erdgas oder die Erhöhung des Altpapieranteils, nicht mehr all zu weit entfernt zu sein scheinen. Andererseits hat die Papierindustrie ihr spezifisches CO_2-Minderungsziel für 2012 bereits 2004 erstmals erreicht (Schaubild 4.5).

5. Die Chemische Industrie

Die Chemische Industrie stellt schwerpunktmäßig Vorprodukte für andere Industrien wie die Kunststoffverarbeitungs- oder die Automobilindustrie, anorganische Grundstoffe wie Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Chlor, Ammoniak, Säuren und Natronlauge sowie wichtige organische Basischemikalien wie Ethylen, Propylen, Butadien und Benzol her. Daneben werden in geringerem Maße Produkte des täglichen Bedarfs wie Wasch- und Reinigungschemikalien, Farben und Klebstoffe produziert. Die Chemische Industrie Deutschlands ist weltweit einer der bedeutendsten Marktakteure und hält derzeit einen am Umsatz gemessenen Weltmarktanteil von gut 7 % (VCI 2007a). Der Umsatz belief sich 2004 auf ca. 115 Mrd. € und stieg im Vergleich zu 1995 um knapp 25 % (Schaubild 5.1). Rund die Hälfte des Umsatzes wird im Ausland erzielt, Deutschland ist damit der weltgrößte Chemieexporteur.

Schaubild 5.1
Umsatz und Beschäftigte der Chemischen Industrie
1995 bis 2004, fachliche Betriebsteile



Nach Angaben des VCI (2007b) und des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Die vorwiegend mittelständisch geprägte Chemische Industrie beschäftigte im Jahr 2004 ca. 429 000 Personen und damit rund 17 % weniger als 1995. Etwa 8 % aller Arbeitnehmer des Produzierenden Gewerbes waren 2004 in der Chemischen Industrie beschäftigt und erzielten dabei 10 % des Umsatzes des Produzierenden Gewerbes.

5.1 Datenbasis

Die Chemische Industrie wird in der Wirtschaftszweigklassifikation von 2003 unter der Nr. 24 „Herstellung von chemischen Erzeugnissen“ geführt. Die Branche weist ein großes Spektrum an Produkten auf. Daher kann die Entwicklung der Produktion nur mit Hilfe eines Index angegeben werden. Ein solcher wird vom Statistischen Bundesamt in seiner Fachserie 4, Reihe 2.1 ermittelt (StaBuA/FS4/R2.1).

Die wesentliche Datengrundlage für die Ermittlung des Energieverbrauchs und die Berechnung der CO_2-Emissionen ist die Energiestatistik für das Produzierende Gewerbe des Statistischen Bundesamts. Mit der Neuregelung der amtlichen Energiestatistik zum 1. Januar 2003 werden die entsprechenden Verbrauchswerte nunmehr in der Energieverwendungserhebung für das Produzierende Gewerbe publiziert, die auf Anfrage über das Statistische Bundesamt bezogen werden kann (StaBuA 2007b). Für die Chemische Industrie ist eine Unterscheidung des Energieverbrauchs in energetisch genutzte und rohstoffbedingt eingesetzte Mengen notwendig, da die Selbstverpflichtung der Branche sich alleinig auf die Minderung des energetischen Energieverbrauchs und der energiebedingten Treibhausgasemissionen bezieht (VCI 2001). Eine solche Abgrenzung erfolgt in der amtlichen Energieverwendungserhebung. Der rohstoffbedingte Verbrauch an Brennstoffen wird daher vom gesamten Energieverbrauch abgezogen.

Im Übergang von 2002 nach 2003 ist für einzelne Energieträger ein Bruch in den Zeitreihen zu erkennen. Beispielsweise ist für schweres Heizöl eine Halbierung des Verbrauchs zu erkennen. Nach Aussage des Statistischen Bundesamts ist dies der methodischen Umstellung der amtlichen Energiestatistik geschuldet, da seit 2003 eine nach Energieträgern weitaus differenziertere Erhebung bei den Unternehmen des Produzierenden Gewerbes erfolgt. Über alle Energieträger betrachtet ist keine Zäsur in den Verbrauchswerten zu erkennen.

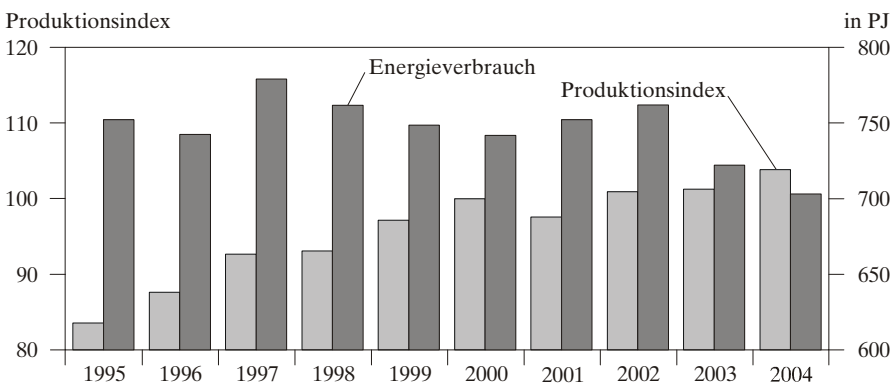
Für die Chemische Industrie sind neben CO_2 auch die Emissionen an Lachgas (N_2O) bedeutsam, die zum größten Teil bei der Produktion von Adipin- und Salpetersäure entstehen. Insbesondere für das Jahr 1990 ist die Datenverfügbarkeit für N_2O-Emissionen jedoch schwierig. Das Umweltbundesamt veröffentlicht im Rahmen seiner Treibhausgasberichterstattung Emissionsmengen zu N_2O, die durch Umrechnungen der Salpetersäure- und Adipinsäureproduktion anhand von Emissionsfaktoren ermittelt werden (UBA 2007a). Der für 1990 veröffentlichte Wert an N_2O-Emissionen der Chemischen Industrie beläuft sich auf 23,8 Mill. t CO_2-Äquivalente.

Seit 2002 wird die Salpetersäureproduktion nicht mehr gesondert von Statistischen Bundesamt in der Fachserie 4, Reihe 3.1 ausgewiesen. Das Umweltbundesamt ist daher auf Hilfsrechnungen zur Ermittlung der Produktionsmenge und der daraus errechneten N_2O-Emissionen angewiesen. Indessen erhebt der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) seit 2001 die N_2O-Emissionen bei seinen Mitgliedsunternehmen und stellt die Daten im Rahmen des Monitorings zur Verfügung. Dabei handelt es sich um tatsächlich anfallende Messwerte, die Angaben wurden somit nicht anhand von umgerechneten Produktionszahlen ermittelt.

5.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Chemische Industrie gehört zu den größten Energieverbrauchern im Produzierenden Gewerbe. Nur die Eisenschaffende Industrie hat einen Energieverbrauch von vergleichbarer Größenordnung. Zwischen 1995 und 2002 nahm der Energieverbrauch der Chemischen Industrie – ohne den rohstoffbedingten Bedarf an fossilen Brennstoffen – mit 1,3 % nur geringfügig zu, von rund 752 PJ auf knapp 762 PJ (Schaubild 5.2). Danach sank der Energieverbrauch auf etwa 703 PJ im Jahr 2004 und lag damit knapp 8 % unter dem Wert von 2002.

Schaubild 5.2
Produktionsindex (2000 =100) und Energieverbrauch der Chemischen Industrie
1995 bis 2004; Energieverbrauch ohne rohstoffbedingte Anteile



Nach Angaben des VCI im Rahmen des Monitoring.

Zwischen Produktion und Energieverbrauch ist eine merkliche Entkopplung festzustellen: Der Produktionsindex stieg zwischen 1995 und 2004 um gut 24 % (Schaubild 5.2), davon in den Jahren 2000 bis 2004 um insgesamt 4 %. Dabei entwickelte sich die Produktion in den einzelnen Chemiesparten uneinheitlich. Als sehr energieintensiv gelten die Produktion von chemischen Grundstoffen und Chemiefasern, die zusammen etwa 85% des gesam-

ten Energieverbrauchs ausmachen. Die Produktion von chemischen Grundstoffen sank 2003 im Vergleich zum Vorjahr um über 3 %, stieg 2004 indessen wieder um mehr als 5 % und lag damit um 3 % über der Produktion des Jahres 2000 (StaBuA/FS4/R2.1). Die Produktion in der Sparte der Chemiefasern lag 2004 knapp 20 % unter der Produktion des Jahres 2000. Den deutlichsten Produktionszuwachs von fast 13 % in diesem Zeitraum verzeichnete die Pharmasparte.

5.3 Ausgewählte Produktionsprozesse

Eine Besonderheit der Chemischen Industrie im Rahmen des Monitoring ist die Verwendung fossiler Energieträger sowohl für die Energieerzeugung und auch als Rohstoff für die Produktion. Davon besonders betroffen sind die Energieträger Steinkohle, schweres Heizöl und Erdgas (Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1
Verbrauch an Steinkohle, schwerem Heizöl und Erdgas
1990 bis 2004, gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohle	94,2	61,8	26,6	25,5	26,8	27,7	30,0	12,4
Davon rohstoffbedingt	28,5%	19,0%	22,1%	14,4%	6,6%	6,3%	9,3%	18,7%
Schweres Heizöl	79,9	100,7	98,3	77,5	80,5	79,0	37,5	30,4
Davon rohstoffbedingt	36,5%	45,1%	48,2%	55,4%	48,1%	56,2%	59,2%	63,3%
Erdgas	348,8	346,7	321,5	325,3	320,3	332,7	325,6	327,4
Davon rohstoffbedingt	27,3%	23,3%	24,2%	24,6%	22,4%	23,8%	29,1%	30,1%

Nach Angaben des VCI im Rahmen des Monitoring und StaBuA (2007b).

Insbesondere zur Herstellung von chemischen Grundstoffen werden die fossilen Energieträger als Rohstoff verwendet. Beispielsweise dient schweres Heizöl als Ausgangsstoff für die Produktion von Synthesegas zur Herstellung von Methanol, welches wiederum einer der zentralen chemischen Ausgangsstoffe ist. Auch Erdgas wird in Synthesegas umgewandelt und findet in der Produktion von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Ammoniak oder Methanol Verwendung.

5.4 Die Selbstverpflichtungserklärung

Der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) hat im März 1996 eine Klimaschutzerklärung für die Chemische Industrie abgegeben. Diese bezieht sich explizit auf die Reduzierung des *energiebedingten* Bedarfs fossiler Brennstoffe und der daraus folgenden CO_2-Emissionen und grenzt den rohstoffbedingten Bedarf aus. In dieser Erklärung hat die Chemische Industrie zugesagt, sowohl ihre energiebedingten CO_2-Emissionen als auch den energiebedingten spezifischen Energieverbrauch bis 2005 um 30 % gegenüber 1990 zu senken (Übersicht 5.1).

Übersicht 5.1
Die Selbstverpflichtungserklärungen der Chemischen Industrie

Ziele bis 2005	Verringerung des energiebedingten spezifischen Energieverbrauchs und der energiebedingten CO_2-Emissionen um jeweils 30 % gegenüber 1990.
Ziele bis 2012:	Verringerung des energiebedingten spezifischen Energieverbrauchs um 35 % bis 40 %. Verringerung der energiebedingten CO_2- und der N_2O-Emissionen in der Summe um 45 % bis 50 % CO_2-Äquivalente.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des VCI (2001).

Im Januar 2001 wurde eine weiterentwickelte Selbstverpflichtungserklärung für die Chemische Industrie abgegeben. Mit der weiterentwickelten Selbstverpflichtungserklärung verschärft die Chemische Industrie nicht nur ihre Ziele gegenüber ihrer Erklärung von 1996, sondern bezieht neben Kohlendioxid (CO_2) weitere Klimagase in die Verpflichtung ein.

Neben Kohlendioxid spielt nur noch das klimapotente Lachgas (N_2O) eine wesentliche Rolle für die Klimaschutzerklärung der Chemischen Industrie. N_2O-Emissionen haben eine um den Faktor 310 höhere Treibhausgasrelevanz als CO_2, d. h. jede Tonne N_2O-Emission ist genauso treibhauswirksam wie 310 Tonnen CO_2. Als wesentliche N_2O-Quelle nennt der VCI die Herstellung von Adipin- und Salpetersäure. Im Basisjahr 1990 betrugen die in CO_2-Äquivalenten ausgedrückten Lachgas-Emissionen etwa 23,8 Mill. t (UBA 2007a). Die Emissionen an fluorierten Gasen (Halogenierte Flourkohlenwasserstoffe und Perflourcarbone sowie Schwefelhexafluorid) sind nach Aussagen des VCI (2001) bereits in den Produktionsprozessen soweit minimiert worden, dass diese nicht mehr von Relevanz sind.

Konkret verpflichtet sich die Chemische Industrie in ihrer weiterentwickleten Selbstverpflichtungserklärung, ihre energiebedingten Treibhausgasemissionen bis 2012 um 45 % bis 50 % gegenüber 1990 zu senken (Über-

sicht 5.1). Ausgehend von 89,3 Mill. t CO_2-Äquivalenten im Jahr 1990 entspricht dies einem Zielkorridor von 45 bis 49 Mill. t CO_2-Äquivalente im Jahr 2012 (VCI 2001). Zudem verpflichtet sich die Chemische Industrie zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz: Der energiebedingte spezifische Energieverbrauch soll zwischen 1990 und 2012 um 35 % bis 40 % reduziert werden.

5.4 Bis 2004 erreichte Energieverbrauchs- und Treibhausgasminderungen

Der (energiebedingte) Verbrauch an fossilen Brennstoffen konnte gegenüber 1990 bis 2004 um 212,6 PJ, entsprechend 23,2 %, gesenkt werden (Tabelle 5.2). Demgegenüber hat sich die Produktion in diesem Zeitraum um mehr als 25 % erhöht. In der Folge sank bis 2004 der energiebedingte spezifische Energieverbrauch um 38,7 % gegenüber 1990. Die Chemische Industrie hat damit die Zusage, ihren spezifischen Energieverbrauch bis 2005 um mindestens 30 % zu senken, bereits 2004 deutlich erfüllt. Auch die Verpflichtung, den energiebedingten spezifischen Energieverbrauch bis 2012 um mindestens 35 % zu mindern, wurde in den beiden Berichtsjahren 2003 und 2004 erfüllt.

Tabelle 5.2
Entwicklung des Produktionsindex, des Energieverbrauchs und des spezifischen Energieverbrauchs
1990 bis 2004, ohne rohstoffbedingten Brennstoffverbrauch

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Energieverbrauch in PJ	915,8	752,1	741,7	752,1	761,9	722,1	703,2
Energieverbrauch, 1990=100	100	82,1	81,0	82,1	83,2	78,8	76,8
Produktionsindex, 1990=100	100	100,7	120,5	117,6	121,7	122,1	125,2
Spez. Energieeinsatz, 1990=100	100	81,6	67,2	69,8	68,4	64,6	61,3
Minderung in %	-	18,4	32,8	30,2	31,6	35,4	38,7
Erreichung des Ziel in %							
für 2005	-	61,5	109,4	100,6	105,4	118,0	128,9
für 2012	-	52,7	93,6	86,2	90,3	101,1	110,5

Nach Angaben des VCI im Rahmen des Monitoring.

Ausgehend von emittierten 65,5 Mill. t CO_2 im Jahr 1990 sanken die Emissionen der Chemischen Industrie bis 2004 um 21,2 Mill. t auf 44,3 Mill. t (Tabelle 5.3). Dies entspricht einer Minderung der absoluten CO_2-Emissionen um 32,4 %. Der energiebedingte spezifische CO_2-Ausstoß konnte in diesem Zeitraum gar um 46,1 % verringert werden. Auch die Minderungszusage der Chemischen Industrie, ihre energiebedingten CO_2-Emissionen bis 2005 um 30 % gegenüber 1990 zu senken, ist in der Berichtsperiode erfüllt worden.

Tabelle 5.3
Entwicklung der CO_2-Emissionen
1990 bis 2004, ohne rohstoffbedingte Emissionen

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. CO_2-Emissionen, 1990=100	100	75,4	60,2	62,6	61,3	57,5	53,9
CO_2-Emissionen in Mill. t	65,5	49,7	47,5	48,3	48,8	46,0	44,3
Minderung in %	-	24,1	27,5	26,3	25,5	29,8	32,4
Erreichung des Ziel für 2005 in %	-	80,3	91,6	87,7	84,9	99,4	108,0

Nach Angaben des VCI im Rahmen des Monitoring.

Mit Blick auf die Minderungszusage für 2012 aus der weiterentwickelten Klimaschutzselbstverpflichtung aus dem Jahre 2001, in der eine Reduktion der energiebedingten CO_2-Emissionen und der äquivalenten N_2O-Emissionen um mindestens 45 % zugesagt wurde, hat die Chemische Industrie bis 2004 ihre CO_2-Emissionen um mehr als 32 % zurückgeführt (Tabelle 5.3). Die N_2O-Emissionen sanken zwischen 1990 und 2004 aufgrund der Installation moderner Abluftreinigungstechnologien sogar um 62 %. Insgesamt wurden 2004 noch 53,4 Mill. t CO_2-Äquivalente emittiert, dies entspricht einer Reduktion von gut 40 % gegenüber 1990. Das Ziel einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 45 % bis 2012 ist 2004 bereits zu 90 % erfüllt worden.

Tabelle 5.4
Entwicklung der Treibhausgasemissionen
1990 bis 2004, in Mill. t ohne rohstoffbedingte Emissionen

	1990	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen	65,5	48,3	48,8	46,0	44,3
N_2O-Emissionen (CO_2-Äquivalent)	23,8	8,5	7,5	6,8	9,0
Insgesamt	89,3	56,8	56,3	52,8	53,3
Minderung in %	-	36,4	37,0	40,9	40,3
Erreichung des Ziel für 2012 in %		80,9	82,2	90,9	90,0

Nach Angaben des VCI im Rahmen des Monitoring.

5.5 Ursachenanalyse

Eine wesentliche Ursache der CO_2-Minderungen ist in der Änderung des Energiemix zu sehen. Die kohlenstoffreichen Energieträger Braun- und Steinkohle wurden zwischen 1990 und 2004 weitgehend durch andere Energieträger ersetzt (Tabelle 5.5). 1990 sind knapp 916 PJ Energie verbraucht worden, die zu 9 % aus Steinkohle und zu 13 % aus Braunkohle gewonnen wurden. Insgesamt wurden dabei 65,5 Mill. t CO_2 emittiert. Jedes GJ Energie war demnach mit CO_2-Emissionen in Höhe von 71,6 kg verbunden. 2004 wurden die 703 PJ Energie zu rund einem Drittel aus dem vergleichsweise

kohlenstoffarmen Erdgas und zu 60 % aus Fremdstrom gewonnen. Dies führte zu 44,3 Mill. t CO_2-Emissionen. Mit jedem GJ Energieverbrauch wurden 2004 damit 62,9 kg CO_2 emittiert.

Tabelle 5.5
Wandel im Energiemix der Chemischen Industrie
1990 bis 2004

	1990	1995	2003	2004
Energieverbrauch insgesamt	915,8 PJ	752,1 PJ	722,1 PJ	703,2 PJ
davon aus:				
Steinkohle(produkten)	9%	8%	4%	1%
Braunkohle(produkten)	13%	3%	1%	1%
Mineralöl(erzeugnissen)	7%	11%	5%	4%
Gas	28%	36%	33%	33%
Netto-Fremdstrom	42%	42%	58%	60%
CO_2-Emissionen in Mill. t	65,5	49,7	46,0	44,3
CO_2-Gehalt in kg CO_2/GJ	71,6	66,1	63,7	62,9

Eigene Berechnungen.

Den Effekt des Wandel im Energiemix wird deutlich, wenn man die 703 PJ verbrauchte Energie des Jahres 2004 mit dem CO_2-Gehalt je GJ des Jahres 1990 multipliziert, d.h. wenn man den Energiemix über die Zeit konstant hält. Dies führt für 2004 zu fiktiven CO_2-Emissionen in Höhe von 50,3 Mill. t. Entsprechend wurden gegenüber 1990 im Jahr 2004 durch den Wandel des Energiemix rund 6 Mill. t CO_2 eingespart.

Aus Tabelle 5.5 ist der zunehmende Anteil des Fremdstroms ersichtlich, der insbesondere zu Lasten der Eigenstromerzeugung ging. Allerdings ist die Chemische Industrie innerhalb des Produzierenden Gewerbes nach wie vor der größte Eigenstromerzeuger; rund ein Drittel der gesamten Brutto-Eigenstromerzeugung im Produzierenden Gewerbe wurde in Kraftwerken der Chemischen Industrie erzeugt. Der Wandel im Energiemix der Chemischen Industrie ist auch in der Eigenstromerzeugung zu erkennen. So ist in aus Tabelle 5.6 erkennbar, dass kohlenstoffreiche Kohle als Energieträger für die Stromerzeugung in industrieeigenen Kraftwerken der Chemischen Industrie deutlich an Bedeutung verloren hat, kohlenstoffarmes Gas hingegen relativ bedeutsamer geworden ist. Dies bedeutet, dass die Brutto-Eigenstromerzeugung je kWh im Berichtszeitraum 2003 und 2004 weit weniger CO_2 emittiert als noch 1990.

Tabelle 5.6
Energiemix für die Brutto-Stromerzeugung der Chemischen Industrie
1990 bis 2004, in Prozent

	1990	1995	2003	2004
Kohle	40%	23%	13%	7%
Gas	48%	63%	68%	73%
Heizöl	4%	4%	5%	5%
Sonstiges	8%	10%	14%	15%
Insgesamt	100%	100%	100%	100%

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts, Fachserie 4, Reihe 6.4.

5.6 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Die CO_2-Minderungsmaßnahmen der Chemischen Industrie in den Berichtsjahren 2003 und 2004 konzentrierten sich auf die Bereiche Energieerzeugung und Energieverwendung und werden im Fortschrittsbericht 2003/2004 der Chemischen Industrie geschildert (VCI 2007b). Diese Maßnahmen summieren sich zu einer Emissionsverringerung von etwa 267 000 t CO_2 (Tabelle 5.7). Daneben erwähnt der Fortschrittsbericht eine Reihe von Schulungs- und Fortbildungsmaßnahmen, die in ihrer Wirkung jedoch nicht quantifizierbar sind.

Tabelle 5.7
Minderungsmaßnahmen der Chemischen Industrie
2003 und 2004, CO_2-Einsparung in 1000 t

Energieerzeugung	Einsparung	Energienutzung	Einsparung
Ausbau KWK	93,0	Verstärkter Einsatz des Membranverfahrens bei der Chlorherstellung	25,0
Optimierung der Dampferzeugung	24,0	Optimierung des Anlagenbetriebs	10,0
Erzeugung von Bioenergie	73,5	Umstellung und Optimierung des Produktionsprozesses	24,2
Optimierung des Energiebedarfs und der Feuerungssteuerung	13,6	Wärmerückgewinnung	2,9
Verbesserung der Drucklufterzeugung	0,8		
Insgesamt	204,9	Insgesamt	62,1

Nach Angaben des VCI (2007b) im Rahmen des Monitoring.

Im Rahmen einer verbesserten Energieerzeugung sind die bedeutendsten Maßnahmen in einem Ausbau der Kraft-Wärmekopplung und in der Brenn-

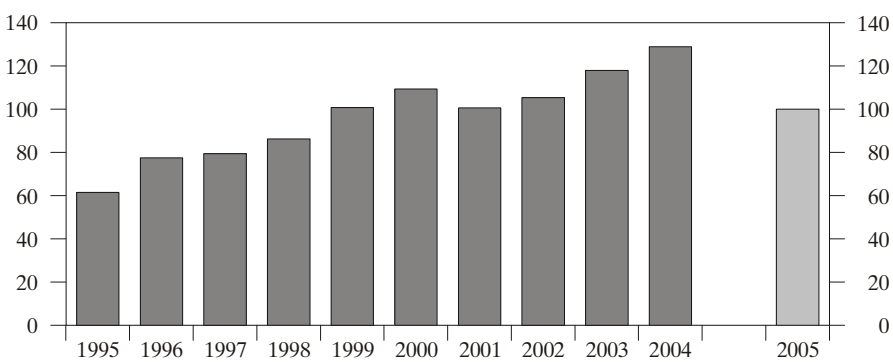
stoffsubstitution zu verzeichnen. Durch das zusätzliche Anbringen einer Gasturbine vor einen Hochdruckdampferzeuger können in einer Anlage nunmehr 340 GWh pro Jahr Strom zusätzlich erzeugt werden und müssen nicht mehr aus dem öffentlichen Netz bezogen werden. Dies führt netto zu einer CO_2-Einsparung von rund 93 000 t. Zudem führte die Umrüstung eines Hochdruckdampferzeugers von Erdgas auf Biomasse zu einer Emissionsminderung von etwa 72 000 t CO_2. In einem anderen Fall wird Biogas aus Arzneimittelrückständen gewonnen und in einem Blockheizkraftwerk verstromt, verbunden mit einer Emissionsreduktion von 1 500 t CO_2.

Im Rahmen der Energienutzung ist die bedeutendste Emissionsminderungsmaßnahme in der Produktion von Chlor zu finden. Für die Chlorherstellung werden ca. 20 % des Gesamtverbrauchs der Branche an Strom benötigt. Das modernste und energieeffizienteste Produktionsverfahren zur Chlorherstellung ist derzeit das Membran-Elektrolyse-Verfahren. Der Neubau von Elektrolyse-Anlagen zur Chlorherstellung auf Basis des Membranverfahrens wurde im Berichtszeitraum weiter vorangetrieben. Inzwischen sind nach Angaben des VCI (2007b) rund 35 % aller installierten Anlagen auf das Membranverfahren umgestellt, was zu einer weiteren CO_2-Emissionsreduktion von jährlich etwa 25 000 t führt.

5.7 Zusammenfassung und Bewertung

Insgesamt ist festzustellen, dass die Chemische Industrie beide für 2005 avisierten Zielmarken im Jahr 2004 erfüllt hat (Schaubilder 5.3 und 5.4). Die Erfüllung der Klimaschutzzusage aus dem Jahr 1996 ist daher unmittelbar greifbar.

Schaubild 5.3
Zielerreichungsgrad für den energiebedingten spezifischen Energieverbrauch
1995 bis 2004, in %, Zielzeitpunkt 2005

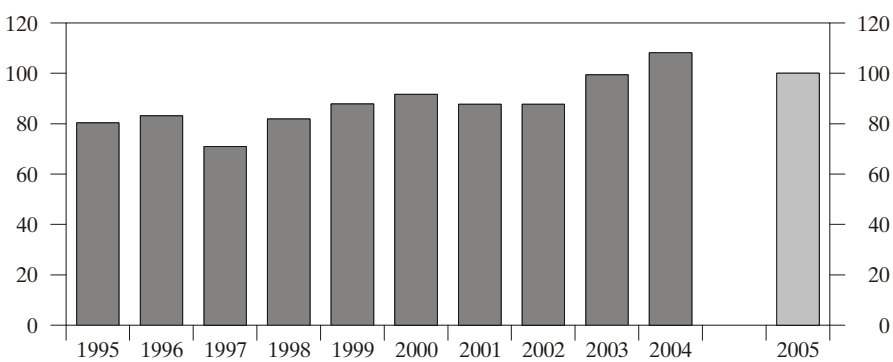


Eigene Berechnungen.

Ein Teil dieses Erfolgs ist einem geänderten Energiemix zuzuschreiben, also der Substitution von kohlenstoffreichen durch kohlenstoffarme Energieträger. Für die Zukunft sind auf diesem Wege indessen eher keine weiteren Erfolge zu erwarten, da der nicht rohstoffbedingte Energieverbrauch mittlerweile zu 93 % aus Erdgas und Strom besteht.

In den letzten Jahren sind vermehrt Ausgründungen der industrieeigenen Energieabteilungen und Kraftwerken zur Stromerzeugung festzustellen, die in der Folge nicht mehr der Chemischen Industrie sondern der allgemeinen Elektrizitätsversorgung zuzurechnen sind (VCI 2007b). Dies hat den statistischen Effekt, dass der Brennstoffverbrauch dieser Kraftwerke in der allgemeinen Elektrizitätsversorgung verbucht wird und die Chemische Industrie nunmehr mit einem erhöhten Fremdstrombezug belastet wird. Gemäß den Konventionen des Monitorings wird Fremdstrom mit einem Faktor von 67 kg CO_2/MWh bewertet, welcher den durchschnittlichen CO_2-Emissionsfaktor für Strom der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft für das Basisjahr 1990 darstellt. Ein Kraftwerk neuerer Bauart dürfte jedoch deutlich effizienter arbeiten und daher auch weniger CO_2-Emissionen verursachen. Werden von der Chemischen Industrie daher neuere Kraftwerke an die allgemeine Elektrizitätsversorgung abgegeben, kommen die Effizienzverbesserungen und Emissionsminderungen nur der allgemeinen Elektrizitätsversorgung zugute, während die Chemische Industrie mit dem vergleichsweise hohen CO_2-Emissionswert für Fremdstrombezug belastet wird. Effektiv kann daher der Weg des vermehrten Fremdstrombezugs für die Chemische Industrie im Rahmen des Monitoring eher einen nachteiligen Effekt haben.

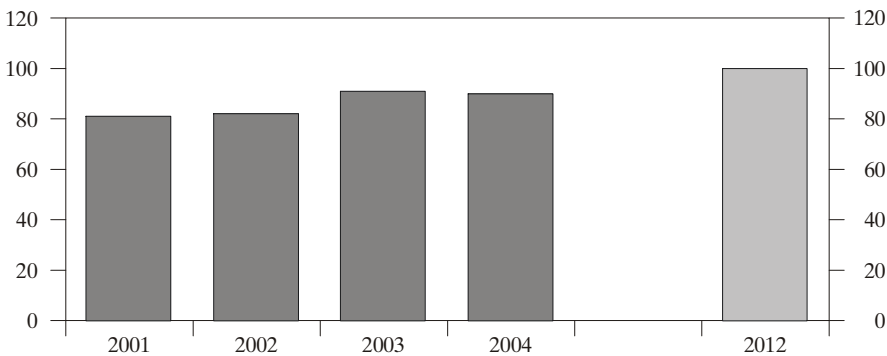
Schaubild 5.4
Zielerreichungsgrad für die energiebedingten CO_2-Emissionen
1995 bis 2004, in %, Zielzeitpunkt 2005



Eigene Berechnungen.

Für 2012 hat die Chemische Industrie zugesagt, ihre Emissionen an CO_2 und N_2O um mindestens 45 % gegenüber 1990, auf in Summe nicht mehr als 49 Mill. t CO_2-Äquivalente zurückzuführen. Derzeit scheint es, dass dieses Ziel durchaus erreicht wird, da die Zusage bereits 2004 zu 90 % erfüllt war (Schaubild 5.5).

Schaubild 5.5
Zielerreichungsgrad für die energiebedingten Treibhausgas-Emissionen
1995 bis 2004, in %, Zielzeitpunkt 2012

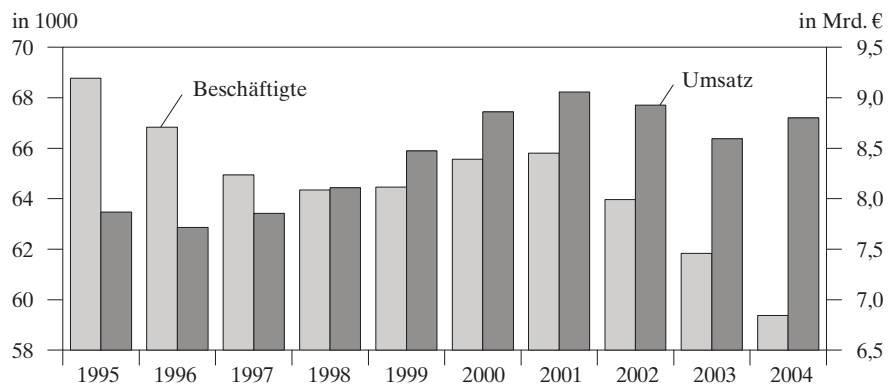


Eigene Berechnungen.

6. Die Glasindustrie

Die Erzeugnisse der Glasindustrie finden in vielen Bereichen Verwendung. Zu den wichtigsten Abnehmern zählen neben der Ernährungs- und Getränkeindustrie die Kraftfahrzeugindustrie sowie die Bauwirtschaft. Entgegen der seit 1995 rückläufigen Entwicklung in der Bauwirtschaft stiegen Produktion und Umsatz der Glasindustrie bis 2001 beständig an (Schaubild 6.1 und 6.2). In den Jahren 2002 und 2003 ging der Umsatz im Inland allerdings deutlich zurück. Dies konnte auch durch das Auslandsgeschäft nicht kompensiert werden (BV Glas 2005: 3): Der Gesamtumsatz der Branche sank 2003 um 2,7 % auf 8,6 Mrd. €. Obwohl die Inlandsnachfrage auch 2004 schwach blieb, verzeichnete die Glasindustrie wieder ein Umsatzwachstum von 2,4 %. Der Zuwachs auf 8,8 Mrd. € wurde erneut vom Auslandsumsatz getragen, welcher um 6,2 % zulegte. Insgesamt wurde zwischen 1995 und 2004 in der Glasindustrie ein durchschnittliches Umsatzwachstum von 1,3 % erzielt.

Schaubild 6.1
Beschäftigte und Umsatz in der Glasindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Die Glasindustrie umfasst überwiegend mittelständische Unternehmen. 2004 waren in den 432 Betrieben 59 373 Arbeitnehmer beschäftigt (Schaubild 6.2). Auf das gesamte Verarbeitende Gewerbe bezogen liegt der Anteil der Glasindustrie bei 1 % der Beschäftigten und 0,6 % des Umsatzes. Damit zählt die Glasindustrie hinsichtlich Umsatz und Beschäftigung zu den eher kleineren Industriezweigen.

6.1 Datenbasis

In der Abgrenzung der Systematik der Wirtschaftszweige (WZ 93) findet sich die Glasindustrie in Position 26.1 „Herstellung von Glas und Glaswaren“. Hierzu zählen neben der eigentlichen Herstellung von Glas – dem so genannten Hüttenglas – auch Wirtschaftszweige, in denen Glas veredelt und/oder weiter verarbeitet wird.[7] Die Gliederung der WZ 93 erlaubt nur bedingt eine eindeutige Unterscheidung zwischen Glas schmelzenden und weiter verarbeitenden bzw. veredelnden Bereichen. So wird in der amtlichen Statistik zwischen Flachglasschmelzbetrieben (WZ 26.11 „Herstellung von Flachglas“) und weiterverarbeitenden Betrieben (WZ 26.12 „Veredlung und Verarbeitung von Flachglas“) getrennt, während diese Trennung für die anderen Glas-Segmente – auch aus technischen Gründen – vom Statistischen Bundesamt nicht vorgenommen werden kann.

Der Produktionswert für die Herstellung von Glas und Glaswaren enthält daher Doppelzählungen. Hinzu kommt, dass das Statistische Bundesamt die produzierten Mengen in der Produktionsstatistik (Fachserie 4, Reihe 3.1) nicht durchgängig in Tonnen ausweist und es eine Vielzahl von Geheimhaltungsfällen gibt. Die amtlichen Produktionsdaten sind daher für das Monitoring, das sich an den CO_2-Emissionen je Tonne Output orientiert, nicht geeignet. Aus diesen Gründen wird die produzierte Tonnage an Hüttenglas vom Bundesverband Glasindustrie e.V. (BV Glas) auf Basis einer jährlichen Datenerhebung bei allen Mitgliedsunternehmen ermittelt. Der Erfassungsgrad der Umfrage beträgt etwa 80 % der deutschen Nettoproduktion an Hüttenglas.

Die Daten zum Einsatz an Strom und fossilen Energieträgern beruhen wie in früheren Jahren auch auf Angaben des Statistischen Bundesamtes. Bis 2002 wurden sie der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, entnommen. Seit 2003 wird die Energieverwendung nicht mehr in der Fachserie 4, sondern als eigenständige Statistik veröffentlicht. Im Zuge dieser Änderung wurde die Statistik einer methodischen und konzeptionellen Überarbeitung unterzogen. Dies hat bei einigen Energieträgern zu erheblichen Abweichungen gegenüber früheren Jahren geführt. Für Kokereigas wird ab 2003 für die Glasindustrie kein Verbrauch mehr ausgewiesen, erstmalig stattdessen für Flüssiggas. Insgesamt hat sich hierdurch ein Bruch in der Zeitreihe des Energieverbrauchs ergeben. Die Ergebnisse des Monitorings für 2003 und 2004 sind daher mit Ergebnissen aus früheren Jahren nur noch eingeschränkt vergleichbar.

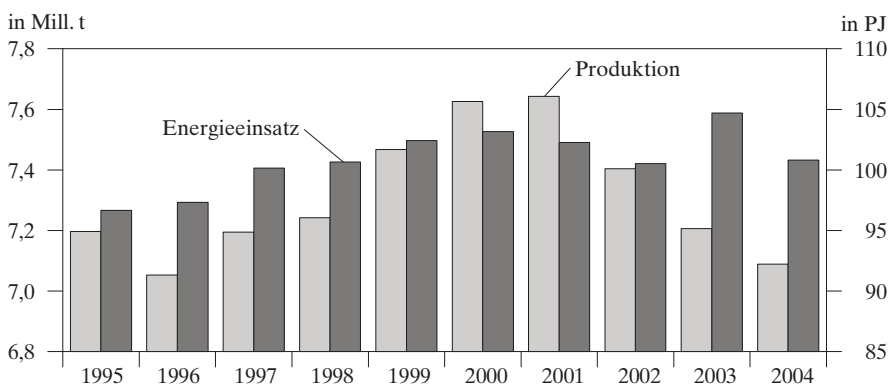
[7] Auf Grund des Herstellungsverfahrens (Schmelz-Verfahren) zählt genau genommen auch die Produktion von Wasserglas zur Glasindustrie. Sowohl Produktion als Energieverbrauch werden jedoch in der chemischen Industrie erfasst.

Neben dem Energieeinsatz für die Produktion von Hüttenglas enthält die Energieverwendungsstatistik auch jenen für die Veredlung und Weiterverarbeitung, der strenggenommen nicht der Glas erzeugenden Industrie zuzurechnen ist. Allerdings benötigen die Veredlung und Weiterverarbeitung nach Informationen des BV Glas nur einen Bruchteil der Energie, die für die Glasschmelze erforderlich ist. Wie bereits in der Vergangenheit wird daher auf eine Bereinigung der Energiedaten verzichtet. Für die Bewertung von Maßnahmen zur CO_2-Minderung wird auch in diesem Bericht der Fortschrittsbericht des Verbandes der Glasindustrie zu Grunde gelegt.

6.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Produktion von Hüttenglas stieg zwischen 1995 und 2001 von 7,2 auf 7,6 Mill. t, ging bis 2004 jedoch um 6,6 % auf 7,1 Mill. t zurück (Schaubild 6.2). Der jährliche Energieverbrauch bewegt sich seit 1990 weitgehend stabil um einen Wert von etwa 100 PJ.

Schaubild 6.2
Produktion und Energieverbrauch in der Glasindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und des Bundesverbandes Glasindustrie e.V. im Rahmen des Monitoring.

Zwischen 1995 und 2000 stieg der Verbrauch deutlich stärker als die Produktion. Während die Produktion um 5,6 % zunahm, wuchs der Energieverbrauch um 6,7 % von fast 97 PJ auf ca. 103 PJ. Bis 2002 sank der Verbrauch wieder in etwa auf das durchschnittliche Niveau von 100 PJ. Im Jahr 2003 zeigt der Energieverbrauch der Glasindustrie einen Anstieg auf fast 105 PJ. Ursache war weder eine Veränderung der Produktion noch Effizienzverluste beim Energieeinsatz, sondern vielmehr die Neukonzeption der Energieverbrauchsstatistik durch das Statistische Bundesamt. Diese wies 2003 erstmalig einen Verbrauch von 5,6 PJ an Flüssiggas aus, dessen Höhe

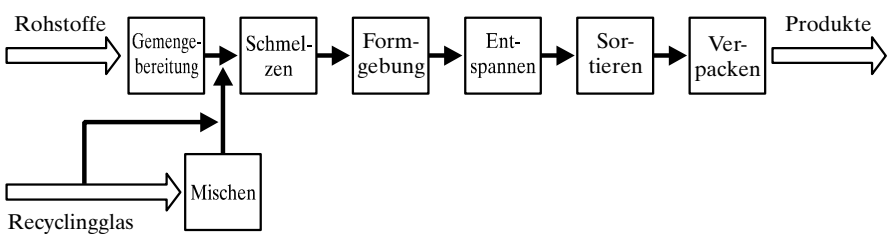
nach Angaben des Verbandes nicht nachvollziehbar ist. Im Jahr darauf lag der ausgewiesene Verbrauch von Flüssiggas bei nur noch 0,2 PJ und der Energieverbrauch insgesamt bei knapp 101 PJ (Tabelle 6.4).

Laut Bundesverband ist die Glasindustrie eine der energieintensivsten Industrien (BV Glas 2007: 1). Der Anteil am Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes lag 2003 und 2004 bei 3,8 bzw. 3,4 %. Zieht man als Anhaltspunkt für die Energieintensität der Branche das Verhältnis von Energieverbrauch und Umsatz heran, so wird die Einschätzung des Verbandes gestützt: Mit 11,5 MJ/€ Umsatz im Jahr 2004 stellt sich die Glasindustrie gegenüber dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes von 2,1 MJ/€ als energieintensiv dar. Mit einem Wert von 14,0 MJ pro € der zum Absatz bestimmten Produktion liegt die Glasindustrie unter den Industriezweigen des Verarbeitenden Gewerbes auf einem mittleren Rang (StaBuA, FS 4, R. 3.1 und R. 4.1.1).

6.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Die Glasindustrie stellt eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte her, die sich grob in vier Produktgruppen einteilen lassen: Flachglas, Hohlglas, Gebrauchs- und Spezialgläser sowie Glas- und Mineralfasern. Flachglas wird hauptsächlich im Bausektor und in der Fahrzeugindustrie eingesetzt. Gebrauchs- und Spezialgläser werden zu unterschiedlichen industriellen und technischen Zwecken hergestellt. Bei Hohlglas wird zwischen Behälterglas in Form von Flaschen und anderen Verpackungen aus Glas sowie Kristall- und Wirtschaftsglas unterschieden, dass von privaten Haushalten sowie in konsumnahen Bereichen genutzt wird. Glas- und Mineralfasern werden beispielsweise als Dämmstoffe eingesetzt (BV Glas 2004a: 14 und 2004b: 2).

Schaubild 6.3
Prinzipieller Ablauf der Glasherstellung



Nach Angaben des VIK – Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (1998).

Der Herstellungsprozess für Glasprodukte umfasst mehrere Schritte (Schaubild 6.3). Vor allem der zweite und dritte Schritt – das Schmelzen und die Formgebung – sind mit hohem Energieeinsatz verbunden und damit für

das CO_2-Monitoring von Bedeutung. Ein zusätzlicher, ebenfalls für das Monitoring relevanter Arbeitschritt besteht gegebenenfalls in der Veredlung von Glas.

Entsprechend der zu produzierenden Glassorte bzw. des herzustellenden Glasprodukts werden die Rohstoffe Glassand, Soda, Kalk, Dolomit und Scherben sowie weitere Rohmaterialien zu einer homogenen Menge – dem so genannten Glassatz – gemischt und anschließend dem Schmelzprozess zugeführt. Die Schmelze erfolgt in Glasschmelzwannen bei Temperaturen bis 1 680° C (VIK 1998: 57). Kontinuierlich arbeitende Glaswannen werden zur Herstellung großer Mengen an Flach- oder Hohlglas verwendet. Auf diese Weise wird der überwiegende Teil der Produktionsmenge erzeugt. Kleinere Glasmengen werden dagegen in so genannten Tageswannen oder Hafenöfen erschmolzen, die je nach Bedarf benutzt werden (Buttermann, Hillebrand 2002: 157).

Zum Abschluss der Glasbildung werden durch so genannte Läuterungsmittel Gasblasen gebildet, um die Schmelze zu homogenisieren. Dies geschieht ferner durch Einblasen von Luft und/oder mechanisches Rühren (VIK 1998: 57). Vor der Weiterverarbeitung kühlt die Gasschmelze in einer Arbeitswanne auf die für die Formgebung erforderliche Temperatur ab. Die Verfahren zur Formgebung reichen von verschiedenen Ziehverfahren zur Herstellung unterschiedlicher Flachglassorten über die Herstellung von Hohlglas durch druckluftbetriebene Blas- und/oder Pressmaschinen in der Produktion von Behälterglas bis hin zu traditionellen Mundblasverfahren und halbautomatischen Pressen für die Herstellung hochwertiger Hohlglasprodukte wie etwa Bleikristallglas.

Für Behälterglas kann in erheblichem Umfang Recyclingglas eingesetzt werden. Bei ausreichender Qualität der gesammelten Scherben kann der Anteil an Altglas bei einigen Sorten bis zu 90 % betragen (VIK 1998: 57). Recyclingglas sowie Scherben, die als Ausschuss bei der Sortierung anfallen, stellen einen wichtigen Sekundärrohstoff in der Behälterglasproduktion dar. Bei der Produktion von Flachglas sind Fremdscherben aus Aufbereitungen auf Grund der hohen Qualitätsanforderungen nur in sehr begrenztem Umfang einsetzbar.

Verglichen mit der Herstellung von Glas aus den Rohmaterialien wird beim Einsatz von Altglas deutlich weniger Energie benötigt. Grob geschätzt verringert die Beimischung eines Scherbenanteils von 10 % den Energieaufwand für den Schmelzprozess um 2 - 3 %. Da über 80 % des Energiebedarfs bei der Glasherstellung auf den Schmelzprozess entfallen, stellt Altglasrecycling eine sehr wichtige Option für die Einhaltung der freiwilligen Selbstverpflichtung der Glasindustrie dar (VIK 1998: 58-60).

Die Glasschmelze macht einen großen Wärmebedarf erforderlich, um die notwendigen hohen Temperaturen zu erzielen. Um den Energieverbrauch zu reduzieren, bietet es sich an, die dabei anfallende Abwärme zu nutzen. Hierzu gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Gegenwärtig wird Abwärme vor allem zur Vorwärmung der Verbrennungsluft eingesetzt. Bei der Wärmerückgewinnung wird zwischen regenerativen und rekuperativen Systemen unterschieden. Bei *regenerativen* Systemen strömen die heißen Verbrennungsabgase wechselweise durch eine von zwei Kammern am Schmelzofen vorbei. Dort geben diese Abgase Wärme an Steine ab, die diese speichern. Im Gegenzug strömt Frischluft, welche für den Verbrennungsprozess notwendig ist, durch die jeweils andere Kammer und erwärmt sich dabei.

Rekuperative Systeme sind dadurch gekennzeichnet, dass die heißen Verbrennungsabgase an einer dünnen Trennwand entlang geführt werden, auf deren Rückseite kalte Frischluft entlang strömt. Für größere Schmelzwannen haben sich regenerative Systeme gegenüber kontinuierlich arbeitenden rekuperativen Systemen als effektiver erwiesen. Nach der Vorwärmung der Verbrennungsluft kann aus den immer noch heißen Abgasen weitere Wärme zurück gewonnen werden, z.B. um den Glassatz vorzuwärmen (VIK 1998: 57-59).

6.4 Die Selbstverpflichtungserklärung

Der Bundesverband Glasindustrie hat sich in seiner Erklärung vom 3. April 2001 stellvertretend für die Glasindustrie bereit erklärt, den spezifischen CO_2-Ausstoß bis 2005 um 10 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Während in der bis 2000 gültigen freiwilligen Selbstverpflichtung das Jahr 1987 als Basisjahr diente, wurde mit der aktuell gültigen Erklärung auf das Jahr 1990 umgestellt.

Übersicht 6.1
Selbstverpflichtung der Glasindustrie

Ziel 2005	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 10 % auf 964 kg CO_2/t Hüttenglas.
Basisjahr	1990

Angaben des Bundesverbandes Glasindustrie (BV Glas 2001: 1).

Im Basisjahr 1990 produzierte die Glasindustrie nach Angaben des Verbandes 5,9 Mill. t verkaufsfähiges Hüttenglas („Netto-Glas"). Der dazu gehörige Energieverbrauch wurde dem Statistischen Jahrbuch 1991 entnommen (StaBuA 1991: 208, 220, 225). Auf Basis der im Monitoring verwendeten Umrechnungsfaktoren für die verschiedenen Energieträger ergibt sich für 1990 ein Energieeinsatz von knapp 100 PJ, verbunden mit CO_2-Emissionen

von insgesamt 6,3 Mill. t. Die spezifischen CO_2-Emissionen betrugen 1 071 kg CO_2/t Hüttenglas. Aus der Selbstverpflichtungserklärung leitet sich damit ein Reduktionsziel von 964 kg CO_2/t für das Jahr 2005 ab.

6.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Die Glasindustrie unterschreitet bereits seit 1995 die in ihrer Selbstverpflichtungserklärung genannte Zielmarke von 964 kg CO_2/t Hüttenglas (Tabelle 6.1). 1995 lagen die spezifischen Emissionen mit 834 kg CO_2/t um mehr als 22 % unter dem Wert des Basisjahres. Seither konnten allerdings kaum Verbesserungen erzielt werden. Im Gegenteil: Aufgrund der Umstellung der Energiestatistik stiegen die spezifischen Emissionen 2003 deutlich an. Damit verbunden war ein Rückgang des Zielerreichungsgrades. 2004 ging der spezifische Ausstoß um 2,4 % auf 874 kg CO_2/t zurück.

Tabelle 6.1
Spezifische CO_2-Emissionen und Zielerreichungsgrad der Glasindustrie
1990 bis 2004; Ziel: Spezifische Emissionen -10 % bis 2005 auf 964 kg CO_2/t

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Emissionen in kg CO_2/t	1 071	834	849	836	828	837	896	874
Minderung in %	-	22,2	20,7	21,9	22,7	21,8	16,4	18,4
Zielerreichungsgrad in %	-	222	207	219	227	218	164	184

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und des Bundesverbandes Glasindustrie e.V.

Die absoluten CO_2-Emissionen unterlagen zwischen 1999 und 2004 nur geringfügigen Schwankungen und bewegten sich im Großen und Ganzen auf dem Niveau des Basisjahres 1990 (Tabelle 6.2). Die CO_2-Emissionen stellen ein perfektes Spiegelbild des Energieverbrauchs dar, wie ein Korrelationskoeffizient von 0,99 für den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und CO_2-Emissionen deutlich zeigt. Der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Produktion ist hingegen nicht ganz so stark ausgeprägt. Ein entsprechender Korrelationskoeffizient von 0,53 zeigt an, dass der Energieverbrauch nicht vollkommen Hand in Hand mit einer wachsenden Produktionsmenge ansteigt.

Tabelle 6.2
Produktion und CO_2-Emissionen der Glasindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Emissionen, Mill. t	6,3	6,0	6,3	6,4	6,3	6,2	6,5	6,2
Produktion, Mill. t	5,9	7,2	7,5	7,6	7,6	7,4	7,2	7,1
Energieverbrauch, PJ	99,9	96,7	102,4	103,2	102,3	100,5	104,7	100,8

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und des Bundesverbandes Glasindustrie e.V.

6.6 Ursachenanalyse

Beinahe dasselbe Bild wie bei den spezifischen Emissionen zeigt sich beim spezifischen Energieverbrauch. Auch hier sind die wesentlichen Einsparungen zwischen 1990 und 1995 erzielt worden (Tabelle 6.3). Die Vermutung liegt nahe, dass diese Einsparungen aufgrund der Schließungen ineffizienter Betriebe mit veralterter Technik in Ostdeutschland nach der Wiedervereinigung erzielt worden sind. Innerhalb von nur zwei Jahren wurden hier zwei Drittel der Arbeitsplätze abgebaut (IGBCE 2003: 12). Da andererseits die Produktionsmenge in diesem Zeitraum gestiegen ist, kann der Rückgang der Produktionskapazitäten in Ostdeutschland durchaus zu einer Erhöhung der Auslastungsgrade der verbliebenen Kapazitäten geführt haben, die sich positiv auf die Entwicklung der spezifischen Emissionen und des spezifischen Energieverbrauchs ausgewirkt haben könnte.

Tabelle 6.3
Spezifischer Energieverbrauch der Glasindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Verbrauch, GJ/t	17,0	13,4	13,7	13,5	13,4	13,6	14,5	14,2
Minderung in %	-	21,0	19,3	20,4	21,3	20,1	14,5	16,3

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und des Bundesverbandes Glasindustrie e.V.

Zwischen 1995 und 2002 waren indessen kaum Verbesserungen des spezifischen Energieverbrauchs mehr festzustellen: Nach einem leichten Anstieg gegen Ende der 1990er Jahre erreichte der spezifische Verbrauch erst 2001 mit 13,4 GJ/t wieder das Niveau von 1995. Analog zum Energieverbrauch weist der spezifische Verbrauch wegen der Umstellung der Energieverwendungsstatistik 2003 einen deutlichen Sprung auf. 2004 ging der spezifische Energieverbrauch um 2,1 % auf 14,2 GJ/t zurück. Die Ähnlichkeiten bei der Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs und der spezifischen Emissionen sind für eine energieintensive Branche nicht überraschend. Es kann davon ausgegangen werden, dass der spezifische Energieverbrauch die Höhe der spezifischen Emissionen in entscheidendem Maße bestimmt.

Einen Beitrag zur Verringerung des spezifischen CO_2-Ausstoßes leistet auch die Substitution von Energieträgern mit hohem Kohlenstoffgehalt wie Braunkohle durch kohlenstoffarme Brennstoffe wie Erdgas. Zwischen 1990 und 2004 stieg der Erdgasverbrauch der Glasindustrie um fast 29 % an. Vor allem zwischen 1990 und 1995 ist der Anteil kohlenstoffreicher Energieträger aufgrund der Betriebsschließungen in Ostdeutschland erheblich zurückgegangen. Im Gegensatz zu den Hütten und Fabriken in den alten Bundesländern verwendeten die Unternehmen der neuen Bundesländer noch bis 1993 Stein- und Braunkohleprodukte. Seit 1991 wurden in den alten Bun-

desländern keine Kohleprodukte mehr für den Produktionsprozess eingesetzt.

Während der Einsatz von Braunkohlenkoks gänzlich aufgegeben wurde, sank der Verbrauch an schwerem Heizöl zwischen 1990 und 1995 um 2,5 PJ (Tabelle 6.4). Dies wurde durch eine Steigerung des Erdgaseinsatzes um 7,8 PJ mehr als ausgeglichen. Nach Angaben des BV Glas wurde Kokereigas bis 1995 ebenfalls in erheblichem Umfang durch Erdgas ersetzt. Flüssiggas wird vom Statistischen Bundesamt für die Glasindustrie erstmalig 2003 mit 5,6 PJ ausgewiesen. Ein Jahr später lag der Verbrauch bei nur noch 0,2 PJ. Die Differenz von 5,4 PJ entspricht exakt dem Rückgand des Verbrauchs von Primärenergieträgern. Eine entsprechende Substitution durch andere Energieträger hat demnach 2004 nicht stattgefunden. Ein Produktionsrückgang scheidet als Erklärung jedoch ebenfalls aus. Der Nettofremdstrombezug hat bis 2004 um 13 % gegenüber 1990 zugenommen. Zusammen hatten Erdgas und Strom im Berichtszeitraum einen Anteil von etwa 90 % am gesamten Energieverbrauch der Branche. Dass in der Glasindustrie überwiegend Erdgas und elektrische Energie eingesetzt werden, liegt daran, dass die Glasschmelze größtenteils mit Erdgas betrieben wird, während elektrische Energie vorwiegend in solchen Produktionsphasen Verwendung findet, die der Schmelze nach gelagert sind, z.B. in der Weiterverarbeitung und Veredelung.

Tabelle 6.4
Veränderung des Energiemix in der Glasindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Braunkohlenkoks	2,3	-	-	-	-	-	-	-
Schweres Heizöl	13,0	10,5	10,0	9,7	9,9	8,8	7,4	7,1
Leichtes Heizöl	1,5	1,3	1,0	1,0	0,6	0,5	0,4	0,5
Erdgas	36,0	43,8	46,9	46,7	45,3	45,7	46,1	46,3
Flüssiggas	-	-	-	-	-	-	5,6	0,2
Kokereigas	5,7	0,3	0,1	0,3	0,4	0,4	-	-
Primärbrennstoffe	58,5	55,9	58,0	57,7	56,2	55,4	59,5	54,1
Nettofremdstrom	41,3	40,7	44,5	45,5	46,1	45,1	45,2	46,6
Energieverbrauch	99,8	96,6	102,5	103,2	102,3	100,5	104,7	100,7

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und des Bundesverbandes Glasindustrie e.V.

Der Beitrag der Energieträgersubstitutionen zur CO_2-Emissionsminderung kann mit Hilfe der Veränderung des Quotienten aus CO_2-Emissionen und Energieverbrauch bestimmt werden. Im Jahr 1990 betrug der Quotient 63,0 kg CO_2/GJ, wie sich nach den in Tabelle 6.2 ausgewiesenen Werten errechnen lässt. Durch die stärkere Nutzung kohlenstoffarmer Brennstoffe

sank der Wert bis 1995 auf 62,1 kg CO_2/GJ und schließlich auf 61,5 kg CO_2/GJ im Jahr 2004. Wird die Differenz von 0,9 kg CO_2/GJ zwischen 1990 und 1995 mit dem Energieverbrauch des Jahres 1990 multipliziert, ergibt sich eine Minderung um mehr als 94 000 t CO_2. Die Energieträgersubstitution hat demnach bis 1995 die CO_2-Emissionen um 1,5 % im Vergleich zu 1990 verringert.

Bis 2004 wuchs der Unterschied zu den durchschnittlichen Emissionen pro Energieeinheit des Jahres 1990 auf 1,5 kg CO_2/GJ an. Hieraus leitet sich eine Reduktion von fast 154 000 t CO_2 bzw. 2,4 % der Emissionen von 1990 ab. Auf die Jahre 2003 und 2004 entfielen davon knapp 20 000 t CO_2, was gegenüber dem Basisjahr einer Minderung von 0,3 % gleichkommt. Wird die Verringerung der CO_2-Emissionen auf die Produktionsmenge des Basisjahres bezogen, ergibt sich durch die Energieträgersubstitution bis 2004 eine Minderung der spezifischen Emissionen von 26,2 kg CO_2/t oder ebenfalls 2,4 %.

Einen wesentlich höheren Beitrag zur Reduzierung des spezifischen CO_2-Ausstoßes hatten die Verbesserungen der Energieeffizienz geleistet, wie die folgende Betrachtung zeigt. Die spezifischen Emissionen werden zu diesem Zweck als Produkt aus spezifischem Energieverbrauch und durchschnittlichem CO_2-Ausstoß je Energieeinheit aufgefasst. Bei der Berechnung werden die durchschnittlichen Emissionen je GJ auf dem Niveau des Basisjahres konstant gehalten und lediglich der spezifische Energieverbrauch entsprechend der tatsächlichen Entwicklung zwischen 1990 und 2004 variiert. Als Resultat ergibt sich der Beitrag der Verbesserung der Energieeffizienz zur erzielten Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen.

In der Glasindustrie sank der spezifische Energieverbrauch seit 1990 um 2,8 GJ/t Hüttenglas von 17,0 auf 14,2 GJ/t im Jahr 2004 (Tabelle 6.3). Multipliziert mit den durchschnittlichen Emissionen des Jahres 1990 von 63 kg CO_2/GJ resultiert aus der Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs bis 2004 eine Minderung der spezifischen Emissionen von 175 kg CO_2/t. Gegenüber dem Basisjahr entspricht dies einer Reduktion von etwa 16 %. Bezogen auf die produzierte Menge Hüttenglas im Basisjahr errechnet sich eine CO_2-Minderung gegenüber 1990 von ca. 1,0 Mill. t, die auf einen effizienteren Energieeinsatz zurückgeht.

Einen bedeutsamen Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch und damit auf die Emissionen hat der Einsatz von Altglas in der Glasschmelze für die Behälterglasproduktion. Während der Altglaseinsatz zwischen 1995 und 2002 von 60,8 auf 65,9 % zunahm, sank der Energieverbrauch in diesem Segment von 10,9 auf 10,1 PJ (Tabelle 6.5). Allerdings wird der Zusammenhang zwischen beiden Größen durch den gleichzeitigen Rückgang der Behälterglasproduktion überlagert. Wird jedoch zugrunde gelegt, dass sich mit

einem Altglaseinsatz von 10 % eine Energieeinsparung von 2-3 % realisieren lässt, ergibt sich für 2004 in der Behälterglasproduktion eine Einsparung im Bereich von 12,6 und 18,8 %.

Tabelle 6.5
Altglaseinsatz und Energieverbrauch bei der Herstellung von Behälterglas
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion Behälterglas in Mill. t	4,6	4,4	4,3	4,3	4,1	4,2	4,1
Altglaseinsatz in Mill. t	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6
Anteil Altglas in %	60,8	65,3	66,7	62,5	65,0	63,9	62,8
Energieverbrauch Behälterglasproduktion in PJ	10,9	10,5	10,3	10,1	10,1	k.A.	k.A.

Nach Angaben des Bundesverbandes Glasindustrie e.V.

Summa summarum ist die deutliche Reduzierung der spezifischen CO_2-Emissionen seit 1990 zum größten Teil durch einen effizienteren Energieeinsatz zu erklären. Der Altglaseinsatz dürfte hierzu insbesondere zwischen 1990 und 1995 einen größeren Beitrag geleistet haben, da sich nach Angaben des BV Glas die Scherbenquote in diesem Zeitraum verdoppelt hat. Die Substitution von Energieträgern hat hingegen nur einen relativ geringen Beitrag geleistet.

6.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Im Fortschrittsbericht für die Glasindustrie werden Maßnahmen zur Energieeinsparung mit einem Investitionsvolumen von insgesamt 70,2 Mill. € aufgeführt (BV Glas 2007: 3-4). Der Schwerpunkt der Maßnahmen liegt in der Optimierung der Prozessabläufe und – auf Grund der hohen Prozesstemperaturen – in der verstärkten Abwärmenutzung (VIK 1998: 58). Die Maßnahmen wurden weitgehend in den Jahren 2003 und 2004 durchgeführt.

Die Schmelzprozesse in der Glasindustrie wurden in der Vergangenheit so weit optimiert, dass die vorhandenen Einsparpotenziale in der Glasschmelze weitgehend ausgeschöpft sind (BV Glas 2007: 2). Der spezifische Energieverbrauch moderner Behälterglasschmelzwannen liegt derzeit bei etwa 1 000 kWh/t. Er ist damit weniger als 10 % vom theoretischen Prozesswärmebedarf entfernt, der für ein Gemenge mit 70 % Scherben bei 920 kWh/t liegt (BV Glas 2004a: 7).

Schmelzwannen weisen mit zunehmender Nutzungsdauer Alterserscheinungen auf, die mit einem steigenden Energieverbrauch verbunden sind. Daher werden sie in Abständen von 8 bis 16 Jahren einer so genannten Wannenhauptreparatur unterzogen. Während der zwei- bis dreimonatigen Erneuerung der Wanne ruht die Produktion. Die in der sich anschließenden An-

laufphase erzeugte Schmelze ist allerdings unbrauchbar. Da die Ausführung der Wannenhauptreparatur immer nach dem aktuellsten Stand der Technik erfolgt, hat sich die Energieeffizienz nach Abschluss der Anlaufphase regelmäßig verbessert. Detaillierte Angaben über die Höhe des Investitionsvolumens werden für die vorgenommenen Wannenhauptreparaturen in der Tabelle 6.6 wiedergegeben.

Tabelle 6.6
Wannenhauptreparaturen in den Jahren 2000 bis 2004

	2000	2001	2002	2003	2004
Anzahl	13	11	12	14	9
Anteil an gesamter installierter Schmelzleistung in %	11,0	6,6	9,4	15,2	9,0
Investitionen in Mill. €	148	98	222	252	143

Nach Angaben des Bundesverbandes Glasindustrie e.V.

Insgesamt wurden 2003 und 2004 in der Glasindustrie 23 Glasschmelzwannen einer Hauptreparatur unterzogen. Die vorliegenden Daten reichen jedoch nicht, um die genaue Höhe der Effizienzverbesserungen zu bestimmen. Die Produktions- und Energieverbrauchsschwankungen, die solche Reparaturen verursachen, können nur mit Hilfe unterjähriger Daten untersucht werden.

Durch Maßnahmen zur Abwärmenutzung werden mittlerweile über 90 % der Abwärme für den Glasschmelzprozess zurück gewonnen (BV Glas 2004a: 2). Der Rest wird in den Unternehmen i.d.R. zur Strom- und Dampfproduktion sowie zur Heiß- und Warmwasserbereitung eingesetzt. Weitergehende Einsparpotenziale können nach Angaben des BV Glas allenfalls in der Peripherie des Schmelzprozesses sowie bei nachgelagerten Prozessen erschlossen werden. So wurden besondere Maßnahmen zur Energieeinsparung durch die Verbesserung der Druckluftversorgung im Bereich der Hohlglaserzeugung eingeleitet. Auf die hierzu genutzten Druckluftkompressoren entfallen etwa 15 bis 30 % der verbrauchten elektrischen Energie (VIK 1998: 60). Durch Druckluftmessungen bei den Mitgliedsunternehmen konnten zudem Einsparpotenziale aufgedeckt und ausgeschöpft werden (BV Glas 2004a: 1).

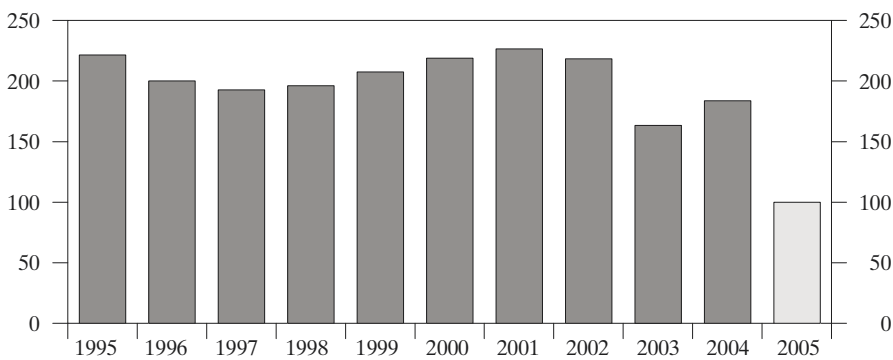
6.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die bislang erzielten Erfolge bei der Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen wurden größtenteils zwischen 1990 und 1995 erzielt, vor allem durch die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs. Nach Informationen des Bundesverbands Glasindustrie ist für die CO_2-Minderung bis 1995 neben der Energieträgersubstitution, der Verbesserung bei der Brennertech-

nologie der Schmelzwannen und der Steigerung des Glasscherbenanteils vor allem der Ersatz veralteter durch neue Hüttenanlagen in den alten und neuen Bundesländern nach der Wiedervereinigung verantwortlich. Darüber hinaus wurden moderne Anlagen mit höherer Wannenschmelzfläche hinzugebaut sowie die Wannenschmelzfläche im Rahmen von Hauptreparaturen erhöht.

Dies alles hat maßgeblich dazu beigetragen, die Energieeffizienz zu steigern und den Ausstoß von Kohlendioxid zu verringern. Dadurch hat die Glasindustrie das in ihrer aktuellen Selbstverpflichtungserklärung proklamierte Ziel einer Senkung der spezifischen CO_2-Emissionen um 10 % bis zum Jahr 2005 bereits sehr frühzeitig erreicht (Schaubild 6.4). Zwischen 1995 und 2002 lagen die Zielerreichungsgrade bei durchschnittlich 200 %. Trotz nachteiliger Auswirkungen durch die Umstellung der Energieverwendungsstatistik befand sich die Glasindustrie auch 2004 mit 874 kg CO_2/t Glas deutlich unterhalb der für 2005 avisierten Zielmarke von 964 kg CO_2/t.

Schaubild 6.4
Zielerreichungsgrad in der Glasindustrie
1995 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen.

Weitere Verbesserungen dürften allerdings schwer fallen, da die Produktionsprozesse, insbesondere die Abwärmenutzung bei den Schmelzprozessen, weitgehend optimiert sind. Auch der Wandel des Energiemix zugunsten kohlenstoffarmer Brennstoffe wie Erdgas bietet angesichts eines Anteils von über 80 % am Primärbrennstoffverbrauch nur noch wenig Spielraum zur Emissionsminderung. Vor diesem Hintergrund erscheint das in der früheren Selbstverpflichtungserklärung genannte Ziel von 780 kg CO_2/t Glas (Buttermann, Hillebrand 2002: 158) als sehr ambitioniert.

Die zukünftige Entwicklung der CO_2-Emissionen wird durch das Produktionsniveau und somit durch die wirtschaftliche Entwicklung der Branche, die

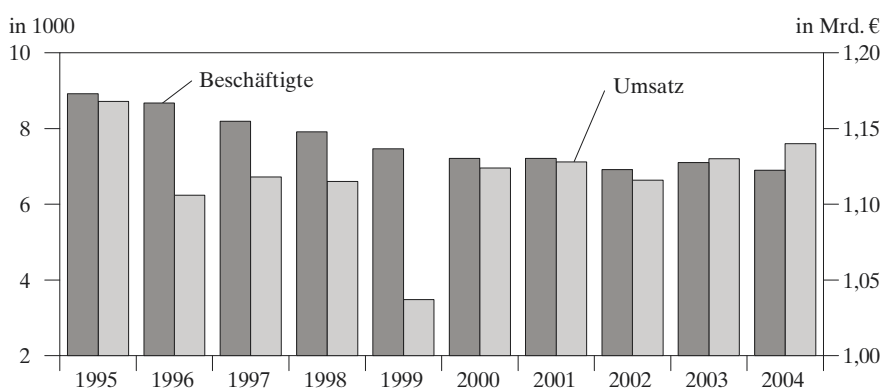
Verfügbarkeit von Scherben und die Qualitätsanforderungen an die Produkte geprägt sein. So führen steigende Qualitätsanforderungen der Kunden zu einem immer höheren Energieverbrauch bei der Veredelung, was sich in steigendem Stromverbrauch widerspiegelt. Die Scherbenverfügbarkeit ist seit der Einführung des Zwangspfandes am 1. Januar 2003 spürbar zurückgegangen. Weitere Einschränkungen bei der Scherbenverfügbarkeit befürchtet der Verband durch das kartellrechtliche Verbot der Gesellschaft für Glasrecycling und Abfallvermeidung (GGA), die von der Glasindustrie betrieben wurde. Durch die GGA wurden sowohl die Scherbenqualität, die Scherbenverfügbarkeit als auch der logistisch optimale und damit CO_2-sparende Transport des Rohstoffs Scherben innerhalb des Bundesgebiets gewährleistet. Durch einen geringeren Einsatz von Altglasscherben werden mehr Primärrohstoffe und mehr Energie benötigt, was letztlich sowohl zu absolut wie auch spezifisch höheren CO_2-Emissionen führen dürfte (BV Glas 2004a: 9).

7. Die Feuerfestindustrie

Unter feuerfesten Erzeugnissen werden nichtmetallische, keramische Werkstoffe verstanden, welche für alle industriellen Produktionsprozesse unabdingbar sind, die hohe Temperaturen erfordern. Diese Erzeugnisse werden zur Auskleidung von Anlagen für thermische Prozesse sowie zur Wärmedämmung und –rückgewinnung eingesetzt. Hauptabnehmer der feuerfesten Erzeugnisse ist die Eisen- und Stahlindustrie, die fast 70 % der weltweiten Produktion absorbiert (Routschka 2001: 11). Konjunkturelle Schwankungen in dieser Abnehmerindustrie sind insofern sehr bedeutsam für die Feuerfest-Industrie. Ferner finden feuerfeste Produkte Verwendung in der Zement- und Kalkindustrie, bei der Herstellung von Glas und in Müllverbrennungsanlagen.

Aufgrund ihrer Abnehmerstruktur ist die Feuerfestindustrie vor allem dort zu finden, wo eine nennenswerte Stahlproduktion etabliert ist. Ein zur deutschen Feuerfest-Industrie hinsichtlich der Produktionsmenge vergleichbarer Sektor findet sich in Japan. Nordamerika, China und Russland sind hingegen bedeutend größere Produktionsstandorte (Routschka 2001: 12).

Schaubild 7.1
Umsatz und Beschäftigung der Feuerfest-Industrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Verbandes der Deutschen Feuerfest-Industrie im Rahmen des Monitoring.

Die deutsche Feuerfestindustrie besteht vornehmlich aus kleinen und mittleren Unternehmen. Für 2004 weist das Statistische Bundesamt 62 Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten aus. Dieser Wert deckt sich mit den Angaben des Verbandes. Die Feuerfestindustrie setzte 2004 Produkte im Wert von 1,14 Mrd. € um. Mehr als 62 % der Erlöse wurden durch Verkäufe ins Aus-

land erwirtschaftet. Von 1995 bis 2004 ist der Umsatz um rund 32 Mill. € gesunken, konnte aber gegenüber 2003 um 0,5 % gesteigert werden. Auch die Beschäftigungsentwicklung ist seit 1995 rückläufig: Von einstmals fast 9 000 Personen im Jahr 1995 sank die Zahl der Beschäftigten bis 2004 um gut 25 % auf unter 6 900 Arbeitnehmer (Schaubild 7.1).

7.1 Datenbasis

Die deutsche Feuerfestindustrie wird vertreten durch den Verband der Deutschen Feuerfestindustrie e.V. Dieser erhebt monatlich im Rahmen der Verbandsstatistik den Energieverbrauch und die Produktion seiner Mitgliedsunternehmen. Darüber hinaus werden diese Ziffern für das CO_2-Monitoring jährlich auch bei Nicht-Mitgliedern erfragt.

Das Statistische Bundesamt führt die Feuerfestindustrie unter der Kennziffer 26.26 („Herstellung von feuerfesten keramischen Werkstoffen und Waren“) und veröffentlicht ebenfalls regelmäßig Angaben hinsichtlich Produktion, Umsatz und Beschäftigung sowie bis 2002 für den Energieverbrauch. Die Umstellung und Neuorganisation der Energieverwendungsstatistik hat ab 2003 dazu geführt, dass eine Vielzahl der Informationen zum Verbrauch einzelner Energieträger in der Feuerfest-Industrie aus Geheimhaltungsgründen nicht mehr verfügbar ist. Eine Gegenüberstellung der Verbandsangaben zum Energieverbrauch mit den Angaben des Statistischen Bundesamtes ist daher für den Berichtszeitraum 2003 und 2004 nicht mehr möglich.

Nach eigenen Angaben repräsentiert die Verbandserhebung lediglich rund 65 % der in Deutschland produzierten Menge des Sektors. Aus diesem Grunde lagen die vom Verband erhobenen Werte für den Energieverbrauch bislang regelmäßig unter denen des Statistischen Bundesamtes. Im Jahr 2002 betrug diese Abweichungen gut 25 % (RWI 2005: 105).

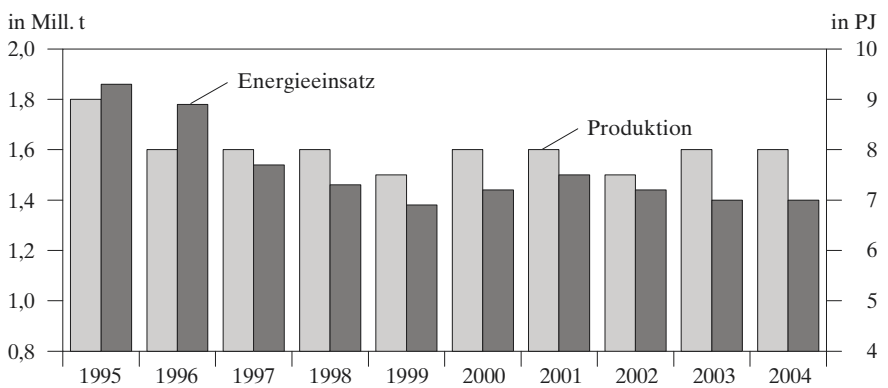
Da für die Jahre 2003 und 2004 vom Statistischen Bundesamt keine vollständigen Daten zum Energieverbrauch der Feuerfest-Industrie vorliegen, werden die Verbrauchsangaben des Verbandes auf der Basis der jährlichen Produktionsmenge hochgerechnet. Eine Gegenüberstellung der Produktionskennziffern der beiden Datenquellen ergibt für den aktuellen Berichtszeitraum eine tatsächliche Abdeckung durch den Verband von 71,1 % für 2003 und 73,6 % für 2004. Durch Hochrechnung der vom Verband gemeldeten Verbrauchswerte auf Basis dieser Quoten konnten die Differenzen zwischen den Datenquellen im Jahr 2002 bis auf etwa 4 % minimiert werden (RWI 2005: 105).

Für den Energieverbrauch und die Emissionen werden im Folgenden hochgerechnete Werte angegeben. Die für die freiwillige Selbstverpflichtung maßgeblichen Angaben für den spezifischen Energieverbrauch und die spezifischen Emissionen beruhen dagegen auf den Angaben des Verbandes.

7.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Produktion feuerfester Erzeugnisse lag 2003 wie auch 2004 bei rund 1,6 Mill. Tonnen pro Jahr (Schaubild 7.2). Seit 1995 hat die Produktion um rund 8,5 % abgenommen. Als Ursache werden veränderte Verfahrenstechniken in den Abnehmerindustrien genannt, die einen geringeren Einsatz an feuerfesten Stoffen erfordern. Ferner ist ein Teil des Rückgangs einer Verbesserung der Produkteigenschaften feuerfester Erzeugnisse geschuldet (Routschka 2001: 13). Der jährliche Energieverbrauch des Sektors betrug im Berichtszeitraum etwa 7,0 PJ und lag damit um 25 % unter dem Wert von 1995 mit 9,3 PJ (Tabelle 7.1). Ein Großteil der Energie wird aus Erdgas gewonnen. Dessen Anteil am Gesamtenergieverbrauch betrug 2004 knapp 64 %. An fossilen Brennstoffen hatte Erdgas sogar einen Anteil von mehr als 98 % (Tabelle 7.3).

Schaubild 7.2
Produktion und Energieverbrauch in der Feuerfest-Industrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und des Verbandes der Deutschen Feuerfest-Industrie im Rahmen des Monitoring.

Im Vergleich zur Produktion nahm der Energieverbrauch überproportional ab (Schaubild 7.2). Entsprechend hat sich der spezifische Energieaufwand des Sektors deutlich verringert. Nach Verbandsangaben lag der spezifische Energieverbrauch 1990 noch bei 6,3 GJ je Tonne feuerfester Erzeugnisse. Bis 2004 verminderte er sich auf 4,4 GJ/t. Damit liegt die Feuerfestindustrie

noch unter dem Niveau der Industrie der keramischen Fliesen und Platten, die einen vergleichbaren Produktionsprozess aufweist, aber im gleichen Jahr mit 8,0 GJ/t einen deutlich höheren spezifischen Energieverbrauch hatte.

Tabelle 7.1
Produktion und Energieverbrauch in der Feuerfest-Industrie
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion, Mill. t	1,98	1,76	1,49	1,60	1,57	1,54	1,57	1,60
Energieverbrauch in PJ	12,4	9,3	6,9	7,2	7,5	7,2	7,0	7,0
Spez. Verbrauch in GJ/t	6,3	5,3	4,6	4,5	4,8	4,7	4,5	4,4

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 3.1, und des Verbandes der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

7.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Grundsätzlich lassen sich vier Arten von feuerfesten Erzeugnissen unterscheiden: geformte und ungeformte Erzeugnisse, so genannte Funktionalprodukte und wärmedämmende Erzeugnisse. *Geformte feuerfeste Erzeugnisse* sind in der Regel steinförmig oder nach speziellen Anforderungen geformte Produkte. Der Anteil dieser gebrannten Erzeugnisse an der Gesamtproduktion lag 2004 in Deutschland bei etwa 62 % (StaBuA/ FS4/ R3.1 2005). Unter *ungeformten feuerfesten Gütern* werden Mischungen feuerfester Rohstoffe mit unterschiedlicher Körnung verstanden, die mit geeigneten Bindemitteln versetzt sind. Sie enthalten oftmals noch spezielle Zusätze um die Formbarkeit zu verbessern und werden mittels Verschalung in thermischen Anlagen verbaut. *Funktionalprodukte* sind geformte feuerfeste Produkte für spezielle technische Einsatzzwecke. Beispiele sind Düsen, Filter oder Schiebersysteme. Unter *wärmedämmenden Erzeugnissen* werden schließlich geformte und ungeformte Produkte verstanden, durch deren Anwendung Wärmeverluste in thermischen Produktionsanlagen vermindert werden können.

Am Anfang der Produktion feuerfester Stoffe steht die Aufbereitung natürlich vorkommender mineralischen Rohstoffe wie Quarzsand sowie anderer Rohstoffe wie z.B. Schamotte oder Sinterbauxit. Dabei werden die Stoffe zerkleinert und gesiebt. Für ungeformte feuerfeste Erzeugnisse endet der Produktionsprozess an dieser Stelle.

Nach dem Aufbereiten der Ausgangsstoffe erfolgt die Formgebung des Brechguts. Dies kann durch Strangpressverfahren, hydraulische Pressen oder Ähnliches geschehen. Anschließend werden die Presslinge getrocknet. Je nach Produkt werden die Roherzeugnisse bei einer Temperatur von über 150° C über mehrere Tage oder gar Wochen getrocknet und danach bei

Temperaturen von 1 250 bis 1 800° C gebrannt. Die Brennzeit kann sich ebenfalls über mehrere Wochen hinziehen. Zum Einsatz kommen überwiegend gasbeheizte Tunnel- oder Haubenöfen (Routschka 2001: 23-24). Das Trocknen und Brennen stellt den energieintensivsten Teil der Produktionskette dar.

Abschließend steht noch die Nachbehandlung des Branntguts an. Dabei werden die geformten Erzeugnisse geschnitten oder geschliffen, um die Passgenauigkeit für das Verbauen zu gewährleisten. Darüber hinaus können Maßnahmen zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit ergriffen werden, wie z.B. eine Behandlung mit Harzen oder Pech.

7.4 Die Selbstverpflichtung

Die Feuerfestindustrie hat im Dezember 2000 in ihrer aktualisierten Selbstverpflichtungserklärung zwei Ziele zur CO_2-Reduktion genannt. Demnach erklärt sie sich bereit, ihre spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 33 % gegenüber 1990 zu senken. Bis 2012 wird eine Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen von 35 % angestrebt. Andere Treibhausgase sind nach Verbandsangaben für den Wirtschaftszweig nicht relevant.

Auf Basis der vom Industrieverband gemeldeten spezifischen Emissionen für 1990 in Höhe von 387 kg CO_2/t ergibt sich für 2005 ein Zielwert von 259 kg CO_2/t. Für 2012 liegt die Zielmarke bei 252 kg CO_2/t. Übersicht 7.1 fasst die Angaben zusammen.

Übersicht 7.1
Selbstverpflichtung der Feuerfest-Industrie

Ziel bis 2005	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um 33 % in Bezug auf das Basisjahr 1990 (entspricht einem Zielwert von 259 kg CO_2/t).
Ziel bis 2012	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um 35 % in Bezug auf das Basisjahr 1990 (entspricht einem Zielwert von 252 kg CO_2/t).
Basisjahr	1990

Angaben gemäß Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V. (Feuerfest 2000).

Der Verband knüpft seine Zusage an zwei Vorraussetzungen (Feuerfest 2000). Zum einen wird verlangt, dass die Feuerfestindustrie zukünftig nicht „durch weitere fiskalische Maßnahmen belastet wird." Darunter versteht der Verband verschärfte Umweltschutzauflagen, die die Installation von „Absaug-, Filter-, Reinigungs- und Abgasanlagen" erfordern (Feuerfest 2005). Solche erzwungenen Investitionen würden nach Angaben des Industrieverbands finanzielle Mittel binden, die dann nicht mehr für Maßnahmen zur CO_2-Emissionsminderung zur Verfügung stünden.

Ferner verpflichtet sich der Verband zur Einhaltung der Reduktionsziele vorbehaltlich einer „günstigen Kapazitätsauslastung“ (Feuerfest 2000, 2005). Nach dem Geschäftsbericht 2005 des Verbandes lag die gesamte Überkapazität der Feuerfest-Industrie im Jahr 2005 bei 25 % (Feuerfest 2005a), d.h. die vorhandenen Kapazitäten wurden zu 75 % ausgelastet. Bei den für den Brennvorgang relevanten geformten Erzeugnissen gab es eine Überkapazität von fast 17 %. Die energieintensiven Anlagen wurden somit 2005 zu mehr als 83 % ausgelastet.

7.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Die spezifischen CO_2-Emissionen der Feuerfestindustrie lagen 2004 mit 258 kg CO_2/t auf dem niedrigsten Niveau seit 1990 (Tabelle 7.2). Im Zeitablauf kam es mitunter zu größeren Schwankungen im spezifischen Schadstoffausstoß. Im Jahre 1996 wurden beispielsweise 329 kg CO_2/t emittiert, was im Vergleich zu 1995 eine Steigerung von 4,1 % entspricht. Zunahmen waren auch in den Jahren 1999 und 2001 zu verzeichnen. Von 2002 bis 2004 sind die spezifischen Emissionen dagegen beständig gesunken.

Tabelle 7.2
Entwicklung der spezifischen CO_2-Emissionen in der Feuerfest-Industrie
1990 bis 2004, Minderungsziel spezifische CO_2-Emissionen: -33 % bis 2005, -35 % bis 2012

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Emissionen in kg CO_2/t	387	316	274	265	281	275	263	258
Reduktion in %	-	18,4	29,3	31,6	27,4	29,0	32,1	33,5
Erreichungsgrad in %								
Ziel 2005	-	55,8	88,8	95,8	83,0	87,9	97,3	101,4
Ziel 2012	-	52,6	83,7	90,3	78,3	82,9	91,7	95,6

Nach Angaben des Verbandes der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Gegenüber 1990 konnten die spezifischen Emissionen bis 2004 um ein Drittel vermindert werden. Die Zielmarke für 2005 wurde im Jahr 2004 erstmals überschritten. Verglichen mit dem Berichtszeitraum 2000 bis 2002 des letzten Monitoringberichts stellt dies eine deutliche Steigerung dar. Mit Blick auf das Ziel für 2012, dessen Marke bei einer CO_2-Minderung von 35 % liegt, lag der Zielerreichungsgrad für 2004 bei fast 96 % (Tabelle 7.2).

Unter Berücksichtigung der vom Statistischen Bundesamt ausgewiesenen Produktionsmenge ergibt sich durch Multiplikation mit den spezifischen Emissionen für 2004 eine Emissionsmenge von 0,41 Mill. t (Tabelle 7.3). 1990 wurde noch nahezu die doppelte Menge emittiert.

Tabelle 7.3
Entwicklung der absoluten CO_2-Emissionen der Feuerfest-Industrie
1990 bis 2002

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion in Mill. t	1,98	1,76	1,49	1,60	1,57	1,54	1,57	1,60
Emissionen in 1 000 t	768	557	408	425	442	424	412	413
Reduktion in %	-	27	47	45	42	45	46	46

Nach Angaben des Feuerfest-Verbands.

7.6 Ursachenanalyse

Spezifische CO_2-Emissionen können generell durch zwei Maßnahmen reduziert werden: Durch gesteigerte Effizienz in der Energienutzung und durch Substitution kohlenstoffreicher Energieträger. Im Basisjahr 1990 wurden industrieweit rund 12,4 PJ an Energie verbraucht[8], von denen rund 5 % aus kohlenstoffreicher Braunkohle gewonnen wurde. 1995 wurde dieser Energieträger nicht mehr in nennenswerten Mengen verwendet. Dieselbe Entwicklung ist für schweres und leichtes Heizöl festzustellen. 1990 trug die Ölverfeuerung 6 % zur Energiegewinnung bei, seit 2000 lediglich noch 1 % (Tabelle 7.4).

Tabelle 7.4
Energiemix der Feuerfest-Industrie
1990 bis 2004, in %, gerundet

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Rohbraunkohle	3	-	-	-	-	-	-	-
Braunkohlenbriketts	2	-	-	-	-	-	-	-
Schweres Heizöl	2	1	-	-	-	-	-	-
Leichtes Heizöl	4	4	2	1	1	1	1	1
Erdgas	61	62	64	63	64	64	64	64
Kokereigas	1	1	-	-	-	-	-	-
Strom	27	32	34	35	34	35	35	35

Nach Angaben des Verbands der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Der größte Teil des Energiebedarfs wird aus Erdgas und Strom gedeckt. Nach eigenen Angaben hat die Feuerfestindustrie bereits in den 80er Jahren ihre Brennöfen verstärkt auf das kohlenstoffarme Erdgas umgestellt (Feuerfest 2000). 1990 hatte Erdgas bereits einen Anteil von 61,2 % am Energie-

[8] Der in früheren Monitoringberichten ausgewiesene Wert von 13,3 PJ für 1990 wurde aufgrund aktualisierter Daten des Verbandes korrigiert.

verbrauch. Dieser stieg bis 2004 auf 63,7 %. Der Anteil von Strom lag 1990 bei 27,1 % und stieg bis 2004 auf 35,3 %. Somit wurden Kohle und Heizöl durch Erdgas, aber vor allem durch einen vermehrten Stromverbrauch ersetzt. Der erhöhte Stromanteil ist laut Verbandsangaben einerseits einer verstärkten Notwendigkeit zur Nachbearbeitung der Erzeugnisse geschuldet, andererseits erfordern strenger gefasste Umweltauflagen den Einsatz von Absaug-, Filter- und Reinigungsanlagen (Feuerfest 2000).

1990 wurden nach Verbandsangaben noch durchschnittlich 62 kg CO_2/GJ emittiert. Dieser Wert lag 2004 bei 59 kg CO_2/GJ. Unter Berücksichtigung der hochgerechneten Gesamtenergiemenge von 1990 in Höhe von 12,4 PJ entspricht diese Reduktion um 3 kg CO_2/GJ einem Einsparvolumen von 35 990 t CO_2 allein aus der Energieträgersubstitution.

Weitaus bedeutender für die Reduzierung der spezifischen Emissionen war indessen die Steigerung der Energieeffizienz. Von 1990 bis 2004 konnte der spezifische CO_2-Ausstoß um fast 34 % gesenkt werden (Tabelle 7.2). Im gleichen Zeitraum sank der spezifische Energieverbrauch von 6,3 GJ je Tonne Feuerfest-Erzeugnisse auf 4,4 GJ/t (Tabelle 7.1), also um etwa 30 %. Die Effizienzsteigerung beläuft sich somit auf rund 1,9 GJ/t. Durch Multiplikation mit den 1990 emittierten 62 kg CO_2/GJ ergibt sich daraus eine Minderung der spezifischen Emissionen um ca. 117 kg CO_2/t, bzw. um ebenfalls gut 30 %.

Sowohl die Energieeffizienz als auch die spezifischen CO_2-Emissionen der Feuerfest-Industrie sind sehr stark vom Auslastungsgrad der installierten Produktionsanlagen abhängig. So sank nach Angaben des Statistischen Bundesamts die Produktionsmenge zwischen 1995 und 1996 um 8,6 %, mit der Folge, dass die spezifischen CO_2-Emissionen 1996 um 4,1 % über dem Wert des Vorjahres lagen. Dasselbe trifft für die Jahre 1999 und 2001 zu, als die Industrie deutliche Produktionsrückgänge verzeichnete.

Der Verband der Feuerfestindustrie erhebt erst seit 2002 Angaben zu den Überkapazitäten der Mitgliedsunternehmen. Hiernach wurden die Produktionskapazitäten 2004 zu 77 % ausgelastet (Feuerfest 2004). Gegenüber 2003 entspricht dies einer Steigerung um sieben Prozentpunkte. Die höhere Auslastung hat – auch wenn dies hier im Einzelnen nicht quantifiziert werden kann – einen deutlichen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz geleistet.

7.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Die im aktuellen Fortschrittsbericht des Industrieverbandes geschilderten Maßnahmen zur Emissionsreduktion wurden durch eine Befragung seiner Mitgliedsunternehmen erhoben (Feuerfest 2007). Es wird eine Reihe von

Einzelmaßnahmen zur Optimierung der Produktionskette aufgeführt, die Einsparungen im Energieverbrauch hervorgebracht haben. Allerdings fehlen weitgehend detaillierte Angaben zu den erzielten Einsparerfolgen.

Im Rahmen einer dieser Maßnahmen wurde der Energieverbrauch durch die Umstellung der Schiebeweise an einem Tunnelofen optimiert. Auf diese Weise wurde der spezifische Energieverbrauch je Tonne in dem betreffenden Werk um 12 % reduziert. In einem anderen Werk wurde der Energieverbrauch 2004 durch den Neubau eines Herdwagenofens verringert. Ferner verweist der Fortschrittsbericht auf die Optimierung der Abfülltechnik und der Rohstoffrückgewinnung sowie auf die Anschaffung einer energiesparenden Kompressorluftversorgung.

Hinsichtlich des Einsparvolumens wird seitens des Verbandes beispielhaft eine Maßnahme zur Optimierung der Zuschaltzeiten der thermischen Abgasverbrennung beim Betrieb von Haubenöfen aufgeführt. Hierdurch konnte 2003 und 2004 der Erdgasverbrauch um 105 084 m^3 reduziert werden. Auf der Grundlage des im Monitoring verwendeten CO_2-Faktors für Erdgas ergibt sich hierdurch eine Verringerung der CO_2-Emissionen um etwa 197 t.

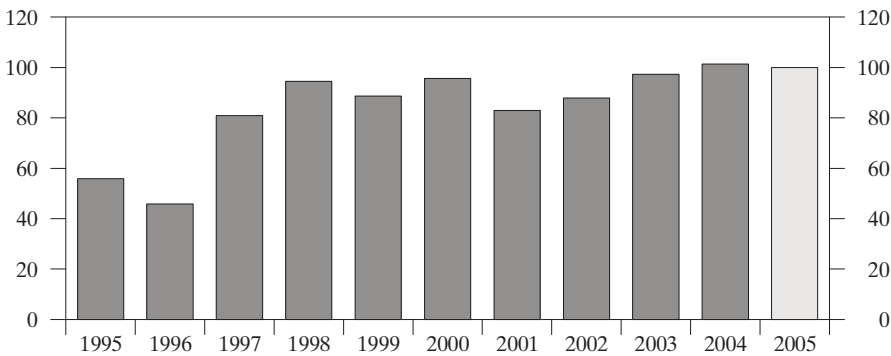
7.8 Bewertung

Die Feuerfest-Industrie hat ihre spezifischen Emissionen seit 1990 erheblich reduzieren können. Das für 2005 formulierte Ziel, die spezifischen CO_2-Emissionen um 33 % gegenüber 1990 zu mindern, wurde 2004 erstmals erreicht und sogar leicht übertroffen (Schaubild 7.3). Gegenüber 2002 konnte der Zielerreichungsgrad um fast 13,5 Prozentpunkte auf 101,4 % verbessert werden. Selbst dem Ziel für 2012 – Reduzierung der spezifischen Emissionen um 35 % im Vergleich zu 1990 – ist man nicht mehr fern. Hier lag der Zielerreichungsgrad im Jahr 2004 bereits bei 95,6 %.

Für eine weitere Steigerung des Zielerreichungsgrades durch Substitution kohlenstoffreicher Energieträger gibt es in der Feuerfest-Industrie kaum noch Spielraum. Das kohlenstoffarme Erdgas hatte 2004 bereits einen Anteil von 98,6 % am fossilen Brennstoffverbrauch. Verbesserungen sind daher vermutlich nur durch weitere Maßnahmen zur Optimierung des Produktionsablaufs zu erreichen.

Substanzielle Effekte sind hingegen durch eine verbesserte Kapazitätsauslastung möglich. Die Feuerfest-Industrie hängt in hohem Maße von der wirtschaftlichen Situation der Eisen- und Stahlindustrie ab. Aufgrund des Booms in dieser Abnehmerindustrie konnten die Anlagen 2004 und 2005 bereits deutlich höher ausgelastet werden als 2003. Ob diese Entwicklung lang genug anhält, um auch die Zielmarke für 2012 zu erreichen, muss abgewartet werden.

Schaubild 7.3
Zielerreichungsgrad der Feuerfestindustrie für 2005
1995 bis 2004



Eigene Berechnungen.

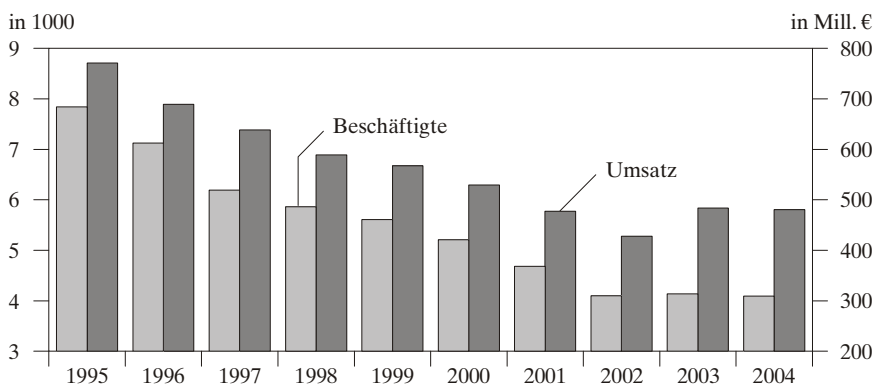
8. Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten

Das Kerngeschäft dieses Industriezweigs ist die Herstellung von keramischen Bodenbelägen und Wandbekleidungen. Abhängig von der Herstellungsmethode werden die Produkte üblicherweise in Steinzeug, Steingut und Spaltplatten unterschieden. Der größte Teil der europäischen Produktion von Fliesen und Platten erfolgt in Italien und Spanien. Aber auch andere europäische Staaten wie z.B. Frankreich, Portugal, Polen, Tschechien, Ungarn und Rumänien verfügen über entsprechende Produktionsstätten.

Der deutsche Markt ist geprägt durch eine starke Präsenz ausländischer Hersteller. Lediglich ein Viertel der deutschen Inlandsversorgung wird von heimischen Produzenten bereitgestellt, während der größere Teil des Marktes aus dem Ausland, insbesondere aus Italien, Spanien, Frankreich und der Türkei bedient wird. Zudem hat die Branche seit einigen Jahren mit den Auswirkungen der schwachen deutschen Baukonjunktur und steigendem Wettbewerb aus Drittstaaten wie China und Brasilien zu kämpfen.

Der Umsatz der Branche ist zwischen 1995 und 2004 um ca. 31 % gefallen, die Beschäftigung ging sogar um fast 48% zurück (Schaubild 8.1). Damit gehört die Branche zu den eher kleinen Zweigen innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes. 2004 betrug der Anteil dieser Industrie am Umsatz des gesamten Verarbeitenden Gewerbes lediglich 0,04 %.

Schaubild 8.1
Umsatz und Beschäftigung der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

8.1 Datenbasis

Ein Großteil der deutschen Fliesenindustrie und Fliesenproduktion ist im „Industrieverband Keramische Fliesen und Platten e.V." organisiert. Zu diesem Verband zählen aktuell 12 Mitgliedsunternehmen mit zusammen 15 Betriebsstätten. Im Rahmen einer Verbandserhebung wird der Verbrauch an Energie erfasst und mittels amtlicher Produktionskennziffern auf den Gesamtsektor hochgerechnet (Buttermann, Hillebrand 2002: 76).

Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten wird unter der Kennziffer 26.30 („Herstellung von keramischen Wand- und Bodenfliesen und -platten") geführt. Vom Statistischen Bundesamt werden in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, jährliche Daten zu Umsatz, Beschäftigung, Verbrauch an verschiedenen Energieträgern sowie Strombezug veröffentlicht. Informationen zur Produktionsmenge finden sich in der Reihe 3.1 derselben Fachserie. Darin wird die in diesem Sektor erzeugte Produktionsmenge in Flächeneinheiten veröffentlicht. Diese wird vom Verband zum Zwecke der späteren Berechung des spezifischen Energieverbrauchs mit Hilfe eines durchschnittlichen Fliesengewichts, gemessen in kg/m^2, in Tonnen umgerechnet.

2004 gehörten nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 26 Betriebsstätten zu diesem Sektor. Der Unterschied in der Zahl an Betriebsstätten ist einer der wesentlichen Gründe für die Abweichungen zwischen den Hochrechnungen des Verbandes und den Angaben des Statistischen Bundesamtes, wie sie in früheren Monitoringberichten festgestellt wurden (Buttermann, Hillebrand 2002: 76). Die Ursache für die hohe Zahl an Betriebsstätten, die vom Statistischen Bundesamt genannt wird, ist aus Gründen der Geheimhaltung nicht zu eruieren.

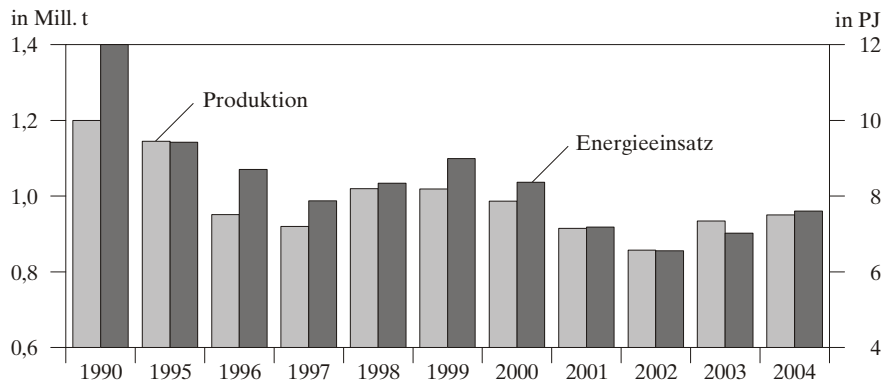
8.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten befindet sich seit 1990 tendenziell auf einer Talfahrt (Schaubild 8.2). Ähnlich wie bereits in den Jahren 1998 und 1999, scheint dieser Prozess im aktuellen Berichtszeitraum 2003 bis 2004 allerdings ein vorläufiges Ende gefunden zu haben. Wurden im Basisjahr 1990 noch gut 1,24 Mill. t Ware produziert, sank dieser Wert bis 2002 auf 0,86 Mill. t. In den Jahren 2003 und 2004 war erstmals seit 1999 wieder ein Produktionswachstum zu verzeichnen. Die produzierte Menge nahm 2003 um 76 900 t bzw. 9 % auf 0,94 Mill. t und im darauf folgenden Jahr noch einmal um 15 700 t (1,7 %) auf 0,95 Mill. t zu. Alles in allem hatte diese Industrie seit 1990 jedoch einen Produktionsrückgang von gut 23 % zu verkraften.

Mit dem Schrumpfungsprozess ging ein sinkender Energieverbrauch einher. Der Gesamtverbrauch an Energie verringerte sich von einstmals 12 PJ im

Jahr 1990 auf 7,6 PJ im Jahr 2004. Dies entspricht einer Reduktion von fast 37 % (Schaubild 8.2).

Schaubild 8.2
Produktion und Energieverbrauch der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
1990 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e.V. im Rahmen des Monitoring.

Begleitet wurde dieser Trend von Betriebsschließungen und einem Beschäftigungsabbau: Lag die Zahl der Beschäftigten in dieser Industrie 1995 noch bei 8 415 Personen, so waren es 2004 noch rund 4 850 Personen (Schaubild 8.1). Auch der Gesamtumsatz der Branche ist in diesem Zeitraum deutlich zurückgegangen. Wurden 1995 noch etwa 743 Mill. € an Umsatz erzielt, waren es 2002 nur noch knapp 479 Mill. €. Erst die gestiegene Nachfrage in der aktuellen Berichtsperiode ließ den Umsatz bis 2004 wieder auf ca. 516 Mill. € steigen.

Mit einer Energieintensität von 8,0 GJ/t im Jahr 2004 gehört die Industrie der keramischen Fliesen und Platten zu den energieintensiven Sektoren. Die Energieintensität liegt noch über dem Wert für die Feuerfest-Industrie (4,4 GJ/t), aber teilweise deutlich unter dem anderer Industrien.

8.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Die übliche Gruppierung der Produkte der Industrie der keramischen Fliesen und Platten in Steinzeug, Steingut und Spaltplatten hat sich aus dem Sprachgebrauch entwickelt. Da Steingut wegen seiner höheren Wasseraufnahmefähigkeit nicht frostsicher ist, kann es nur im Innenbereich eingesetzt werden und dient hier vorwiegend als Wandbekleidung. Steinzeug nimmt dagegen wesentlich weniger Wasser auf. Als Bodenbelag ist es strapazierfähig und frostsicherer und kann daher auch im Außenbereich eingesetzt

werden. Bei Spaltplatten handelt es sich um plastisch geformte Steinzeugfliesen, deren Bezeichnung sich aus dem Herstellungsverfahren ableitet. Spaltplatten werden als Doppelplatten Rückseite an Rückseite gebrannt und nach dem Brennen durch Spalten voneinander getrennt.

Der Herstellungsprozess für keramische Fliesen und Platten gliedert sich in verschiedene Verfahrensschritte wie die Aufbereitung der Ausgangsstoffe, die Formgebung, die Trocknung, falls notwendig Glasieren, und das Brennen der Fliesen- und Plattenrohlinge.[9] Energieintensiv sind die Aufbereitung, Trocknung und vor allem der Brennvorgang. Dieser erfordert hohe Prozesstemperaturen.

Als keramische Rohstoffe dienen hauptsächlich Ton, Kaolin, Quarz und Feldspat. Teilweise werden weitere mineralische Zusatzstoffe z.B. zur Farbgebung und Beeinflussung technischer Eigenschaften beigemischt (Löbbe et al. 2001: 196-197). Die Ausgangsmaterialien werden zunächst zerkleinert und gemahlen. Bei der Formgebung werden zwei verschiedene Verfahren unterschieden. Im so genannten *Trockenpress-Verfahren* wird die Rohstoffmasse als Granulat in die zukünftige Fliesenform gepresst; bei der *Strangpressung* wird die breiig aufgearbeitete Rohstoffmasse durch Formgebungsschablonen gepresst. Anschließend werden die geformten Rohlinge gegebenenfalls getrocknet und mit oder ohne eine Glasur gebrannt (Löbbe et al. 2001: 196-197).

Beim Brennen der Rohlinge kommen unterschiedliche Ofentypen zum Einsatz. Dünne keramische Fliesen und Platten werden in Rollenöfen gebrannt, größere Formteile, Spaltplatten und sonstige dickere keramische Fliesen und Platten dagegen häufig in Tunnelöfen oder Kammeröfen. Für Steinzeug sind Temperaturen zwischen 1 150° C und 1 300° C erforderlich, für Steingut genügen dagegen Temperaturen zwischen 1 050° C und 1 160° C (Löbbe et al. 2001: 197). Als Energieträger für den Brennvorgang kommt inzwischen ausschließlich Erdgas zum Einsatz.

8.4 Die Selbstverpflichtung

Der Verband hat im Dezember 2000 seine bis dahin bestehende Selbstverpflichtung neu formuliert und erweitert. Demnach wird eine *Reduktion der CO_2-Emissionen je produzierter Tonne Fliesen und Platten* in zwei Etappen angestrebt. Bis 2005 verpflichtet sich die Industrie der keramischen Fliesen

[9] Neben dem dargestellten so genannten Einbrandverfahren, bei dem die Glasur direkt auf den noch ungebrannten Rohling aufgetragen wird, gibt es noch das Zweibrandverfahren. Bei diesem wird der Rohling zunächst gebrannt, dann die Glasur aufgetragen und in einem zweiten Ofengang eingebrannt.

und Platten ihren spezifischen CO_2-Ausstoß gegenüber 1990 um 22-26 % zu reduzieren. Auf Basis der spezifischen Emissionsmenge von 567 kg CO_2/t im Jahre 1990 ergibt sich für 2005 ein Ziel-Korridor von 420 kg bis maximal 442 kg CO_2/t. Zudem sollen bis 2012 die spezifischen Emissionen möglichst bis zu 30 % gegenüber 1990, auf nicht mehr als 397 kg CO_2/t reduziert werden. Die Reduktionsziele sind in Übersicht 8.1 zusammengefasst.

Übersicht 8.1
Selbstverpflichtung der Industrie der keramischen Fliesen und Platten

Ziel 2005	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um 22-26 % gegenüber 1990 auf 420 kg bis maximal 442 kg CO_2/t.
Ziel 2012	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um bis zu 30 % gegenüber 1990 auf maximal 397 kg CO_2/t.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e.V.

8.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Für die spezifischen Emissionen lassen sich bis 2004 drei zeitliche Abschnitte erkennen (Tabelle 8.1). Zwischen 1990 und 1995 konnte der Klimagasausstoß auf 481 kg CO_2/t zurückgeführt werden. In den Jahren 1996 und 1999 stiegen die spezifischen Emissionen wieder deutlich, um danach wieder zu sinken. 2003 konnte das Ziel für 2005 erstmals erreicht werden. Mit 439 kg CO_2/t lag der spezifische CO_2-Ausstoß um 22,7 % unterhalb des Wertes für 1990 und damit innerhalb des Zielkorridors für die Verringerung der spezifischen Emissionen von 22-26 %. Für 2004 ist wieder ein Anstieg der spezifischen Emissionen festzustellen.

Tabelle 8.1
Spezifische CO_2-Emissionen der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emission in kg/t	567	481	512	494	460	446	439	467
Reduktion in %	-	15,2	9,8	12,9	18,9	21,4	22,7	17,7
Zielerreichungsgrad für 2005 in %	-	69,3	44,7	58,7	86,5	97,4	103,3	80,7

Nach Angaben des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e.V.

8.6 Ursachenanalyse

Eine Reduzierung der spezifischen CO_2-Emissionen lässt sich prinzipiell auf drei Ursachen zurückführen: Neben Veränderungen im Produktionsprogramm zugunsten von Produkten, die einen geringeren Energieeinsatz erfordern, kommen als Ursachen die Erhöhung der Energieeffizienz und der

Wandel im Energiemix hin zu kohlenstoffarmen Energieträgern wie beispielsweise Erdgas in Betracht.

Bedeutende Energieträgersubstitutionen haben seit 1990 nicht mehr stattgefunden. Die Anteile der Energieträger blieben nahezu konstant (Tabelle 8.2). Eine Substitution von Energieträgern als nennenswerte Ursache für die Reduktion des Schadstoffausstoßes scheidet damit weitgehend aus. Diese Schlussfolgerung wird dadurch belegt, dass die CO_2-Emissionen pro GJ, die den jeweiligen Energiemix widerspiegeln, seit 1990 nahezu unverändert bei einem Wert von 58,4 kg CO_2/GJ liegen. Gleichwohl hat der frühe Wechsel zum Erdgas den Einsatz moderner Technologien ermöglicht, die den Energieeinsatz besser steuerbar machen und damit die Grundlage für eine weitere Optimierung bilden.

Tabelle 8.2
Energiemix der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
Gerundeter Anteil der Energieträger am Gesamtverbrauch in %, 1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Leichtes Heizöl	0,5	0,4	0,1	0,1	0	0	0	0
Erdgas	71,0	71,0	75,9	71,9	68,8	71,5	71,3	71,5
Strom	28,4	28,6	24,0	28,1	31,2	28,5	28,7	28,5

Nach Angaben des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e.V.

Anpassungen der Produktpalette zur Verringerung von CO_2-Emissionen scheiden ebenfalls aus. Hier ist eine Tendenz am Markt hin zu Steinzeug festzustellen, der sich die deutschen Hersteller nicht entziehen konnten. Da Steinzeug bei höheren Temperaturen gebrannt wird als Steingut, ist diese Entwicklung mit einem steigenden Energiebedarf verbunden.

Die Verbesserung der Energieeffizienz wurde in der Vergangenheit vor allem durch den Abbau von Überkapazitäten und die Modernisierung der Produktionsanlagen begünstigt. Sie war eine wesentliche Ursache für die Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen. Die Jahre 2003 und 2004 waren diesbezüglich zunächst durch den Aufbau neuer Kapazitäten, dann aber auch durch Auslastungsprobleme gekennzeichnet.

Im Verlauf des Jahres 2003 wurden zwei neue Produktionsstätten – eine in Bremerhaven und eine in Vetschau in Brandenburg – in Betrieb genommen. Es ist zu vermuten, dass der Einsatz moderner Produktionsanlagen in diesen Werken dazu beigetragen hat, dass 2003 sowohl die Energieeffizienz als auch der spezifische CO_2-Ausstoß der Branche um etwa 1,7 % verbessert werden konnten (Tabelle 8.1 bzw. Tabelle 8.3). Erreicht wurde dies, weil der Produktionszuwachs mit 9 % höher ausfiel als der Mehrverbrauch an Energie mit 7,2 % (Schaubild 8.2).

Tabelle 8.3
Spezifischer Energieverbrauch
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Energieverbrauch in GJ/t	9,7	8,2	8,8	8,5	7,8	7,6	7,5	8,0
Minderung in %	15,2	5,7	9,1	12,7	19,2	21,3	22,6	17,6

Nach Angaben des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e. V.

Dass dieses Ergebnis auf einer höhere Energieeffizienz beruht, lässt sich durch folgende Berechnung belegen: Die spezifischen CO_2-Emissionen lassen sich als Produkt aus dem spezifischen Energieverbrauch und den durchschnittlichen Emissionen je GJ darstellen. Werden nun die durchschnittlichen Emissionen pro Energieeinheit aus dem Jahre 1990 in Höhe von 58,4 kg CO_2/GJ mit dem spezifischen Energieverbrauch im Jahre 2003 multipliziert, ergeben sich für 2003 fiktive spezifische CO_2-Emissionen in Höhe von 439 kg CO_2/t. Das Resultat stimmt mit dem tatsächlichen Wert für die spezifischen Emissionen überein (Tabelle 8.1). Damit ist die Reduktion des spezifischen CO_2-Ausstoßes 2003 in erster Linie auf die Verbesserung der Energieeffizienz zurückzuführen.

2004 haben sich eine Reihe von Faktoren ungünstig auf die Energieeffizienz der Branche ausgewirkt: Eine nachlassende Nachfrage führte zu einer schlechteren Auslastung der Produktionskapazitäten. Die Folge war ein ungünstigeres Verhältnis zwischen Produktion und Energieeinsatz. Einen produktionsbedingten höheren Energieverbrauch gab es ferner durch die Umstellung eines Teils der Produktion auf die Herstellung von Mosaikfliesen. Zwar sind Mosaiksteine bzw. –fliesen dünner und mit einer Kantenlänge von bis zu 10 cm kleiner als übrige Fliesen, sie können jedoch nicht so dicht auf dem Ofenwagen gepackt werden wie andere Fliesen. Insgesamt ergibt sich für den Herstellungsprozess von Mosaikfliesen daher ein höherer Energieverbrauch je Gewichtseinheit. Außerdem wurde 2004 in einem Fliesenwerk ein großer Auftrag für die Herstellung von Pflastersteinen ausgeführt. Pflastersteine sind um ein Vielfaches dicker als Fliesen und Platten, weswegen der Brennvorgang erheblich mehr Energie benötigt. Dieser Einzelauftrag hat nach Auskunft des Fliesenverbandes zu einer deutlichen Verzerrung in den Daten der Branche geführt. Zwar wurde der Energieverbrauch in den Erhebungsdaten berücksichtigt, nicht jedoch die Menge der produzierten Pflastersteine, da diese aus Sicht der Wirtschaftszweig-Systematik nicht zu den Fliesen und Platten zählen. Da der Fliesenverband keine detaillierten Daten zu dem Pflasterstein-Auftrag bereitstellen konnte, können die Auswirkungen dieses Auftrags auf den spezifischen Energieverbrauch und die spezifischen Emissionen nicht quantifiziert werden.

Insgesamt stieg der Energieverbrauch mit 8,3 % deutlich stärker als die Produktion (Schaubild 8.2). Dies führte zu einem um 6,5 % höheren spezifischen Energieverbrauch (Tabelle 8.3). Die spezifischen Emissionen nahmen in ähnlichem Umfang zu (Tabelle 8.1).

8.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

In seinem Fortschrittsbericht für die Jahre 2003 und 2004 betont der Fliesenverband, dass regelmäßige Neueinstellungen der Produktion nicht nur auf Grund veränderter Marktanforderungen an die Produkte, sondern auch unter dem Aspekt der Energieeffizienz erfolgen. Hierzu wurden Maßnahmen zur Verbesserung des Energiemanagements, der Optimierung der Produktkontrolle und zum Ausbau der Wärmerückgewinnung sowie die Erneuerung von Ofenanlagen durchgeführt. Darüber hinaus konnte in einigen Fällen der Produktionsvorgang energetisch weiter optimiert werden, indem der Scherbendurchmesser verringert wurde. Auf diese Weise konnte die erforderliche Brenntemperatur gesenkt werden (Fliesenverband 2005).

Beispielhaft werden im Fortschrittsbericht vier Maßnahmen zur Energieeinsparung aufgeführt. Es wurden jedoch keine Angaben gemacht, die eine Zuordnung auf ein bestimmtes Berichtsjahr erlauben. Durch eine Investition in Höhe von 35 000 € zur Erneuerung von Kompressor-Stationen konnte der Stromverbrauch um 2 % reduziert werden. Die Verlagerung der Masseaufbereitung (11 000 € Investitionsvolumen) führte zu Stromeinsparungen von 10 %. Die Einrichtung von Wärmerückgewinnungsanlagen für die Fliesentrocknung mit einem Investitionsvolumen von ca. 85 000 € ergab einen um 10-12 % geringeren Erdgasbedarf. Die größte Einsparung in Höhe von 30 % beim Erdgaseinsatz wurde durch den Ersatz veralterter Tunnelofenanlagen durch moderne Rollenöfen erreicht. Für diese Maßnahme waren Investitionen von 3,9 Mill. € erforderlich.

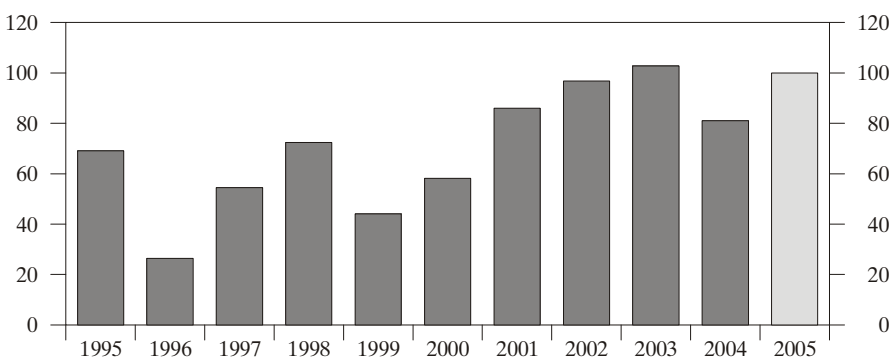
Alle vier Maßnahmen zusammen haben den Energieverbrauch der Branche um mindestens 36 GWh oder 138,5 TJ reduziert. Hiervon entfielen etwa 33 GWh bzw. 107,2 TJ auf die Verringerung des Erdgaseinsatzes und 3 GWh bzw. 31,3 TJ auf einen niedrigeren Stromverbrauch. Mit Hilfe der für das Monitoring verwendeten Umrechnungsfaktoren für Erdgas (56 kg CO_2/GJ) und Strom (670 kg CO_2/MWh) ergeben sich für die Berichtsperiode CO_2-Minderungen von rund 2 000 t durch Stromeinsparungen und von ca. 6 000 t CO_2 durch den geringeren Erdgasverbrauch. Insgesamt haben die im Fortschrittsbericht genannten Maßnahmen den CO_2-Ausstoß des Industriebereichs um mehr als 8 000 t CO_2 vermindert. Bezogen auf die Gesamt-Emissionen der Branche im Jahre 1990 entspricht dies einer Reduktion von 2,1 %.

8.8 Bewertung

Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten hat in ihrer aktuell gültigen Selbstverpflichtungserklärung zwei spezifische Minderungsziele mit unterschiedlichem Zeithorizont genannt. Zunächst sollen die spezifischen Emissionen bis 2005 um 22 bis 26 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Das zweite Ziel ist weniger konkret formuliert und avisiert eine Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 „möglichst in der Nähe von 30 %“ (Fliesenverband 2000) gegenüber 1990.

Seit 1999 ist der Industriebereich seinem für 2005 formulierten Ziel erheblich näher gekommen und konnte es 2003 sogar übertreffen (Schaubild 8.3). Allerdings gab es 2004 einen Rückschlag. Eine Hauptursache dafür war die mangelnde Kapazitätsauslastung infolge der Inbetriebnahme zweier neuer Produktionsstätten. Auch die zukünftige Entwicklung – insbesondere im Hinblick auf das für 2012 angestrebte Minderungsziel – ist mit einiger Unsicherheit behaftet.

Schaubild 8.3
Zielerreichungsgrad der Industrie der keramischen Fliesen und Platten für 2005
1995 bis 2004



Eigene Berechnungen.

In den Jahren 2003 und 2004 gab es eine steigende Nachfrage nach Steinzeug und hier insbesondere nach gewerblich genutzten Bodenfliesen (Fliesenverband 2005). An diese Produkte werden erhöhte Anforderungen hinsichtlich der Haltbarkeit gestellt, deren Erfüllung derzeit durch eine höhere Fliesenstärke erreicht wird. Dickere und somit schwerere Bodenfliesen verursachen jedoch einen höheren Brennaufwand und führen somit zu einem höheren spezifischen Energieverbrauch.

Die Brennofenausstattung ist laut Verband auf dem aktuellen Stand der Technik. Nennenswerte Effizienzsteigerungspotenziale sind demnach durch

Modernisierungsmaßnahmen nicht mehr zu erwarten. Auch das zusätzliche Einsparpotenzial durch ein verbessertes Qualitätsmanagement sowie durch Optimierung der Produktionsabläufe dürfte bereits sehr begrenzt sein, da zu vermuten ist, dass es angesichts der in den letzten Jahren gestiegenen Energiepreise von dem unter hohem Wettbewerbsdruck stehenden Wirtschaftszweig längst realisiert worden ist.

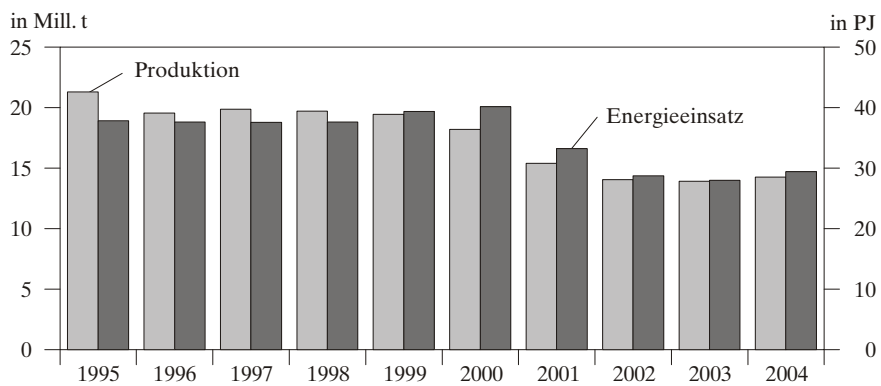
Von großer Bedeutung für die Industrie der Fliesen und Platten im Hinblick auf das Erreichen der Minderungsziele ist die Entwicklung der Baukonjunktur. Die geringe Zahl fertig gestellten Wohn- und Gewerberaums bedingt seit Jahren eine sinkende Nachfrage nach Boden- und Wandbekleidungen. Darüber hinaus entwickelt sich auch die Nachfrage, die sich aus dem Bedarf an Renovierungsarbeiten ergibt nur sehr schleppend (Deutsche Steinzeug 2005: 17, 32). Diese Marktsituation trägt zur schlechten Auslastung der Produktionskapazitäten bei, die zwangsweise in erhöhte spezifische CO_2-Emissionen mündet.

Inwiefern die Industrie die verbliebene Lücke bis 2005 schließen sowie das für 2012 formulierte Ziel in den nächsten Jahren erreichen kann, lässt sich somit aus heutiger Sicht schwer abschätzen. Nennenswerte Einsparpotenziale lassen sich wohl nur noch über eine verbesserte Auslastung der Brennöfen realisieren. Konjunkturelle Impulse seitens der Bauindustrie sind jedoch derzeit kaum zu erkennen, auch wenn sich die Lage dort zwischenzeitlich etwas entspannt hat (Deutsche Steinzeug 2006: 2). Das Erreichen des Ziels für 2005 scheint daher in erster Linie von der Auslastung der Produktionsanlagen abzuhängen.

9. Die Ziegelindustrie

Als Lieferant von gebrannten Dach- und Mauerziegeln gehört die mittelständisch geprägte Ziegelindustrie zur Baustoffindustrie. Demzufolge ist dieser Industriezweig stark von der konjunkturellen Lage in der Bauwirtschaft abhängig. Hier wie dort zeigte sich in den letzten Jahren ein rückläufiger Trend. Die Produktion der Ziegelindustrie konnte in den Jahren von 1995 bis 1999 auf einem relativ stabilen Niveau von 20 Mill. t gehalten werden, doch bedingt durch die konjunkturelle Abhängigkeit von der Bauwirtschaft sank die Produktionsmenge danach deutlich, von 19,4 Mill. t im Jahr 1999 auf etwa 14,3 Mill. t gebrannter Ziegel im Jahr 2004 (Schaubild 9.1). Dies entspricht einem Rückgang von 26,3 %.

Schaubild 9.1
Produktion und Energieverbrauch in der Ziegelindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie im Rahmen des Monitoring.

9.1 Datenbasis

Die wesentliche Datengrundlage für die im Rahmen des vorliegenden Berichtes erfolgende Berechnung der CO_2-Emissionen bildete auch für die Ziegelindustrie bis 2002 die Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes. Seit 2003 wird die Energieverwendung vom Statistischen Bundesamt neu erhoben und in einer eigenen Statistik veröffentlicht. Sowohl die Reihe 4.1.1 als auch die neue Energieverwendungsstatistik enthalten detaillierte Informationen zum Energieverbrauch des Sektors ab 1995. Der Sektor wird als Wirtschaftszweig 26.4., „Herstellung von sonstiger Baukeramik“, geführt. Informationen zu den durchgeführten Maßnahmen zur CO_2-

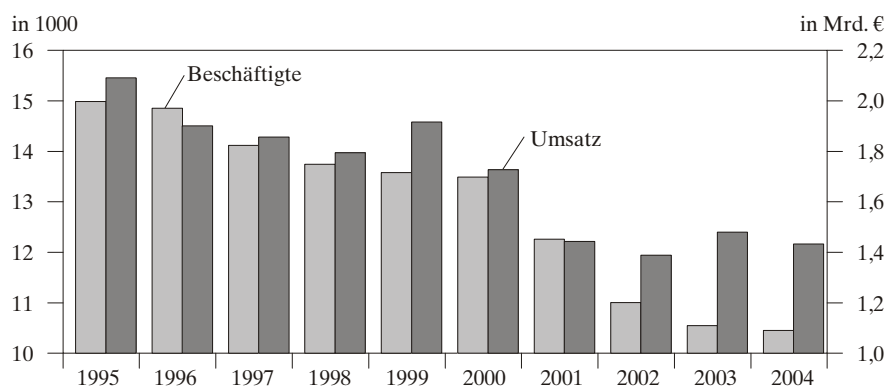
Minderung basieren auf dem Fortschrittsbericht des Bundesverbandes der Ziegelindustrie (Ziegel 2007).

Die amtliche Statistik weist die Herstellung von Mauerziegeln in Kubikmetern und von Dachziegeln in Stückzahlen aus. Der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie ermittelt daraus anhand von Erfahrungswerten Produktionswerte in Tonnen. Dazu wird ein Durchschnittsgewicht von 1 300 kg/m³ Mauerziegel und 3 kg je Dachziegel zugrunde gelegt (Buttermann, Hillebrand 2002: 83).

9.2 Energieverbrauch, Umsatz und Beschäftigung

Der Energieeinsatz blieb über mehrere Jahre zunächst weitgehend stabil. Zwischen 1995 und 2000 bewegte er sich auf einem Niveau von etwa 38 bis 40 PJ (Schaubild 9.1). Erst mit dem Produktionsrückgang von 26,3 % zwischen 1999 und 2004 ging eine vergleichbare Reduktion des Energieverbrauchs um 25,4 % einher. Der Industriezweig erzielte 2004 mit 10 450 Beschäftigten in 145 Betrieben einen Umsatz von 1,4 Mrd. € (Schaubild 9.2). Während der Umsatz 2003 erstmals seit 1999 wieder um 6,5 % stieg, sank er 2004 wieder um 3,2 %. Die Zahl der Beschäftigten ging 2003 und 2004 um insgesamt 5,0 % zurück. Mit lediglich 0,2 % aller Beschäftigten im Verarbeitenden Gewerbe und einem Umsatzanteil von 0,1 % im Jahr 2004 handelt es sich bei der Ziegelindustrie um einen vergleichsweise kleinen Industriebereich. Demgegenüber stellt sie sich mit einem Anteil am Gesamtenergieverbrauch in Höhe von 1,0 % als relativ energieintensiv dar.

Schaubild 9.2
Beschäftigte und Umsatz in der Ziegelindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Zieht man das Verhältnis von Energieeinsatz und Wert der zum Verkauf bestimmten Produktion als Indikator für Energieintensität heran, so ist die Ziegelindustrie mit 20,9 PJ/Mrd. € im Jahr 2004 zu den energieintensiven Sektoren zu zählen. Lediglich die anderen zur Baustoffbranche zählenden Sektoren wie die Kalk- und Zementindustrie sowie die Stahlindustrie weisen eine deutlich höhere Energieintensität als die Ziegelindustrie auf.

9.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Die Ziegelindustrie produziert unter anderem Mauer- und Dachziegel sowie Klinkersteine und Pflasterklinker. Dachziegel hatten nach Angaben des Verbandes 2004 einen Anteil von 18,2 % an der gesamten Produktion, Mauerziegel entsprechend einen Anteil von 81,8 %. Die Ausgangsmaterialien für diese Produkte sind Lehm und Ton, die oberflächennah und häufig in direkt neben dem Ziegelwerk befindlichen Lagerstätten abgebaut werden. Beim Abbau der Tone und Lehme kommen überwiegend Bagger und Radlager zum Einsatz. Durch die werksnahe Lage der Lagerstätten ist bei fast keinem deutschen Ziegelwerk ein Transport über längere Strecken notwendig. In einigen Ziegelwerken werden Transportbänder genutzt. Dies erspart jeglichen Transportverkehr (Baupraxis 2005).

Die natürlichen Rohstoffe weisen mitunter ein weites Spektrum in ihrer mineralogischen Zusammensetzung auf. Dies erfordert zur Produktion eines letztlich weitgehend homogenen Gutes wie Ziegel einen erheblichen Aufwand in der Aufbereitung der Rohstoffe (Hatzl, Gehlken 2001). Zudem verlangen die vermehrt eingesetzten Qualitäts- und Umweltmanagementsysteme wie beispielsweise die EG Öko-Audit-Verordnung eine kontinuierliche Überwachung und Einstufung der Rohstoffe, um eine energiesparende und umweltschonende Produktion gewährleisten zu können.

Die Ausgangsmaterialien werden zerkleinert und zu einer nassen Masse aufbereitet, die maschinell in meist quaderförmige Bausteine gepresst wird (Strangpressverfahren). Nachdem die gepressten Rohlinge getrocknet sind, werden sie gebrannt. Für das Brennen der Ziegel werden in der Regel öl- oder gasbefeuerte Tunnelöfen verwendet. Lediglich für Spezialerzeugnisse wie Zubehörteile für Dachziegel kommen Kammeröfen zum Einsatz.

Als besonders energieeffizient hat sich der Wärmeverbund zwischen Tunnelofen und Trocknungsanlage erwiesen. Die Trocknungsanlagen werden bei Temperaturen bis 100° C betrieben und dabei mit Warmluft aus der Kühlzone des Tunnelofens versorgt. Für den Brennvorgang werden die getrockneten Rohlinge meist in einem Paketbesatz auf den Tunnelofen gesetzt und auf Ofenwagen durch den Ofen gefahren. Im Gegenstrom der heißen Ofenabgase durchlaufen die Rohlinge zunächst die Vorwärmzone.

In der Brennzone werden diese dann bei Temperaturen zwischen 900 und 1 150° C gebrannt (Buttermann, Hillebrand 2002: 80).

9.4 Die Selbstverpflichtung

Die Ziegelindustrie hat sich 1995 bereit erklärt, ihren spezifischen Energieeinsatz bis 2005 auf 1 645 kJ/kg gebranntem Ziegel zu verringern (Übersicht 9.1). 1990 wurden durchschnittlich 2 274 kJ/kg verbraucht (Buttermann, Hillebrand 2002: 81). Daraus ergibt sich eine Minderungszusage von 27,7 %. In ihrer neuen Erklärung vom Dezember 2000 erklärt sich die Branche ferner bereit, bis 2012 ihre spezifischen CO_2-Emissionen um 28 bis 30 % gegenüber 1990 zu senken. 1990 wurden 152 kg CO_2/t emittiert. Somit ergibt sich für 2012 ein Reduktionsziel von maximal 109 kg CO_2/t.

Übersicht 9.1
Selbstverpflichtungen der Ziegelindustrie

Ziel 2005	Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs um 27,7 % gegenüber 1990 auf 1 645 kJ/kg.
Ziel 2012	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um 28 bis 30 % gegenüber 1990 auf 109 bzw. 106 kg CO_2/t.
Basisjahr	1990

Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie (Ziegel 2000).

9.5 Bis 2004 erreichte Minderungen

Die Ziegelindustrie hat zwischen 1990 und 1995 ihren spezifischen Energieverbrauch um fast 22 % auf rund 1,8 GJ/t gesenkt (Tabelle 9.1). Damit war das Ziel für 2005 zu fast 80 % erreicht. Bis 2000 stieg der spezifische Energieverbrauch dann wieder deutlich auf etwa 2,2 GJ/t. Die verbliebene Minderung gegenüber 1990 entsprach gerade einmal 10,5 % des angestrebten Ziels. Bis 2003 konnte die Ziegelindustrie den spezifischen Verbrauch wieder auf ca. 2,0 GJ/t verringern, 2004 stieg er erneut. Nachdem 2003 ein Zielerreichungsgrad von fast 42 % erreicht wurde, lag der Wert 2004 nur noch bei knapp 34 %.

Tabelle 9.1
Spezifischer Energieeinsatz und Zielerreichungsgrade der Ziegelindustrie
1990 bis 2004; Ziel bis 2005: Minderung des spezifischen Energieverbrauchs auf 1 645 kJ/kg

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Verbrauch, kJ/kg	2 274	1 776	2 025	2 208	2 160	2 045	2 011	2 061
Minderung in %	-	21,9	10,9	2,9	5,0	10,1	11,6	9,4
Zielerreichungsgrad in %	-	79,1	39,4	10,5	18,2	36,4	41,8	33,9

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie.

Die spezifischen CO_2-Emissionen haben 1995 mit 108 kg CO_2/t erstmals die Zielmarke für 2012 unterschritten (Tabelle 9.2). Ähnlich wie der spezifische Energieverbrauch haben sich die spezifischen Emissionen bis 2000 wieder erhöht, lagen aber mit 130 kg CO_2/t noch gut 14 % unter dem Wert von 1990. Bis 2003 sanken die spezifischen Emissionen auf 119 kg CO_2/t. 2004 lag ihr Wert bei rund 122 kg CO_2/t. Die Ziegelindustrie hat sich ihrem unteren Minderungsziel für 2012 auf ca. 71 % genähert.

Tabelle 9.2
CO_2-Emissionen und Zielerreichungsgrad der Ziegelindustrie
1990 bis 2004; Ziel bis 2012: Minderung der spezifischen Emissionen auf maximal 109 kg CO_2/t

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Abs. Emissionen, 1000 t	2 407	2 304	2 349	2 370	1 963	1 702	1 662	1 737
Spez. Emissionen, kg CO_2/t	152	108	121	130	128	121	119	122
Minderung in %	-	28,9	20,6	14,4	16,2	20,4	21,6	19,9
Zielerreichungsgrad in %	-	103,2	73,6	51,4	57,8	72,7	77,0	71,2

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie.

9.6 Ursachenanalyse

Die offenkundigste Ursache für die Abnahme des absoluten Energieverbrauchs in Höhe von 25,4 % zwischen 1999 und 2004 ist im anhaltenden Produktionsrückgang der Ziegelindustrie zu sehen. Die Produktion sank in diesem Zeitraum um 26,3 %. Bei einem unabhängig vom Auslastungsgrad nahezu konstanten Energiebedarf für Trockner- und Brennaggregate führt ein Rückgang der Produktion darüber hinaus zu einer Zunahme des spezifischen Energieverbrauchs. Ähnlich wie die Industrie der keramischen Fliesen und Platten und die Feuerfest-Industrie ist die Ziegelindustrie bei den spezifischen Emissionen und dem spezifischen Energieverbrauch äußerst anfällig für Schwankungen im Auslastungsgrad der Öfen.

In den Jahren 2000 bis 2002 sind die Auslastungsgrade trotz der Schließung von mehr als 30 Ziegelwerken zum Teil sogar gesunken (Tabelle 9.3). Ohne diese Schließungen wären die Auslastungsgrade aufgrund des deutlichen Produktionsrückgangs vermutlich noch weit geringer ausgefallen. Während die Auswertung der Energieverbrauchsdaten für die Ziegelindustrie für 2003 einen Rückgang des spezifischen Verbrauchs ergibt, weist der Verband in seinem Fortschrittsbericht darauf hin, dass Auslastungsprobleme auch 2003 und 2004 zu erhöhten spezifischen Energieverbräuchen geführt haben (Ziegel 2007: 2). Allerdings werden für diesen Zeitraum keine konkreten Angaben zu den Auslastungsgraden gemacht.

Tabelle 9.3
Auslastungsgrade der Öfen in der Ziegelindustrie
Jahresdurchschnittlich; in %

	2000	2001	2002
Dachziegelwerke	84	77	69
Vormauer- u. Klinkerwerke	68	68	68
Hintermauerziegelwerke	63	58	65

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie (Ziegel 2005a).

Als Ursache für den gestiegenen spezifischen Energieverbrauch nennt der Verband neben der verringerten Auslastung gesteigerte Ansprüche an die Qualität der Produkte, vor allem bezüglich Aussehen und Witterungsbeständigkeit. Diese Tendenz erfordert eine intensivere Aufbereitung der natürlichen Rohstoffe, was in der Regel mit einem gesteigerten Energieverbrauch verbunden ist. Bei der Produktion von Vormauer- und Dachziegeln wird in den letzten Jahren verstärkt auf Kundenwünsche eingegangen. Die Folge sind geringere Stückzahlen, die mit einem höheren spezifischen Energieverbrauch einhergehen.

Ferner ist im Laufe der Zeit eine Verschiebung der Nachfrage von Mauerziegeln zu Dachziegeln zu erkennen (Tabelle 9.4). Die Produktion von Dachziegeln ist sowohl mit einer längeren Brandzeit als auch mit einer höheren Brenntemperatur verbunden und infolgedessen energieintensiver. Zudem werden oberflächenveredelte Dachziegel, die einen Marktanteil von 80 % haben, heute zumeist in so genannten H-Kassetten gebrannt. Durch deren Einsatz erhöhte sich der spezifische Energieeinsatz gegenüber den traditionell verwendeten U-Kassetten von 2 400 bis 3 000 kJ/kg auf 2 800 bis 3 500 kJ/kg.

Tabelle 9.4
Mauer- und Dachziegelproduktion der Ziegelindustrie
1995 bis 2004; in Mill. Tonnen

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Mauerziegel	18,8	16,6	15,3	12,8	11,7	11,5	11,7
Dachziegel	2,5	2,8	2,9	2,6	2,4	2,4	2,6
Ziegel insgesamt	21,3	19,4	18,2	15,4	14,1	13,9	14,3
Mauerziegel in %	88,4	85,4	84,1	82,9	83,2	82,9	81,8

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 3.1 und des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie.

Im Vergleich zu 1990 ist der spezifische Energiebedarf bis 2004 um knapp 9,4 % gesunken (Tabelle 9.1). Der Wert für die spezifischen CO_2-Emissionen lag 2004 knapp 20 % unter dem Niveau von 1990 (Tabelle 9.2).

Der Grund für diesen Unterschied ist im zunehmenden Verzicht kohlenstoffreicher zugunsten kohlenstoffarmer Energieträger zu sehen. 1990 wurde noch etwa 16 % der Energie aus der Verfeuerung von Braun- und Steinkohle gewonnen. 2004 waren diese Energieträger nahezu gänzlich aus dem Energiemix verschwunden (Tabelle 9.5). Dafür stieg die Bedeutung von Erdgas und elektrischer Energie. Während 1990 knapp die Hälfte der Energie aus Erdgas bezogen wurde, betrug der Anteil 2004 bereits mehr als 70 %. Der Stromanteil am Energieverbrauch stieg als Folge der verstärkten Aufbereitung der Rohstoffe und dem Einsatz von Abgasreinigungsanlagen zwischen 1990 und 2004 von 21 % auf knapp 25 %.

Tabelle 9.5
Veränderungen des Energiemix der Ziegelindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohle	0,3	0,2	-	-	-	-	-	-
Steinkohlenbriketts	-	0,1	-	0,0	-	-	-	-
Steinkohlenkoks	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rohbraunkohlen	-	0,1	-	-	-	-	-	-
Braunkohlenbriketts	5,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schweres Heizöl	2,7	1,9	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
Leichtes Heizöl	2,0	2,9	2,1	0,9	0,6	0,5	0,5	0,3
Erdgas	17,7	22,9	26,3	28,4	23,1	19,4	19,1	20,6
Kokereigas	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-
Brennstoffe insgesamt	28,4	28,8	30,0	30,7	25,0	21,1	20,6	22,0
Nettofremdstrombezug	7,6	9,0	9,3	9,4	8,3	7,7	7,4	7,4
Energiebedarf insgesamt	36,0	37,8	39,3	40,1	33,2	28,7	28,0	29,4

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Die Verdrängung kohlenstoffreicher Energieträger spiegelt sich auch im durchschnittlichen Emissionswert je Energieeinheit wider. 1990 betrugen diese noch 66,9 kg CO_2/GJ. Dieser Wert konnte bis 2004 auf 59,1 kg CO_2/GJ reduziert werden. Die Minderung beträgt demnach 7,8 kg CO_2/GJ. Die sich daraus ergebene prozentuale Minderung beträgt etwa 12 % und scheint entsprechend gut den Unterschied in der Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs und der Entwicklung der spezifischen CO_2-Emissionen zu erklären.

9.7 Ausgewählte Minderungsmaßnahmen

Wenngleich der Anstieg der spezifischen CO_2-Emissionen und des spezifischen Energieverbrauchs ein anderes Bild vermitteln, macht die Ziegelin-

dustrie deutliche Anstrengungen zur Verringerung des Energieverbrauchs. Der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie nennt in seinem Fortschrittsbericht eine Reihe von Projekten, die dazu beigetragen haben, den Energieverbrauch in den Jahren 2003 und 2004 effizienter zu gestalten. Dazu zählen sowohl technische als auch organisatorische Maßnahmen.

Anhand der im Fortschrittsbericht gemachten Angaben ist indessen eine Ermittlung der Gesamteinsparung an Energie und CO_2-Emissionen nicht möglich. Es handelt sich jeweils um prozessbezogene Einsparungen, über deren genauen Energieverbrauch keine Angaben gemacht wurden.

Intensive Bemühungen zur Energieeinsparung richteten sich auf die Möglichkeiten der Optimierung des Wärmeverbundes zwischen Tunnelöfen und Trocknern sowie auf die Modernisierung bestehender Systeme und Aggregate (Tabelle 9.6).

Tabelle 9.6
Energieeinsparmaßnahmen und deren Ergebnisse aus einzelnen Ziegelwerken
2003 und 2004

Maßnahmen aus einzelnen Ziegelwerken	Energieeinsparung
Neuentwicklung von Großflächenziegeln	38 % (hochgerechnet auf Jahresproduktion: Einsparung von 3 Mill. m^3 Erdgas, entspricht 5 332 t CO_2)
Verbrennungsluftvorwärmung	4-5 %
Beherrschung von Übertemperaturen am Thermoreaktor durch Heißgasabsaugung mit Rauchgasrückführung (Thermocontrol)	2 %
Einsatz von Thermoelementen im Tunnelofen, dadurch Vergleichmäßigung des Besatzes und Verkürzung der Brennzeit von 42 auf 36 Stunden	14 %

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie (Ziegel 2007).

Seit 2003 sind neu entwickelte Großflächenziegel auf dem Markt, die gegenüber herkömmlichen Dachziegeln eine um 38 % geringere Masse aufweisen. Die Herstellung dieser neuen Generation von Ziegeln benötigt nicht nur entsprechend weniger Rohstoff, sondern auch weniger Energie beim Brand, weniger Verpackungsmaterial und verursacht darüber hinaus sowohl bei der Rohstoffanlieferung als auch bei der Produktauslieferung ein geringeres Verkehrsaufkommen. Hochgerechnet auf eine Jahresproduktion lassen sich ca. 63 000 t Rohstoff, 1,6 Mill. l Dieselkraftstoff und 3 Mill. m^3 Erdgas einsparen. Auf Basis des im Monitoring verwendeten CO_2-Faktors für Erdgas von 0,056 t CO_2/GJ errechnet sich hieraus eine Minderung der CO_2-Emissionen um 5 332 t.

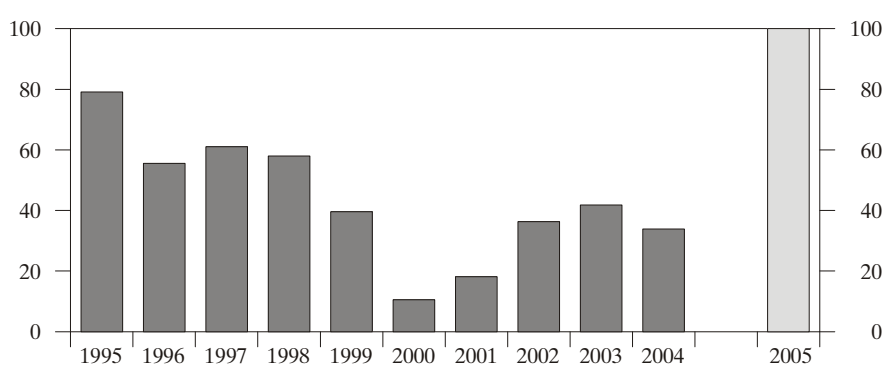
Zu den organisatorischen Maßnahmen gehört beispielsweise die Einführung der 7-Tage-Woche. Sie ermöglicht einen Dauerbetrieb mit kontinuierlicher Abnahme der Ofenluft. Zudem wurde die Rauchgastemperatur abgesenkt. Nach Angaben des Verbandes konnten durch organisatorische Anpassungen Energieeinsparungen von bis zu 20 % erreicht werden (Ziegel 2007: 1).

Die Umsetzung technischer und organisatorischer Energiesparmaßnahmen wurde von zahlreichen Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen begleitet, bei denen die Möglichkeiten zur weiteren Optimierung des Energieverbrauchs im Mittelpunkt standen. Hierzu zählen unter anderem der jährlich stattfindende Würzburger Ziegellehrgang sowie die Lehrgänge der Ziegeltechnologie für Meister und Fachleute an der FH Koblenz (Ziegel 2007: 2).

9.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Ziegelindustrie nennt in ihrer aktuell gültigen Selbstverpflichtungserklärung zwei spezifische Minderungsziele mit unterschiedlichen Zeithorizonten. Der spezifische Energieverbrauch soll bis 2005 um 27,7 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Das zweite Ziel avisiert eine Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 von 28 bis 30 % auf maximal 109 kg CO_2/t gegenüber 1990. Schaubild 9.3 gibt die Zielerreichungsgrade für das 2005 zu erreichende Ziel wieder. Erkennbar ist, dass die Industrie bereits im Jahr 1995 einen Zielerreichungsgrad von ca. 79 % realisieren konnte. Die Entwicklung bis 2004 lässt jedoch bezweifeln, dass die Ziegelindustrie ihr Ziel für 2005 erreichen wird.

Schaubild 9.3
Zielerreichungsgrade der Ziegelindustrie für die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs
1995 bis 2004

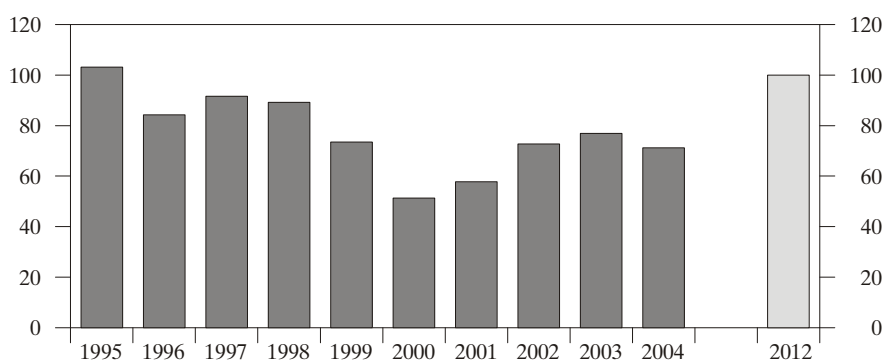


Eigene Berechnungen.

Die Gründe hierfür sind unterschiedlicher Natur. Ganz wesentlich ist die seit Jahren rückläufige Baukonjunktur und die daraus folgende geringe Fertigstellungszahl an Wohn- und Gewerberaum, die eine generell sinkende Nachfrage nach Mauer- bzw. Dachziegeln bedingt und folglich zu einer schlechteren Auslastung der Produktionskapazitäten mit entsprechend erhöhten spezifischen Energieverbräuchen und CO_2-Emissionen führt. Ein weiterer Grund sind die geänderten Marktanforderungen in Form gesteigerter Ansprüche an die Qualität der Produkte, vor allem bezüglich Aussehen und Witterungsbeständigkeit. Dies erfordert höhere Brenntemperaturen und eine verstärkte Aufbereitung. Gerade im Bereich der Sichtziegel wird verstärkt auf Kundenwünsche eingegangen. Die Folge sind geringere Stückzahlen, die mit einem höheren spezifischen Energieverbrauch einhergehen.

Erfreulicher sind die Aussichten, das für 2012 formulierte Ziel zu erreichen. Demnach sollen die spezifischen CO_2-Emissionen um 28 bis 30 % reduziert werden. Nachdem die Zielmarke bereits 1995 erstmals erreicht werden konnte, wurde sie in den Folgejahren wieder verfehlt. Die Substitution von kohlenstoffreichen Brennstoffen durch Erdgas trug bisher besonders zur Zielerreichung bei. Die Möglichkeit einer weiteren Substitution dürfte jedoch weitgehend ausgeschöpft sein: Erdgas deckte 2004 bereits fast 94 % des Brennstoffverbrauchs ab. Dieser Anteil wird – wenn überhaupt – nur noch geringfügig steigen, da diejenigen Anlagen, die noch kein Erdgas verwenden, entweder kein Gasnetz zur Verfügung haben oder aus produktspezifischen Gründen andere Brennstoffe einsetzen.

Schaubild 9.4
Zielerreichungsgrade der Ziegelindustrie für die Senkung der spezifischen CO_2-Emissionen
1995 bis 2004; Minimalziel bis 2012: Senkung der spez. Emissionen um 28 % gegenüber 1990



Eigene Berechnungen.

Wahrscheinlich ist, dass in den nächsten Jahren durch eine weitere Marktbereinigung bestehende Überkapazitäten abgebaut werden und dadurch Auslastung und damit Energieeffizienz steigen.

Die verbleibenden entscheidenden Faktoren zur Erreichung der gesetzten Ziele sind demnach in einer Verbesserung der Auslastungsgrade sowie in der weiteren Verbesserung der Energieeffizienz durch entsprechende technologische Maßnahmen zu sehen. Allerdings erlaubt es die wirtschaftliche Situation nach Angaben der Ziegelindustrie derzeit nicht, alle denkbaren Reduktionsmaßnahmen umzusetzen. Häufig fehlen aufgrund anhaltend niedriger Preise und des Kostendrucks die finanziellen Mittel für Investitionen.

10. Die Zementindustrie

Die wirtschaftliche Situation der deutschen Zementindustrie wurde in den vergangenen Jahren im Wesentlichen vom starken Rückgang der Bauwirtschaft bestimmt. Dieser begann bereits 1995 und setzte sich bis 2005 fort. Erst 2006 brachte eine allmähliche Erholung. Von dieser Nachfrageschwäche war die Zementindustrie nach Angaben des Verbandes in besonderem Maße betroffen. Nach einer vorübergehenden leichten Erholung der Produktion im Jahr 2003 auf einem Niveau von 33,3 Mill. t sank sie im Jahr 2005 auf einen Tiefstand von 31,8 Mill. t. 2006 stieg dann auch die Zementproduktion wieder auf 34,7 Mill. t (VDZ 2007: 6) an.

10.1 Datenbasis

Die für das CO_2-Monitoring verwendeten Daten zum Energieverbrauch und zur Produktion basieren auf jährlichen Umfragen des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ). Für den für das Monitoring relevanten Zeitraum ab 1995 macht zudem das Statistische Bundesamt in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, Angaben zum Energieverbrauch sowie zu Umsatz und Beschäftigung (StaBuA/FS4/R4.1.1). Zum Energieverbrauch gibt es Daten allerdings nur bis 2002, da die ab 2003 durchgeführte neue Erhebung des Statistischen Bundesamtes über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes die Verbrauchsdaten nicht mehr in der erforderlichen Gliederungstiefe bei den Energieträgern ausweist. Die hier benutzte Bezeichnung „Zementindustrie“ steht für den in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes aufgeführten Wirtschaftzweig Nr. 26.51, Herstellung von Zement.

Die Informationen des Verbandes zum Energieverbrauch der Zementindustrie wurden in den früheren Monitoringberichten mit denjenigen Werten verglichen, die in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes für die Jahre ab 1995 genannt sind (RWI 2005: 133f). Unterschiede zwischen den Angaben zum Energieverbrauch ergaben sich daraus, dass das Statistische Bundesamt im Gegensatz zum VDZ den Einsatz von Sekundärbrennstoffen wie Altreifen, Altöl usw. nicht erfasst hat. Diese werden in der Zementindustrie aus Kostengründen in zunehmendem Maße eingesetzt und spielen eine bedeutende Rolle.

Ein weiterer Grund für Unterschiede lag vermutlich darin, dass das Statistische Bundesamt die Zuordnung von Betrieben zu Sektoren nach deren Haupttätigkeit vornimmt, manche Zementwerke aber zum Beispiel auch

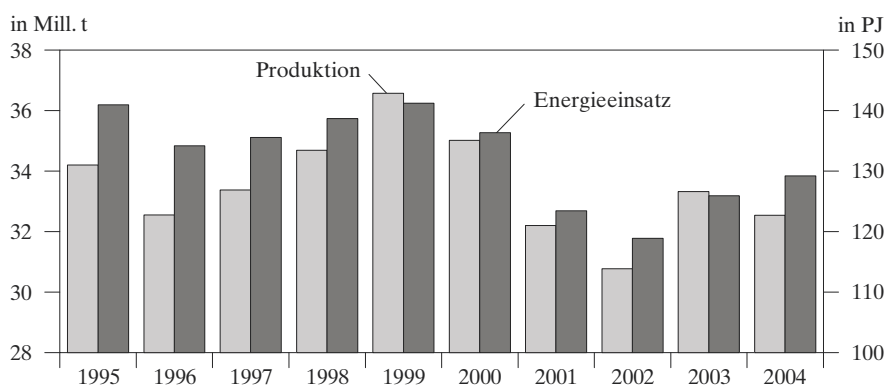
Kalk herstellen und dafür andere Energieträger benötigen, die vom Statistischen Bundesamt, nicht aber bei den Erhebungen des VDZ erfasst werden.

Zu der Branche zählten Ende 2006 insgesamt 22 Unternehmen mit zusammen 19 Mahlwerken und 38 Werken. Damit hat sich seit Ende 2003 die Zahl der Mahlwerke um eins, die der Werke zur Klinkererzeugung um vier reduziert (VDZ 2005: 6, VDZ 2007: 8). An der aktuellen Umfrage des VDZ haben sich alle 38 Werke mit Klinkererzeugung sowie 16 der 19 Mahlwerke beteiligt. Der Erfassungsgrad der Umfrage war nach Angaben des Verbandes sehr hoch. Für die nicht erfassten Unternehmen wurden Schätzungen auf Basis der Erfahrungswerte des Forschungsinstituts der Zementindustrie durchgeführt (VDZ 2007: 8).

10.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Mit einem Produktionsniveau von rund 33,3 Mill. Tonnen Zement aus in Deutschland gebranntem Zementklinker – dem Hauptbestandteil von Zement – gelang es der Zementindustrie 2003, den drastischen Rückgang der Produktion in den beiden Jahren zuvor zu stoppen. (Schaubild 10.1). Zwar ging die Produktion im Berichtsjahr 2004 erneut um 2,3 % auf 32,5 Mill. t zurück, sie blieb aber deutlich über dem Niveau von 2002.

Schaubild 10.1
Produktion und Energieeinsatz der Zementindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des VDZ im Rahmen des Monitoring.

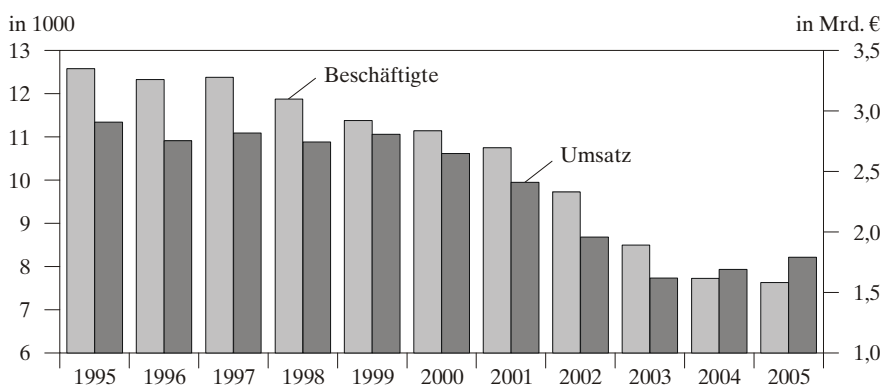
Zum Teil verursacht durch den Produktionsrückgang reduzierte sich der Energieverbrauch von 1999 bis 2002 kontinuierlich von 141,3 PJ auf 118,9 PJ (Schaubild 10.1) Bis 2004 stieg der Verbrauch auf 129,2 PJ an; der Zuwachs von 2002 bis 2004 war mit 8,7 % deutlich stärker ausgeprägt als der der Produktion mit 5,7 %. Diese Energieverbrauchswerte beinhalten sowohl den

Einsatz fossiler Brennstoffe und Strom als auch der Sekundärbrennstoffe. Den Anteil der Sekundärbrennstoffe am gesamten Brennstoffeinsatz, der bereits zwischen 1995 und 2002 kontinuierlich von 7,8 % auf 25,1 % erhöht wurde, konnte bis 2004 noch einmal gesteigert werden, auf 31 % bzw. 40 PJ (Tabelle 10.7).

Wenngleich weit hinter der Chemischen Industrie, der Eisenschaffenden Industrie und der Papierindustrie zurückliegend, zählt die Zementindustrie dennoch zu den energieintensiven Sektoren im Verarbeitenden Gewerbe. In kaum einer Branche des Verarbeitenden Gewerbes war die Energieintensität – gemessen durch das Verhältnis von Verbrauch und Umsatz höher. Verglichen mit dem Verarbeitenden Gewerbe insgesamt wies die Zementindustrie 2004 mit 76 MJ/€ einen etwa zehnmal so hohen Wert auf.

Der Umsatz der Zementindustrie ist von 1999 bis 2002 sehr viel deutlicher zurückgegangen als die Produktion, was auf einen gleichzeitig erfolgenden Preisverfall zurückzuführen ist (VDZ 2005: 6): Während sich die Produktionsmenge lediglich um rund 16 % reduzierte, nahm der Umsatz um mehr als 30 % ab (Schaubild 10.2). 2003 setzte sich trotz des Produktionsanstiegs der Rückgang des Umsatzes als Folge eines weiteren drastischen Preiseinbruchs noch einmal auf rund 1,6 Mrd. € fort (StaBuA/FS4/R4.1.1 2004: 47). Auf Grund der Preisberuhigung gelang dann bis 2005 mit einem Anstieg von 1,8 Mrd. € wieder eine leichte Stabilisierung.

Schaubild 10.2
Beschäftigte und Umsatz in der Zementindustrie
1995 bis 2005



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Auf den Absatzrückgang reagierte die Zementindustrie neben der Schließung von Werken mit einer weiteren Reduzierung der Beschäftigten. Insgesamt ist die Zahl der Arbeitskräfte in diesem Sektor in den vergangenen

Jahren kontinuierlich gefallen: von rund 12 600 Beschäftigten im Jahr 1995 auf rund 7 600 im Jahr 2005 (Schaubild 10.2).

10.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Seit Jahrhunderten ist Zement für die Stabilität von Bauten von enormer Bedeutung. Zement ist ein fein gemahlenes Bindemittel, das in der Bauwirtschaft unter Zugabe von Wasser, Sand und anderen Materialien zur Herstellung von Beton und Mörtel verwendet wird. Die Beimischung von Wasser zu Zement führt zu einer chemischen Reaktion, die das selbstständige Erhärten des Betons oder Mörtels zur Folge hat. Dies geschieht sowohl an Luft als auch unter Wasser.

Der wichtigste Bestandteil von Zement ist Klinker. Dessen Anteil beträgt je nach Zementsorte bis zu 95 %. Portlandzement[10] wird beispielsweise ausschließlich aus Zementklinker und einem Sulfatträger hergestellt. Zementklinker wird bevorzugt aus kalk- und tonmineralhaltigen Materialien gebrannt, die vor allem Kalkstein enthalten, den für die Zementherstellung wesentlichen Rohstoff mit der chemischen Verbindungsformel $CaCO_3$ (Calciumcarbonat, Calcit). Um aus den Rohmaterialien Zementklinker zu produzieren, werden diese auf die so genannte *Sintertemperatur* von etwa 1 400 bis 1 450 Grad Celsius aufgeheizt (VIK 1998: 40). Dieser Prozess wird als *Sinterung* bezeichnet (Lohmann 1999: 25).

Bereits während der Aufheizung bis zur Sintertemperatur zersetzt sich das Calciumcarbonat ($CaCO_3$) zu Calciumoxid (CaO) und Kohlendioxid (CO_2). Diesen chemischen Prozess der thermischen Dissoziation von Calcit nennt man *Entsäuern* des Kalksteins. Bei noch höheren Temperaturen entsteht aus Calciumoxid (CaO) die Verbindung Tricalciumsilicat (Alit), eine Substanz, die entscheidend zum Erhärtungsverhalten und zur Festigkeit im Endzustand beiträgt und das schnelle Abbinden des Zements ermöglicht (Lohmann 1999: 27).

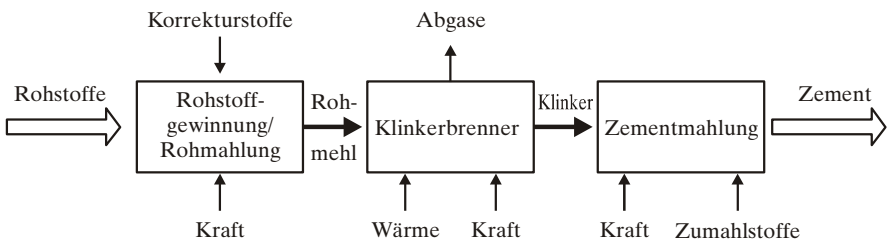
Bei der Entsäuerung des Calciumcarbonats ($CaCO_3$) wird *rohstoffbedingt* das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) freigesetzt. Die rohstoffbedingten spezifischen CO_2-Emissionen hängen von der Rohstoffrezeptur ab, verändern sich jedoch nur in geringem Maße. Sie variierten von 2000 bis 2004 zwischen 0,401 und 0,443 t CO_2/t Zement (VDZ 2007: 17). Andere Treib-

[10] Der Name Portlandzement geht auf den Engländer Joseph Aspdin zurück, der 1824 eine Mischung aus Kalk und Ton brannte. Die Farbe seines dadurch hergestellten Bindemittels entsprach der des damals oft verwendeten, von der englischen Halbinsel Portland an der Kanalküste stammenden Kalksteins. Aspdin nannte deshalb sein Produkt „Portlandcement" (Holcim 2004: 4).

hausgase treten bei der Zementherstellung nicht oder nur in extrem geringen Mengen auf (VDZ 2000: 24).

Der Prozess der Zementherstellung stellt eine Kombination von Mahl- und Brennvorgängen dar, die für den hohen Energieaufwand bei der Zementherstellung verantwortlich sind. Der Prozess lässt sich, wie in Schaubild 10.3 schematisch dargestellt, in drei Schritte zerlegen: Die Gewinnung und Aufbereitung der Ausgangsmaterialien zum so genannten Rohmehl bildet den ersten Schritt des Prozesses, der Brennvorgang des Rohmehls zu Zementklinker den zweiten Schritt und das Mahlen des Zementklinkers zu Zement den dritten Schritt.

Schaubild 10.3
Schematische Darstellung der Herstellung von Zement



Im ersten Schritt wird das Rohmaterial üblicherweise zerkleinert, mehlfein gemahlen und anschließend homogenisiert. Das Rohmaterial besteht im Wesentlichen aus Kalkstein und Ton, deren natürliches Gemisch Mergel heißt. Bei der Homogenisierung wird das Rohmehl in ein Mischungsverhältnis gebracht, das die während des Brennvorgangs stattfindenden chemischen Reaktionen zur Klinkerbildung günstig beeinflusst.

Man unterscheidet verschiedene Mahlverfahren wie das Nassverfahren, das Halbtrockenverfahren und das Trockenverfahren. Das Nassverfahren wird in Deutschland mittlerweile nicht mehr angewandt. Beim Halbtrockenverfahren wird das Rohmehl mit Wasser angefeuchtet (VIK 1998: 39). Heutzutage wird in Deutschland fast ausschließlich das Trockenverfahren angewandt, bei dem das Rohmaterial trocken gemahlen und im Gegenstrom der Ofenabgase, welche beim Brennen des Rohmaterials zu Zementklinker entstehen, auf Temperaturen von etwa 850 bis 900° C vorgewärmt wird (VDZ 2005: 9).

Nach dem Brennen des Zementklinkers bei Temperaturen von bis zu 1 500° C, bei dem im Wesentlichen Brennstoffenergie eingesetzt wird, wird dieser in so genannten Klinkerkühlern auf Temperaturen von 80 bis 150° C abgekühlt. Die dabei verbleibende Abwärme ist wirtschaftlich nicht mehr verwertbar (VDZ 2005: 10). Die Klinkerkühler haben die Aufgabe, Wärme

zurück zu gewinnen, indem die Kühlerabluft mit einem Temperaturniveau von etwa 250 bis 400° C beispielsweise zur Trocknung von Rohmaterialien verwendet wird (VDZ 2005: 10).

Das Mahlen des Zementklinkers zu Zement, welches den Einsatz elektrischer Energie erfordert, stellt den letzten Prozessschritt dar. Neben dem Mahlen von Klinker zu Zement, das laut VDZ (2005: 10) einen Anteil von circa 38 % am gesamten Stromverbrauch ausmacht, ist elektrische Energie vor allem zur Aufbereitung der Rohmaterialien – mit etwa 35 % Anteil am Stromverbrauch –, aber auch zum Brennen und Kühlen des Klinkers erforderlich (ca. 22 % Anteil am Stromverbrauch, siehe VDZ 2005: 10).

Grundsätzlich erlauben es nationale und europäische Zementnormen, dem gebrannten Zementklinker andere Stoffe beizumischen, beispielsweise Hüttensand oder auch ungebrannten Kalkstein. Hüttensand fällt bei der Herstellung von Roheisen in den Unternehmen der Eisenschaffenden Industrie an. So genannter Portlandhüttenzement enthält einen Hüttensandanteil von bis zu 35 %, während dieser bei Hochofenzement sogar bis zu 80 % betragen kann. Portlandkalksteinzement enthält einen Kalksteinanteil zwischen 6 % und 20 % (VDZ 2005: 19). Zement ist also keineswegs ein eindeutig definiertes, homogenes Produkt.

Die Beimischung von Hüttensand und Kalkstein ist für den Energieaufwand und den CO_2-Ausstoß dieser Branche von erheblicher Bedeutung. Zwar erfordert die Beimischung dieser Materialien einen größeren Stromeinsatz aufgrund eines erhöhten Mahlaufwands. Dennoch ist der gesamte Energieaufwand zur Herstellung einer Tonne Zement durch die Verwendung von Hüttensand oder Kalkstein geringer als bei ausschließlicher Verwendung von Zementklinker: Durch die Beimischung anderer Stoffe muss weniger Zementklinker pro Tonne Zement gebrannt werden, was notwendigerweise unter hohem Einsatz von Energie geschieht, um die Sintertemperatur von 1 400 bis 1 450 Grad Celsius zu erreichen. Neben den durch den verringerten Energieeinsatz erzielten energiebedingten spezifischen CO_2-Einsparungen reduzieren sich durch das Hinzufügen dieser Ersatzstoffe für Klinker auch die rohstoffbedingten spezifischen CO_2-Emissionen, welche beim Prozess der Entsäuerung anfallen.

Seit geraumer Zeit nimmt die Bedeutung der Zementprodukte mehreren Bestandteilen zu: Von 1999 bis 2004 ist deren Anteil von 34 % auf 41,7 % deutlich gestiegen (VDZ 2007: 19). Derartige Veränderungen des Mix an Zementprodukten stellen eine zunehmend wichtiger werdende Option zur Energieeinsparung und CO_2-Reduzierung in der Zementindustrie dar.

10.4 Die Selbstverpflichtung

Die deutsche Zementindustrie hat im Jahr 2000 erklärt, die energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 um 28 % gegenüber dem Basisjahr 1990 senken zu wollen (VDZ 2000: 19). Hierbei werden die CO_2-Beiträge aus dem Einsatz an Strom und Primärbrennstoffen berücksichtigt, nicht aber jene aus der Verwendung von Sekundärbrennstoffen wie Altreifen oder Altöl: Die Verbrennung solcher Abfallstoffe wird als CO_2-neutral angesehen (VDZ 2005: 4).

Übersicht 10.1
Selbstverpflichtung der Zementindustrie

Ziel	Verringerung der energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 um 28 % gegenüber 1990.
Implizite Annahme	Unter Einbeziehung der rohstoffbedingten Emissionen führt die Einhaltung dieses Ziels bis 2012 zur Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen um 16 % gegenüber 1990.
Basisjahr	1990

Angaben des VDZ (2000: 19).

Zur Begründung wird darauf verwiesen, dass diese Abfallstoffe zu Sekundärbrennstoffen werden, die fossile Brennstoffe ersetzen, vor allem Braun- und Steinkohle. Andernfalls müssten die Abfallstoffe deponiert oder andernorts verbrannt werden (VDZ 2000: 36). Dies würde zur Emission von CO_2 und anderen klimarelevanten Spurengasen führen.

Unter Einbeziehung der rohstoffbedingten Emissionen würden sich bei Einhaltung der Verpflichtung der Zementindustrie die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 um 16 % gegenüber dem Basisjahr 1990 reduzieren (VDZ 2000: 19). Andere im Kioto-Protokoll genannte Gase wie Methan sind in der Zementindustrie von keiner nennenswerten Bedeutung (VDZ 2000: 24).

10.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Der energiebedingte spezifische CO_2-Ausstoß betrug 2003 und 2004 rund 223 kg CO_2 pro Tonne Zement und war um rund 36,6 % niedriger als im Basisjahr 1990 (Tabelle 10.1). Damals lagen die energiebedingten spezifischen Emissionen bei etwa 352 kg CO_2/t Zement – wohlgemerkt ohne die CO_2-Beiträge der Sekundärbrennstoffe. Das Ziel, die energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 um 28 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu reduzieren, war bereits im Jahr 2001 erfüllt, als die Minderung 30,1 % betrug (Tabelle 10.1). 2003 und 2004 ist dieses Ziel jeweils um etwa 30 % übertroffen worden.

Tabelle 10.1
Energiebedingte[1] spezifische CO_2-Emissionen in der Zementindustrie
1995 bis 2004; Minderungsziel bis 2012: 253 kg CO_2 /t Zement bzw. -28 % im Vergleich zu 1990

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Emissionen, kg CO_2/t	352	325	267	263	246	237	223	223
Minderung geg. 1990, %	-	7,7	24,1	25,3	30,1	32,7	36,6	36,6
Zielerreichungsgrad, %	-	27,5	86,1	90,4	107,5	116,8	130,7	130,7

Nach Angaben des VDZ (2007:17). – 1) Ohne Sekundärbrennstoffe.

Die implizite Annahme des Verbandes, dass mit Einhaltung dieser Zielgröße auch die gesamten spezifischen Emissionen inklusive der rohstoffbedingten CO_2-Emissionen bis 2012 um 16 % sinken würden, bestätigte sich ebenfalls bereits für die Jahre 2001 bis 2004 (Tabelle 10.2).

Tabelle 10.2
Rohstoff- und energiebedingte[1] spezifische CO_2-Emissionen der Zementindustrie
Minderungsziel bis 2012: 674 kg CO_2/t Zement bzw. -16 % im Vergleich zu 1990; 1995 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spezifische Emissionen in kg CO_2/t	802	776	694	694	661	650	624	651
Minderung geg. 1990 in %	-	3,2	13,5	15,6	17,6	19,0	22,2	18,8

Nach Angaben des VDZ (2007:17). - 1) Ohne Sekundärbrennstoffe.

Die CO_2-Emissionen durch den Einsatz fossiler Brennstoffe und Strom lagen im Basisjahr 1990 bei rund 12 Mill. t (Tabelle 10.3). 2004 betrugen diese knapp 7,3 Mill. t, womit die Einsparung gegenüber 1990 bereits rund 4,7 Mill. t betrug. Die CO_2-Emissionen inklusive des rohstoffbedingten Anteils betrugen 1990 rund 27,4 Mill. t. Im Jahr 2004 lagen sie bei 21,2 Mill. t und damit um rund 5,4 Mill. t oder 33 % niedriger als 1990. Die energiebedingten CO_2-Emissionen wurden somit deutlich von den rohstoffbedingten

Tabelle 10.3
CO_2-Emissionen und Produktion der Zementindustrie
1990 bis 2004; Mill. t

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Energiebedingte Emissionen	12,0	11,1	9,8	9,2	7,9	7,3	7,4	7,3
Minderung geg. 1990 in %	-	-7,5	-18,3	-23,3	-34,2	-39,2	-38,3	-39,2
Energie- und rohstoffbedingte Emissionen	27,4	26,5	25,4	24,3	21,3	20,0	20,8	21,2
Minderung geg. 1990 in %	-	3,3	7,3	11,3	22,3	27,0	24,1	22,6
Produktion	34,2	34,2	36,6	35,0	32,2	30,8	33,3	32,5
Veränderung geg. 1990 in %	-	0,0	7,0	2,3	-5,8	-9,9	-2,6	-5,0

Nach Angaben des VDZ (2007:16).

Emissionen übertroffen: Diese lagen 1990 bei etwa 15,4 Mill. t, wie sich aus der Differenz von 27,4 und 12 Mill. t ergibt. Die rohstoffbedingten CO_2-Emissionen hatten im Basisjahr folglich einen Anteil von etwa 56,2 % an den CO_2-Emissionen dieses Sektors. 2004 machten die rohstoffbedingten CO_2-Emissionen mit 67 % oder 14,7 Mill. t bereits einen bedeutend höheren Anteil an der gesamten Emissionsmenge aus.

10.6 Ursachenanalyse

Die wesentlichen Gründe für die Senkung des Energieverbrauchs und damit des CO_2-Emissionsausstoßes der Zementindustrie sind im Produktionsrückgang, der Substitution von Zementklinker durch Zusatzstoffe wie Hüttensand und Kalkstein sowie im zunehmenden Einsatz von Sekundärbrennstoffen zu sehen. Im Folgenden wird der Einfluss jedes einzelnen dieser Faktoren untersucht.

Um die Auswirkungen des Produktionsrückganges auf den Brennstoffverbrauch zu identifizieren, berücksichtigt die Tabelle 10.4 den erhöhten Einsatz der Sekundärbrennstoffe und gibt die Entwicklung des gesamten Brennstoffbedarfs inklusive des Verbrauchs an Sekundärbrennstoffen wider. Die Minderung des Brennstoffverbrauchs betrug zwischen 1990 und 2004 ca. 13,3 %. Zu etwa zwei Dritteln ist dies auf die Verringerung des spezifischen Brennstoffbedarfs zurückzuführen, welcher sich im selben Zeitraum um 8,8 % reduzierte. Der Anteil von zwei Drittel resultiert aus der Division von 8,8 % durch 13,3 %.

Tabelle 10.4
Spezifischer und absoluter thermischer Energieverbrauch der Zementindustrie
1990 bis 2004; Minderungsziel der früheren Selbstverpflichtung: 2 800 kJ/t bis 2005

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Verbrauch in kJ/kg	3200	3000	2800	2835	2790	2790	2740	2920
Minderung in %	-	6,3	12,5	11,4	12,8	12,8	14,4	8,8
Verbrauch in PJ	109,5	102,8	102,3	99,3	89,8	85,8	91,3	94,9
Minderung in %	-	6,1	6,6	9,3	18,0	21,6	16,6	13,3

Nach Angaben des VDZ (2007: 11).

Das übrige Drittel geht zurück auf den Produktionsrückgang, wie die folgende Überlegung bestätigt: Wären 2004 die Zementmengen des Jahres 1990 von 34,2 Mill. t produziert worden, hätte der dazu nötige thermische Energiebedarf bei dem in Tabelle 10.4 angegebenen spezifischen thermischen Energieverbrauch von 2 920 kJ/t im Jahr 2004 bei 99,9 PJ anstatt bei 94,9 PJ gelegen, also um 5 PJ höher. Der Wert von 5 PJ stellt etwa ein Drittel des zwischen 1990 und 2004 eingesparten thermischen Energieeinsatzes von 14,6 PJ dar (Tabelle 10.4).

Die deutliche Verringerung des spezifischen thermischen Energieverbrauchs lässt sich aus technischen Gründen auf keinen Fall mit der Substitution von thermischer durch elektrische Energie erklären. Die folgenden Zahlen belegen dies: Der elektrische Energieverbrauch sank laut Tabelle 10.5 zwischen 1990 und 2004 mit 10,6 % noch wesentlich stärker als die Produktion, welche sich um nahezu 5 % reduzierte. Der im Vergleich zur Produktion überproportionale Rückgang des Verbrauchs an elektrischer Energie geht im Wesentlichen einher mit der Verbesserung des spezifischen Stromverbrauchs. Dieser sank um 4,9 % (Tabelle 10.5).

Tabelle 10.5
Spezifischer und absoluter Verbrauch an elektrischer Energie
1990 bis 2004

Jahr	Absoluter Verbrauch in TWh	Veränderung gegenüber 1990 in %	Spezifischer Verbrauch in kWh/t	Veränderung gegenüber 1990 in %
1990	3,67	-	107,4	-
1995	3,64	-0,8	106,5	-0,8
1996	3,50	-4,6	107,4	-0,0
1997	3,47	-5,4	103,9	-3,3
1998	3,63	-1,1	104,7	-2,5
1999	3,73	+1,0	102,0	-5,1
2000	3,55	-3,3	101,5	-5,5
2001	3,21	-12,5	99,8	-7,1
2002	3,17	-13,6	103,0	-4,1
2003	3,32	-9,5	99,5	-7,4
2004	3,32	-10,6	102,1	-4,9

Nach Angaben des VDZ (2007: 14).

Der Rückgang des spezifischen thermischen Energieverbrauchs ist im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen. Dies sind zum einen Effizienzverbesserungen in der Produktion und zum anderen der erhöhte Absatz von Zementen mit zusätzlichen Bestandteilen wie etwa Hüttensand oder Kalkstein, die den Anteil an gebranntem Zementklinker verringern – und damit auch den für das Brennen des Klinkers notwendigen Energieaufwand. Zwischen 1995 und 2004 ist der Anteil der Zementsorten mit mehreren Bestandteilen von 23,2 % auf 41,7 % deutlich gestiegen (Tabelle 10.6). Wie hoch die damit verbundenen Energieeinsparungen konkret gewesen sind, lässt sich jedoch aus Mangel an den dafür benötigten Energieinformationen nicht bestimmen.

Die Senkung des spezifischen thermischen Energieverbrauchs um 8,8 % zwischen 1990 und 2004 kann die in Tabelle 10.1 dargestellte Verringerung der *energiebedingten* spezifischen CO_2-Emissionen um 36,6 % nur sehr un-

vollständig erklären. Ein wesentlicher Grund ist der zunehmende Einsatz an Sekundärbrennstoffen, da diese in der Selbstverpflichtung der Zementindustrie als klimaneutral angesehen werden. Seit 1990 konnte deren Anteil kontinuierlich erhöht werden, von 7,4 % oder 8,1 PJ im Basisjahr 1990 auf 42,1 % oder 40 PJ im Jahr 2004 (VDZ 2005: 11, Tabelle 10.7).

Tabelle 10.6
Anteile der Zemente mit mehreren Bestandteilen am Inlandsabsatz
1995 bis 2004; in %

Zementsorte (Zusatzstoffe)	1995	1999	2000	2001	2002*	2003	2004
Portlandhüttenzement (6-35 % Hüttensand)	2,6	13,1	15,0	16,1	19,2	15,3	14,0
Portlandkalksteinzement (6-20 % Kalkstein)	5,2	5,5	6,8	9,4	10,9	13,7	14,7
Hochofenzement (36-80 % Hüttensand)	13,4	13,8	14,2	14,1	10,7	11,4	10,4
Portlandölschieferzement (6-35 % Ölschiefer)	1,5	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3
Portlandpuzzolanzement (6-35 % Trass)	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,2
Übrige Zemente	-	0,5	0,4	0,7	1,3	1,3	1,1
Insgesamt	23,2	34,5	38,2	42,1	43,9	43,3	41,7

Nach Angaben des VDZ (2007:19). * wegen Änderung des Berichtskreises mit den Vorjahren nicht vergleichbar.

Um zu einer Abschätzung der durch den vermehrten Einsatz an Sekundärbrennstoffen vermiedenen CO_2-Emissionen zu kommen, wird hier vereinfachend davon ausgegangen, dass diese ausschließlich Steinkohle und Braunkohlenstaub mit jeweils einem CO_2-Emissionsfaktor von 0,093 Mill. t CO_2/PJ[11] ersetzt haben. Mit den gegenüber 1990 zusätzlich eingesetzten 31,9 PJ an Sekundärbrennstoffen wären demnach 2004 etwa 3 Mill. t CO_2 eingespart worden.

Würde man diese Menge zu den energiebedingten CO_2-Emissionen des Jahres 2004 in Höhe von knapp 7,3 Mill. t hinzuaddieren, lägen diese bei rund 10,2 Mill. t. Bei einem Output von 32,5 Mill. t Zement im Jahr 2004 hätten die energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen in diesem Falle nicht bei 223 kg CO_2 pro Tonne Zement gelegen, wie in Tabelle 10.1 ausgewiesen, sondern bei rund 314 kg/t. Die Differenz von ca. 91 kg/t entspricht einer Minderung der spezifischen Emissionen gegenüber 1990 von fast 26 %. Das heißt, etwa zwei Drittel der Verringerung der energiebedingten

[11]Für Braunkohle verwendet der VDZ (2005: 15) wegen der in der Zementindustrie eingesetzten besseren Brennstoffqualität einen niedrigeren Emissionsfaktor als sonst üblich.

spezifischen CO_2-Emissionen von 36,6 % – ging 2004 auf den Einsatz von Sekundärbrennstoffen zurück. Ohne Erhöhung des Sekundärbrennstoffeinsatzes hätte die Zementindustrie zwischen 1990 und 2004 folglich erst etwa 10,8 % der energiebedingten spezifischen CO_2-Minderungen realisiert.

Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass die Senkung der energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen nahezu restlos durch zwei Faktoren erklärt werden kann: Durch die Reduktion des spezifischen Brennstoffverbrauchs und einen weitaus größeren Teil durch den erhöhten Sekundärbrennstoffeinsatz. Die Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs geht wiederum zurück auf Effizienzverbesserungen in der Produktion und den erhöhten Absatz von Zementen mit zusätzlichen Bestandteilen. Substitutionen von kohlenstoffreichen zu kohlenstoffarmen fossilen Energieträgern wie Erdgas scheinen indessen kaum eine Rolle gespielt zu haben. Aus Tabelle 10.7 ist zu erkennen, dass der Anteil des kohlenstoffarmen Erdgases am gesamten Einsatz fossiler Regelbrennstoffe seit 1999 immer unter einem Prozent geblieben ist.

Tabelle 10.7
Brennstoffverbrauch der Zementindustrie
1990 bis 2004; in PJ

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohlen	47,5	43,1	31,4	21,8	19,3	19,1	15,5
Braunkohlen	45,8	33,4	30,1	28,0	24,5	27,4	31,6
Petrolkoks	0,8	10,0	8,4	7,6	7,4	5,7	3,8
Schweres Heizöl	4,2	3,3	1,9	3,4	3,4	2,7	2,5
Leichtes Heizöl	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3
Erdgas	0,8	1,1	0,7	0,4	0,3	0,3	0,5
Sonstige	2,1	0,6	1,0	1,1	0,6	0,8	0,7
Primärbrennstoffe	101,4	91,8	73,8	62,6	55,9	56,4	54,9
Sekundärbrennstoffe	8,1	11,0	25,5	27,2	29,9	34,9	40,0
Brennstoffverbrauch	109,5	102,8	99,3	89,8	85,8	94,9	94,9

Angaben des VDZ (2007: 11).

Der Mehreinsatz an Sekundärenergieträgern in Höhe von 31,9 PJ zwischen 1990 und 2004 ist neben dem Produktionsrückgang und der vermehrten Verwendung von Hüttensand und Kalkstein schließlich auch ein wesentlicher Grund, warum der Einsatz an Primärbrennstoffen, insbesondere von Steinkohlen und Braunkohlenstaub, deutlich reduziert werden konnte. Während 1990 Stein- und Braunkohlen im Umfang von 47,5 PJ und 45,8 PJ eingesetzt wurden, waren es 2004 nur noch rund 15,5 PJ respektive 31,6 PJ (Tabelle 10.7).

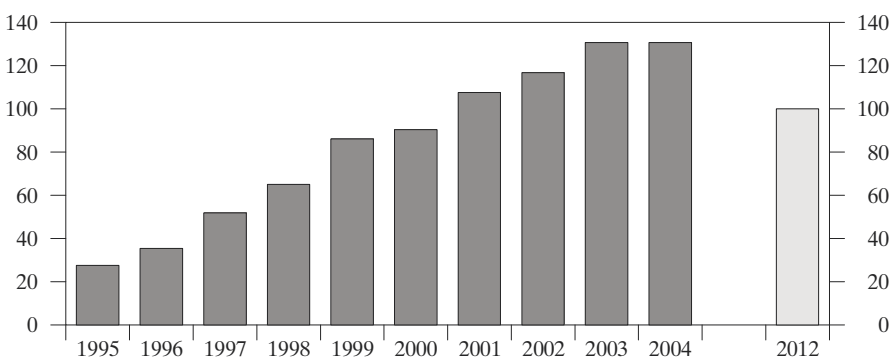
Der Energiegehalt aller Primärbrennstoffe verringerte sich zwischen 1990 und 2004 um insgesamt 46,5 PJ, von rund 101,4 PJ auf 54,9 PJ, wobei knapp 31,9 PJ durch zusätzliche Sekundärbrennstoffe eingespart werden konnten (Tabelle 10.7). Gut 30 % der Einsparungen an Primärbrennstoffen ist folglich auf die anderen Ursachen, wie den Produktionsrückgang, zurückzuführen.

Fazit: Zum vorzeitigen Erreichen des Ziels, die energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 um 28 % gegenüber 1990 zu verringern, hat die Ausweitung des Einsatzes an Sekundärbrennstoffen zu mehr als 50 % beigetragen. Die Senkung des spezifischen Brennstoffeinsatzes um 10,8 % zwischen 1990 und 2004 tat das Übrige. Diese Reduktion scheint wiederum fast ausschließlich auf den Ersatz von Zementklinker durch Zusatzstoffe wie Hüttensand zurückzugehen, durch deren Verwendung weniger Energie pro Tonne Output erforderlich ist. Die Substitution thermischer Energie durch elektrische Energie scheint hingegen keine nennenswerte Rolle zu spielen

10.7 Bedeutende Maßnahmen zur CO_2-Minderung und Bewertung

Ein Blick auf Schaubild 10.4, das die Zielerreichungsgrade zur Minderung der energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen darstellt, scheint kaum einen Zweifel daran zu lassen, dass die Zementindustrie das bis 2012 gesetzte Ziel erreichen wird. Bereits seit 2001 wird die von der Zementindustrie angepeilte Zielmarke unterschritten – mit steigender Tendenz.

Schaubild 10.4
Zielerreichungsgrade in der Zementindustrie
1995 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen.

Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Gründe, die unmittelbar mit den beiden wichtigsten vom VDZ zur CO_2-Minderung angeführten Maßnahmen zu-

sammenhängen: Erstens, die deutliche Ausweitung des Anteils an Sekundärbrennstoffen über das 2002 bereits erreichte Ausmaß von 34,8 % hinaus bis auf 42,1 % im Jahr 2004 (VDZ2007: 18-20). „Da die Brennstoffkosten maßgeblich die Herstellkosten der Zementindustrie beeinflussen, gehen die Bestrebungen der Zementindustrie aus Wettbewerbsgründen auch weiterhin dahin, fossile Brennstoffe verstärkt durch Abfallstoffe zu ersetzen" (VDZ 2007: 15). Das Motiv der Senkung der Energiekosten durch den Einsatz von Abfallstoffen wird demnach auch in Zukunft eine weitere Steigerung des Anteils der Sekundärbrennstoffe erwarten lassen. So zeichnet sich für 2006 ein Anstieg des Anteils auf 50 % ab (VDZ 2007: 11).

Zweitens: Diese Branche wird in Zeiten des Emissionshandelsregimes bemüht sein, weiterhin „verstärkt Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen neben Klinker in den Markt zu bringen" (VDZ 2007: 18), da damit sowohl die Energiekosten als auch die energie- und rohstoffbedingten CO_2-Emissionen reduziert werden können – die letzte Implikation zahlt sich im Emissionshandel zusätzlich aus. Aktuelle Zahlen zeigen, dass dieser Trend bestehen bleibt. War nach einer kontinuierlichen Steigerung des Anteils dieser Zementsorten am Inlandsabsatz auf 43,3 % im Jahr 2003 ein Rückgang bis 2004 auf 41,7 % festzustellen (Tabelle 10.6), stieg er bis 2006 auf 58,3 % an. Technische Bedeutung haben hier in erster Linie Hüttensand und ungebrannter Kalkstein. Damit hängt die zukünftige Entwicklung neben der Marktakzeptanz insbesondere von der Stahlproduktion und den dadurch verfügbaren Mengen an Hüttensand und granulierter Hochofenschlacke ab. Potenzial könnte es noch bei Portlandkalksteinzementen geben, deren Anteil sich von 1999 bis 2004 von 5,5 % auf 14,9 % fast verdreifacht hat (Tabelle 10.6), danach bis 2006 aber konstant geblieben ist (VDZ 2007: 19).

Die erreichten Minderungen der energiebedingten spezifischen CO_2-Emissionen sind fast ausschließlich auf die beiden oben genannten Ursachen zurückzuführen, nicht jedoch auf substanzielle Verbesserungen der Energieeffizienz im Produktionsprozess – zumindest nicht seit 1995. Dafür spricht das folgende Indiz: Der auf die Zementklinkerproduktion bezogene Energieverbrauch hat sich im Berichtszeitraum 2003 und 2004 gegenüber den Vorjahren nicht signifikant geändert, sondern scheint bereits seit Mitte der 1990er Jahre zu stagnieren (Bild 1, VDZ 2005: 4).

Die Erklärung ist nahe liegend: Nach Angaben des VDZ (2007: 18) sind die deutschen Zementwerke beinahe allesamt auf einem einheitlichen technischen Stand. Auf die nach der Wiedervereinigung in den neuen Bundesländern getätigten Investitionen in Neuanlagen bzw. in die grundlegende Umstrukturierung und Optimierung bestehender Zementwerke folgte der Neubau mehrerer Anlagen in den alten Bundesländern – die letzte Neuanlage

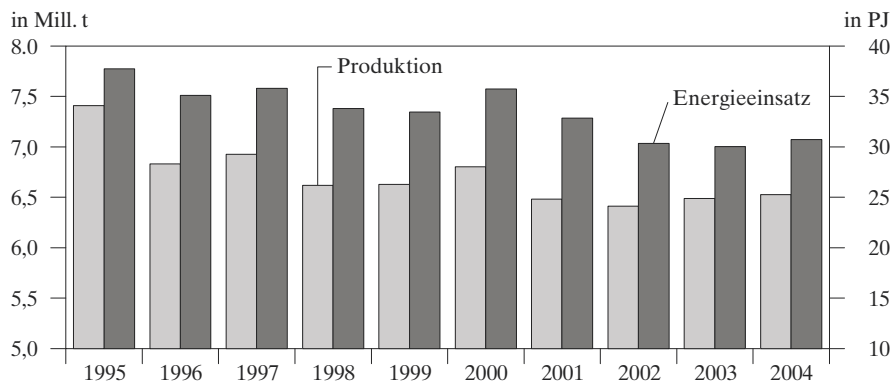
ging laut VDZ (2007: 18) im Jahr 2001 in Betrieb. Entsprechend ist hinsichtlich einer künftigen Steigerung der Energieeffizienz im Produktionsprozess wenig zu erwarten. „Für große Investitionen in energiesparende Maßnahmen bestand […] kein Spielraum", so der VDZ (2007: 18), und begründet dies vor allem mit dem rapiden Umsatzrückgang seit 1999 aufgrund nachlassender Bautätigkeit. Erst 2006 setzte ein Erholungseffekt durch die verbesserte Baukonjunktur ein. Zudem ist der heutzutage erreichte Wert für den spezifischen Brennstoffenergieeinsatz von rund 3 600 kJ/kg Zementklinker nicht mehr allzu weit vom theoretischen Minimum von rund 2 500 kJ/kg entfernt, wenn man berücksichtigt, dass dieser Anfang der 1960er Jahre bei 5 000 kJ/kg und 1950 sogar noch bei rund 8 000 kJ/kg lag (VDZ 2007: 9).

Fazit: Auch für die Zukunft ist keine Umkehr des Trends der Senkung der energetisch bedingten spezifischen CO_2-Emissionen zu erwarten. Der Spielraum für eine weitere Verringerung scheint begrenzt zu sein. Er setzt eine weitere Verbesserung der Marktakzeptanz für Zementprodukte mit mehreren Hauptbestandteilen und die deutliche Erhöhung der Investitionen in die Energieeffizienz verbessernde Maßnahmen oder gar Neuanlagen voraus. Dabei dürfte sich die Erholung der Bauwirtschaft als hilfreich erweisen. Ob der Emissionshandel substantielle Innovationseffekte generiert, wird kontrovers diskutiert (siehe Gagelmann und Frondel 2005). Ob er zu einer verbesserten Diffusion von Energieeffizienztechnologien führt, muss sich erst noch erweisen.

11. Die Kalkindustrie

Die Kalkindustrie zählt zusammen mit der Zement-, Ziegel- und der Feuerfest-Industrie sowie der Industrie der „Keramischen Fliesen und Platten" zur Bau-, Steine- und Erdenindustrie. Die Gewinnung, Verarbeitung und Produktion von Kalkerzeugnissen wie Stückkalk, Feinkalk oder Kalkhydrat stellt eine wichtige Vorleistung für viele andere Sektoren dar. Mit einem Anteil von gut 34 % war die Eisen- und Stahlindustrie 2004 nach Angaben des Verbandes der wichtigste Abnehmer von Kalkprodukten. Es folgten die Bauwirtschaft, der Umweltsektor sowie die übrige Industrie mit jeweils ca. 20 %. Der 1995 beginnende, starke Rückgang der Bauwirtschaft machte sich auch bei der Kalkindustrie bemerkbar: Zwischen 1995 und 2004 sank die Produktionsmenge um 0,9 Mill. t Kalk oder 11,9 % (Schaubild 11.1).

Schaubild 11.1
Produktion und Energieverbrauch der Kalkindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

11.1 Datenbasis

Die Datengrundlage für die im Rahmen des vorliegenden Berichtes erfolgende Berechnung der spezifischen CO_2-Emissionen wird in Form von Produktions- und Energieverbrauchswerten ausschließlich vom Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie (BV-Kalk) bereitgestellt. Die Informationen zum Energieverbrauch der Kalkindustrie wurden in den früheren Monitoringberichten mit denjenigen Werten verglichen, die in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes für den für das Monitoring relevanten Zeitraum ab 1995 genannt sind. Darin wird die Kalkindustrie nach

der *Klassifikation der Wirtschaftszweige* von 1993 unter der Kennziffer 26.52, „Herstellung von Kalk“, geführt. Diese Gegenüberstellung erfolgt in diesem Bericht nicht mehr, da die ab 2003 durchgeführte neue Erhebung des Statistischen Bundesamtes über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes die Verbrauchsdaten für die Kalkindustrie nicht mehr getrennt ausweist.

11.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Kalkindustrie stellte 2004 etwa 6,5 Mill. t Kalk her (Schaubild 11.1). Damit ist die Produktionsmenge, die in der zweiten Hälfte der neunziger Jahre deutlich zurückgegangen war, seit 2001 in etwa konstant geblieben. Der Energieverbrauch sank bis 2003 auf 30,0 PJ, stieg aber 2004 wieder leicht auf 30,7 PJ an. Schaubild 11.1 verdeutlicht, dass Produktion und Energieverbrauch in der Vergangenheit gleichgerichtete Schwankungen aufwiesen. Der starke Zusammenhang zwischen beiden Größen wird durch den hohen Korrelationskoeffizient von ca. 0,91 bestätigt.

Ein Energiekostenanteil von ca. 40 % an den Herstellungskosten pro Tonne Kalk ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Kalkindustrie zu den energieintensiven Industrien zählt (Freiherr von Landsberg 2004: 52). Dies bestätigt sich, wenn man Energieintensität als das Verhältnis des Energieverbrauchs und des Wertes der zum Absatz bestimmten Produktion definiert. Der entsprechende Wert lag für die Kalkindustrie im Jahr 2004 bei 72,1 MJ/€. Zum Vergleich: Die innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes ebenfalls zu den energieintensiven Sektoren gehörende Zementindustrie wies im selben Jahr einen Wert von 60,0 MJ/€ auf.

Der Anteil der Kalkindustrie am gesamten Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes fällt mit ca. 1 % dennoch gering aus. Mit 0,03 % ist hingegen der entsprechende Umsatzanteil dieses Sektors noch weitaus geringer. Bei einem etwa gleichen Umsatzanteil verzeichnet z.B. die Industrie der keramischen Fliesen und Platten einen deutlich geringeren Energieanteil von etwa 0,3 %.

11.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Das Ausgangsmaterial zur Gewinnung von Kalkprodukten wie Stückkalk, Feinkalk oder Kalkhydrat ist Kalkgestein, das hohe Anteile an Calciumcarbonat ($CaCO_3$, Kalkstein) enthält. Der Prozess zur Herstellung von Kalkerzeugnissen besteht aus drei Verfahrensschritten. Der erste Schritt umfasst die Exploration, Gewinnung und Aufbereitung des Kalkgesteins. Dieses wird gebrochen und mit Hilfe von Siebanlagen nach bestimmten Korngrößen getrennt. In einem zweiten Schritt wird der aufbereitete Kalkstein in

Schacht- oder Drehrohröfen gebrannt. Aus dem Ergebnis dieses Brennprozesses, dem so genannten Branntkalk, wird schließlich im dritten und letzten Schritt gemahlener Kalk (Feinkalk) oder Kalkhydrat hergestellt.

Während des Brennvorgangs zersetzt sich das Calciumcarbonat ($CaCO_3$) bei Temperaturen von über 900° C zu Calciumoxid (CaO) und Kohlendioxid (CO_2). Diesen chemischen Prozess der thermischen Dissoziation von Calciumcarbonat nennt man *Entsäuern* des Kalksteins. Bei der Entsäuerung des Calciumcarbonats ($CaCO_3$) wird also *prozessbedingt* das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) freigesetzt. Dieser Prozess läuft auch bei der Herstellung von Zement ab.

In Abhängigkeit von den Anforderungen der Kunden, dem zu erreichenden Grad der Entsäuerung, dem Anteil an Abfallstoffen sowie dem Endprodukttypus bewegt sich der Kalksteineinsatz für eine Tonne Branntkalk zwischen 1,4 und 2,2 t. Für die thermische Dissoziation des Calciumcarbonats ist ein *Mindestenergieeinsatz* von 3 200 MJ/t Branntkalk erforderlich (IPPC 2001: 80). Der Prozess der Herstellung von Kalkprodukten ist folglich recht energieaufwendig.

11.4 Die Selbstverpflichtung

Die Selbstverpflichtungserklärung der Kalkindustrie vom 15.12.2000 sieht vor, die *brennstoffbedingt* anfallenden spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um bis zu 15 % gegenüber 1990 zu senken (Übersicht 11.1). 1990 emittierte die Kalkindustrie bei einer Produktionsmenge von 7,1 Mill. t brennstoffbedingt etwa 3,2 Mill. Tonnen CO_2. Dies entspricht spezifischen Emissionen von 452 kg CO_2/t Branntkalk. (Im Folgenden wird abkürzend von Kalk anstatt von Branntkalk gesprochen.) Mit der Reduktionsverpflichtung um bis zu 15 % wird folglich ein Zielwert von fast 384 kg CO_2/t Kalk angestrebt. Unterstellt, die Produktionsmenge würde auf dem 1990er Niveau von 7,1 Mill. t verharren, würde die avisierte Minderung der spezifischen Emissionen zu einer Senkung der absoluten Emissionen von bis zu 482 800 t CO_2 führen.

Übersicht 11.1
Selbstverpflichtung der Kalkindustrie

Ziel	Verringerung der *brennstoffbedingt* anfallenden spezifischen CO_2 Emissionen bis 2005 um bis zu 15 % auf nahezu 384 kg CO_2/t Kalk.
Basisjahr	1990

Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

Die Menge an energie- und prozessbedingten CO_2-Emissionen pro Tonne Kalk beträgt rund 1,2 t. Etwa zwei Drittel dieser Emissionen sind prozessbedingt, das heißt auf den chemischen Prozess der Entsäuerung zurückzu-

führen, und somit nicht beeinflussbar (IPPC 2001: 84). Die freiwillige Selbstverpflichtung muss sich daher auf die Reduzierung des verbleibenden Drittels der bei der Kalkproduktion *brennstoffbedingt* entstehenden CO_2-Emissionen konzentrieren.

11.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Bis 2004 konnten die spezifischen CO_2-Emissionen gegenüber 1990 um 13,7 % bzw. auf 390 kg CO_2/t verringert werden (Tabelle 11.1). Damit wurde das für 2005 avisierte 15 %-Minderungsziel zu gut 91 % erreicht. 2003 wurde das Ziel von etwa 384 kg CO_2/t sogar schon übertroffen.

Tabelle 11.1
Spezifische CO_2-Emissionen der Kalkindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in kg CO_2/t.

Ziel: – 15 % bis 2005	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spezifische Emissionen	452	398	393	417	408	386	382	390
Minderung in %	-	11,9	13,1	7,7	9,7	14,6	15,5	13,7
Zielerreichungsgrad in %	-	79,3	87,3	51,3	64,7	97,3	103,3	91,3

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie im Rahmen des Monitoring.

Die absoluten CO_2-Emissionen konnten zwischen 1990 und 2004 ebenfalls verringert werden, um rund 0,67 Mill. t bzw. um 21 % (Tabelle 11.4). Bei den absoluten Emissionen ist folglich eine weitaus größere Minderung erreicht worden als bei den spezifischen Emissionen.

11.6 Ursachenanalyse

Eine wesentliche Ursache für die deutliche Reduktion der absoluten CO_2-Emissionen seit 1990 ist im Produktionsrückgang zu sehen. Darüber hinaus konnten spezifische – und damit auch absolute – Emissionsminderungen durch die Änderung des Mix an Brennstoffen und vor allem durch die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs erzielt werden. Der spezifische Energieverbrauch konnte in der Kalkindustrie um 13,2 % gegenüber 1990 verringert werden, auf rund 4,711 GJ/t Kalk im Jahr 2004 (Tabelle 11.2). Dass die spezifischen Emissionen im selben Zeitraum mit 13,7 % etwas stärker gesunken sind als der spezifische Energieverbrauch, liegt am Wechsel von kohlenstoffreichen Brennstoffen wie Steinkohle, Steinkohlen- und Braunkohlenkoks zu kohlenstoffarmen Energieträgern wie vor allem Erdgas. Eine solche Substitution vollzog sich vornehmlich im Zeitraum zwischen 1990 und 1999 (Tabelle 11.3). Die umgekehrte Entwicklung konnte zwischen 1999 und 2004 beobachtet werden: Es wurde wieder verstärkt Braunkohlenstaub und weniger Erdgas eingesetzt. Als Resultat ist die Min-

derung der spezifischen CO_2-Emissionen seit 1999 geringer ausgefallen als die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs. Zwischen 2002 und 2004 sind die spezifischen CO_2-Emissionen sogar wieder leicht gestiegen.

Tabelle 11.2
Spezifischer Energieverbrauch der Kalkindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Verbrauch in GJ/t	5,425	5,094	5,047	5,255	5,068	4,734	4,630	4,711
Minderung in %	-	6,1	7,0	3,1	6,6	12,7	14,7	13,2

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie im Rahmen des Monitoring.

Zwischen 1990 und 1999 halbierte sich der Steinkohleeinsatz, Braunkohlenkoks wurde nahezu gar nicht mehr verbraucht und der Einsatz an Steinkohlenkoks und Braunkohlenstaub wurde deutlich zurückgefahren (Tabelle 11.3). Stattdessen erhöhte sich vor allem der Verbrauch an Erdgas, von 11,3 PJ im Jahr 1990 auf 13,6 PJ im Jahr 1999. Dieser Wandel im Mix an Brennstoffen hatte maßgeblichen Anteil daran, dass die spezifischen CO_2-Emissionen im selben Zeitraum deutlich gesenkt werden konnten. Die spezifischen Emissionen nahmen in diesem Zeitraum laut Tabelle 11.1 um 13,1 % ab, während der spezifische Energieverbrauch nur um 7,0 % gesenkt werden konnte (Tabelle 11.2).

Nach 1999 nahm der Einsatz von Erdgas im Vergleich zum gesamten Brennstoffbedarf überproportional ab (Tabelle 11.3). Vermutlich infolge deutlich gestiegener Erdgaspreise reduzierte sich der Einsatz an Erdgas auf ein Niveau, das weit unter dem von 1990 lag. Ausgeglichen wurde dies augenscheinlich durch den Mehreinsatz an Braunkohlenstaub. Dessen Verbrauch stieg zwischen 1999 und 2004 um mehr als 90 %. Besonders ausgeprägt war der Anstieg des Verbrauchs an Braunkohlenstaub um 46,3 % zwischen 1999 und 2000.

Im Jahr 2000 war nicht nur ein deutlicher Produktionsanstieg auf 6,8 Mill. t Kalk zu verzeichnen. Auch die spezifischen Emissionen stiegen stark an, von 393 auf 417 kg CO_2/t Kalk (Tabelle 11.1). Wäre die durch den Produktionsanstieg zusätzlich benötigte Brennstoffmenge in Höhe von rund 2,3 PJ durch Erdgas gedeckt worden, anstatt durch Braunkohlenstaub, welcher mit 0,098 t CO_2/GJ einen knapp doppelt so hohen Emissionsfaktor wie Erdgas aufweist (Tabelle C.1), hätten sich rund 100 Mill. kg CO_2 einsparen lassen. Bei einer Produktionsmenge von 6,8 Mill. t würde dies eine um 16 kg CO_2 pro t Kalk geringere Emissionsmenge bedeuten und die spezifischen Emissionen hätten nur bei 401 anstatt bei 417 kg CO_2/t Kalk gelegen (Tabelle 11.1).

Tabelle 11.3
Veränderungen des Energiemix der Kalkindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2002	2003	2004
Steinkohle	3,5	2,7	1,8	1,6	0,4	0,7	1,1
Steinkohlenkoks	10,7	7,7	7,3	7,1	6,7	6,3	5,5
Braunkohlenkoks	0,7	0,03	0,1	0,1	0,0	0,02	0,1
Braunkohlenstaub	6,8	6,6	5,4	7,9	8,6	9,9	10,3
Schweres Heizöl	1,5	1,7	1,7	1,8	1,3	0,7	0,7
Leichtes Heizöl	0,4	0,6	0,5	0,8	0,5	0,3	1,4
Erdgas	11,3	15,2	13,6	13,3	10,0	9,4	8,7
Flüssiggas	0,7	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
Sonstige Brennstoffe	0,3	0,0	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4
Brennstoffverbrauch	36,0	35,0	31,0	33,2	28,0	27,7	28,4
Nettofremdstrombezug	2,6	2,7	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4
Energieverbrauch	38,6	37,7	33,4	35,7	30,4	30,1	30,8

Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie im Rahmen des Monitoring.

Der zwischen 1999 und 2002 wieder zunehmende Anteil an Braunkohlenstaub ist somit die wesentliche Ursache dafür, dass die Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen in diesem Zeitraum mit 1,8 Prozentpunkten weitaus geringer ausfiel, als im Vergleich hierzu die Minderung des spezifischen Energieverbrauchs mit 6,2 Prozentpunkten (Tabelle 11.2).

Diese Entwicklung setzte sich bis 2004 fort. Sie führte dazu, dass die spezifischen CO_2-Emissionen zwischen 2002 und 2004 um 1 % anstiegen, obwohl der spezifische Energieverbrauch in diesem Zeitraum um 0,5 % gesenkt werden konnte (Tabelle 11.3).

Tabelle 11.4
Produktion und CO_2-Emissionen der Kalkindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion in Mill. t	7,13	7,41	6,63	6,80	6,48	6,41	6,49	6,53
Veränderung in %		3,9	-7,0	-4,6	-9,1	-10,1	-9,0	-8,4
Emissionen in Mill. t	3,22	2,95	2,61	2,84	2,65	2,47	2,48	2,55
Minderung in %	-	8,4	18,9	11,8	17,7	23,3	23,0	20,8

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie im Rahmen des Monitoring.

Die Verringerung der absoluten CO_2-Emissionen um etwa 0,67 Mill. t zwischen 1990 und 2004 ist zu etwa einem Drittel auf den Rückgang der Produktion zurückzuführen, die von 7,13 Mill. t Kalk im Jahr 1990 auf

6,53 Mill. t im Jahr 2004 gefallen ist (Tabelle 11.4): Wäre 2004 ebenso viel produziert worden wie 1990, das heißt 0,60 Mill. t mehr als de facto, wären beim spezifischen Emissionswert des Jahres 2004 von 390 kg CO_2/t rund 0,235 Mill. t CO_2 mehr ausgestoßen worden, als dies tatsächlich geschehen ist.

Insgesamt ist somit festzuhalten, dass der weitaus größte Teil der im Vergleich zu 1990 erreichten CO_2-Minderungen weder auf den Produktionsrückgang noch auf den Wandel im Mix an Brennstoffen zurückgeht, sondern auf die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs um insgesamt 13,2 % (Tabelle 11.2). Diese wurde unter anderem durch den Einsatz effizienterer Produktionstechnologien erreicht, wie im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

11.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

CO_2-Emissionen entstehen vor allem im Kalkbrennprozess. Aber auch auf die dem Brennprozess nachfolgenden Lösch- und Mahlprozesse entfallen erhebliche Mengen an Emissionen (IPPC 2001: iv). Dementsprechend bezwecken viele Maßnahmen die Optimierung und Erneuerung von Brennöfen. Beispielsweise stellen Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Öfen (GGR-Öfen) – nur in Bezug auf die Verbrauchsmenge betrachtet – optimale Brennaggregate für Kalk dar. Diese zeichnen sich durch einen geringeren Wärmeverbrauch aus und können mit diversen Brennstoffen betrieben werden (Piringer, Loebner 2004: 40). Allerdings können GGR-Öfen nicht zum Standard werden, da dafür eine bestimmte Korngröße der Einsatzstoffe erforderlich ist und der produzierte Branntkalk spezifische Eigenschaften aufweist, die nicht immer erwünscht sind (Buttermann, Hillebrand 2002: 71). Die Minderungsmaßnahmen der Kalkindustrie konzentrieren sich zudem auf die Optimierung des Produktionsprozesses und die effizientere Gestaltung des innerbetrieblichen Transportwesens.

Zur Erfüllung ihrer Selbstverpflichtung sieht die Kalkindustrie die im so genannten „Best-Available-Techniques-Reference"-Dokument niedergelegten Empfehlungen zur Effizienz und Umweltfreundlichkeit der Produktionsanlagen als wesentliche Stütze an (BV-Kalk 2005). Das Dokument ist das Resultat eines Informationsaustausches zwischen der Europäischen Kommission und den Mitgliedsstaaten bezüglich der „besten verfügbaren Techniken", die in der IPPC-Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung niedergelegt sind.

Die für 2003 aufgeführten Maßnahmen der Kalkindustrie hatten häufig Einsparungen im Kraftstoffverbrauch durch eine Verringerung der Transportfuhren zum Ziel (Tabelle 11.5). So wurde 2003 zur Reduktion des in-

nerbetrieblichen Transportbedarfs in einem Unternehmen eine Umstrukturierung von Förderwegen durch den Bau eines Kettenbecherwerkes als Ersatz für verschiedene Bandanlagen durchgeführt. In einem anderen Unternehmen konnten beispielsweise 44 Transportfuhren durch den Einsatz eines Schneid- und Wirbelgerätes eingespart werden, da hiermit der Trockensubstanzgehalt beim Verpumpen von Sedimentschlamm vergrößert wurde. Durch die Umstellung eines kombinierten Nass- und Trockenaufbereitungsverfahrens auf einen reinen Trockenbetrieb gelang in einem dritten Unternehmen sowohl ein deutlicher Mindereinsatz an Dieselkraftstoff als auch eine beträchtliche Stromeinsparung. Maßnahmen, die zu Einsparungen beim Diesel- oder anderweitigen Kraftstoffverbrauch führen, dienen zwar der CO_2-Emissionsminderung, verbessern jedoch nicht die im Rahmen dieses Monitoringberichtes erstellte CO_2-Bilanz, da die Senkung der aus dem Kraftstoffverbrauch resultierenden Emissionen nicht Gegenstand der freiwilligen Selbstverpflichtung ist.

Tabelle 11.5
Ausgewählte Maßnahmen der Kalkindustrie zur CO_2-Minderung
2003 und 2004

Maßnahmen	Inbetriebnahme	Investitionen in Mill. €
Einsatz eines modernen Mühlaggregates und Bau eines Kettenbecherwerkes	2003	0,2
Einbau von Frequenzumrichtern für Abgas- und Treibluftgebläse (SO_2) sowie eines drehzahlgeregelten Kompressors	2003	0,07
Reduktion der Transportfuhren durch Anschaffung eines Schneid- und Wirbelgerätes	2003	0,07
Verringerung des Energieeinsatzes einer Aufbereitungsanlage durch Trockenproduktionsverfahren	2003	0,025
kompletter Austausch von Ausmauerungen Rekonstruktion von Stahlmänteln eines Kalkofens Brenneraustausch	2004	0,6

Angaben aus den Fortschrittsberichten 2003 und 2004 des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie (BV-Kalk 2006 und 2006a).

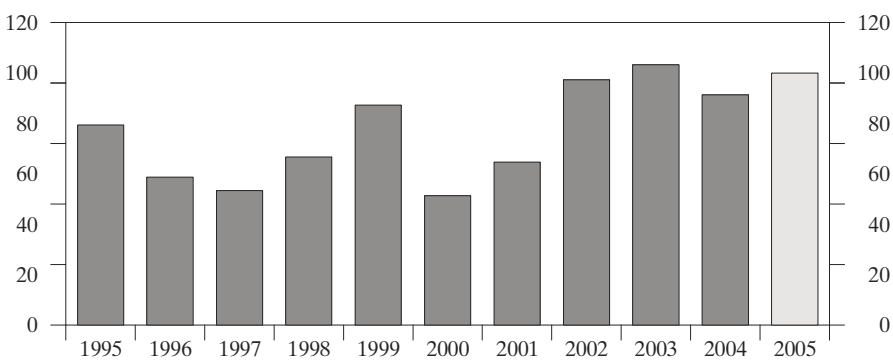
Im Jahr 2004 hat die Kalkindustrie insgesamt nach Angaben des Verbandes ca. 0,6 Mill. € in Maßnahmen zur Energieeinsparung investiert wie beispielsweise den kompletten Austausch von Ausmauerungen, Brenneraustausch und Rekonstruktion von Stahlmänteln eines Kalkofens (Tabelle 11.5). Für die Einsparungen an CO_2-Emissionen aus den in den Fortschrittsberichten dokumentierten Maßnahmen der beiden Berichtsjahre wurden keine Angaben gemacht.

Die Unternehmen der Deutschen Kalkindustrie waren 2004 vor allem mit der Vorbereitung auf den Emissionshandel beschäftigt (BV-Kalk 2006a). Dies führte nach Angaben des Verbandes wie auch schon im Jahr 2003 in vielen Fällen zu einer Rückstellung von Maßnahmen zur CO_2-Minderung. Die Investitionszurückhaltung dürfte denn auch ein wesentlicher Grund gewesen sein, dass der spezifische Energieverbrauch 2004 leicht zugenommen hat.

11.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Kalkindustrie hat sich zum Ziel gesetzt, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um bis zu 15 % gegenüber 1990 zu senken. Dieses Ziel wurde bereits 2003 übertroffen, 2004 indessen wieder verfehlt (Schaubild 11.2). Die Ursache dafür ist die Veränderung des Energiemix zugunsten kohlenstoffreicher Brennstoffe. So sank der Einsatz des kohlenstoffarmen Erdgases zwischen 2002 und 2004 um 1,3 PJ auf 8,7 PJ. Demgegenüber stieg der Verbrauch an Kohle um eben diese 1,3 PJ an. 2003 gelang die Einhaltung der Selbstverpflichtung durch die Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs. Im Folgejahr verstärkte jedoch die Verschlechterung der Energieeffizienz den durch den Wandel im Energiemix ausgelösten Anstieg der spezifischen CO_2-Emissionen.

Schaubild 11.2
Zielerreichungsgrade für die Kalkindustrie
1995 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen.

Die Fortschrittsberichte des BV-Kalk für die Jahre 2003 und 2004 liefern keine Anhaltspunkte für den Grund der deutlichen Senkung des jährlichen Erdgaseinsatzes um insgesamt 13 %. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass diese Reduzierungen in Zusammenhang mit den hohen Erdgaspreisen stehen.

Um das Minderungsziel von etwa 384 kg CO_2/t Kalk bis 2005 zu erreichen, müssten bei Unterstellung einer gleich bleibenden Produktionsmenge ca. 40 000 t CO_2 weniger ausgestoßen werden. So würde eine Substitution von ungefähr einem Petajoule an Braunkohlenstaub durch Erdgas diesem Ziel selbst bei stagnierendem spezifischen Energieverbrauch gerecht werden. Angesichts der ungebrochenen Tendenz zu weiter ansteigenden Erdgaspreisen dürfte dies allerdings eine sehr teure Minderungsoption darstellen.

Andererseits scheint eine weitere deutliche Reduktion der CO_2-Emissionen durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz kaum noch möglich, da die sich in Betrieb befindenden Kalkschachtöfen bereits sehr hohe Wirkungsgrade von teilweise über 85 % aufweisen. Einer Verringerung des Wärmebedarfs durch neue Schachtöfen wären somit enge Grenzen gesetzt (BV-Kalk 1998: 2). Daher scheinen sich die Bemühungen zur Verringerung des CO_2-Ausstoßes notwendigerweise auf den Übergang zu kohlenstoffarmen Brennstoffen wie Erdgas konzentrieren zu müssen.

Aus Sicht der Umwelt ist erfreulich, dass die absoluten CO_2-Emissionen der Kalkindustrie zwischen 1990 und 2004 um rund 0,67 Mill. t gesenkt werden konnten, auch wenn dies zu etwa einem Drittel auf den Rückgang der Produktion zurückzuführen ist (Tabelle 11.4). Ein deutlich verringerter CO_2-Ausstoß aufgrund von Produktionsrückgängen ist für die Zukunft jedoch als eher unwahrscheinlich einzustufen. Vielmehr ist von einer relativ stabilen oder sogar leicht steigenden Absatzentwicklung für Kalkprodukte auszugehen. Die Rohstahlerzeugung, die nach dem außerordentlichen Anstieg 2004 wieder gedrosselt wurde, zeigt 2006 erneut steigende Tendenz. Der Rückgang der Baunachfrage setzte sich zwar noch bis 2005 fort. Seit 2006 zeichnet sich jedoch auch hier eine deutliche Erholung ab, so dass ein steigender Absatz an Kalk zu erwarten ist. Eine Abschwächung der inländischen Kalkproduktion aufgrund stark ansteigender Kalkimporte ist ebenfalls auszuschließen, da Kalk aufgrund seiner spezifischen physikalischen Eigenschaften für längere Transporte – besonders auf dem Seeweg – ungeeignet ist (Krukowski 2004: 47).

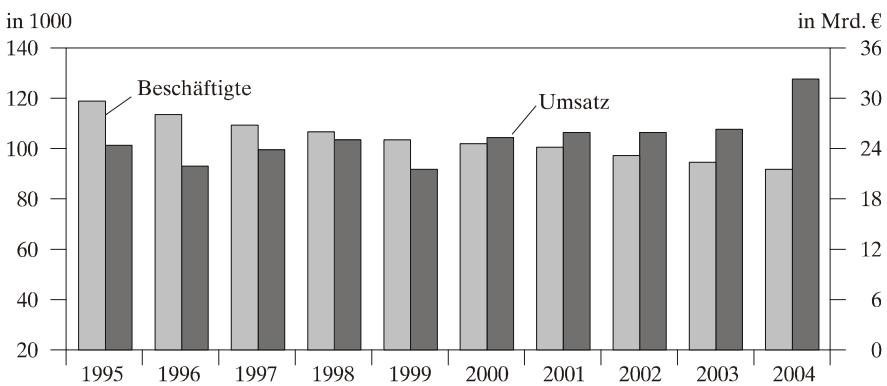
Der weitaus größte Teil der erreichten CO_2-Minderungen geht aber weder auf den Produktionsrückgang noch auf den Wandel im Mix an Brennstoffen zurück, sondern konnte durch die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs und – damit der spezifischen Emissionen – erreicht werden. Die Erreichung des für 2005 formulierten Minderungsziels für die spezifischen Emissionen erscheint daher möglich, könnte aber in der Praxis zu erheblichen Kostensteigerungen geführt haben, wenn diese Minderung über den verstärkten Einsatz von Erdgas vollzogen worden wäre.

12. Die Eisenschaffende Industrie

Die Eisenschaffende Industrie, im Folgenden auch Stahlindustrie genannt, produziert Eisen und Stahl. Die von der Stahlindustrie hergestellten hochwertigen Stahlfertigerzeugnisse sind zentrale Ausgangsstoffe für die Kraftfahrzeugindustrie, den Maschinen- und Anlagenbau und die Bauwirtschaft. Damit ist die Stahlbranche eine Schlüsselindustrie für die deutsche Wirtschaft.

Die Stahlindustrie (ohne eigene Kokereien, aber einschließlich der örtlich verbundenen Betriebe) beschäftigte Ende 2004 rund 92 000 Personen. Dies entspricht einem Beschäftigungsrückgang von etwa 22 % gegenüber Ende 1995 (WV Stahl 2006). Deutschland ist in Europa der größte Rohstahlproduzent: mit knapp 46,4 Mill. t Rohstahl wurde 2004 die Erzeugung gegenüber 1995 um rund 10 % erhöht. Weltweit nahm die Rohstahlerzeugung in diesem Zeitraum um gut 42 % auf knapp 1 069 Mill. t zu, wobei dieser Zuwachs insbesondere auf die nahezu Verdreifachung der chinesischen Rohstahlerzeugung zurückzuführen ist (IISI 2004, 2006).

Schaubild 12.1
Umsatz und Beschäftigte der Stahlindustrie
1995 bis 2004, Beschäftigungsstand jeweils am Jahresende



Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl 2006).

Im Jahr 2004 betrug der Umsatz der Stahlindustrie gut 32 Mrd. €. Dieser Wert liegt rund 32 % über dem Umsatz von 1995 und bedeutet eine Umsatzsteigerung von mehr als 22 % gegenüber 2003 (Schaubild 12.1). Etwa 38 % des Umsatzes wird durch Exporte erwirtschaftet.

12.1 Datenbasis

Die Eisenschaffende Industrie wird vertreten durch die Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl). Im Rahmen des CO_2-Monitorings stellt die WV Stahl Angaben zur Rohstahlproduktion und zum Energieverbrauch bereit. Darüber hinaus publiziert dieser Verband jährlich umfangreiches Datenmaterial über die Branche (WV Stahl 2006). Hieraus können Informationen zum Umsatz und zur Beschäftigung entnommen werden. Weitere internationale Vergleichszahlen zur Produktion stellt das *International Iron and Steel Institute* (IISI 2004, 2006) bereit.

Für das Monitoring werden alle Sinteranlagen, die Hochöfen, Oxygen- und Elektrostahlwerke, Warmwalzwerke, Stromerzeugungsanlagen der Stahlindustrie, Frischdampfkesselhäuser sowie sonstige örtlich verbundene Betriebe der Stahlweiterverarbeitung berücksichtigt. Nicht einbezogen sind die industrieeigenen Hüttenkokereien.

Das Statistische Bundesamt führt die Stahlindustrie in der Wirtschaftszweigsystematik 2003 unter den Positionen 27.10 „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen“ und 27.22 „Herstellung von Stahlrohren und Rohrstücken aus Stahl“. Der Verbrauch an Brennstoffen und elektrischer Energie wird im Rahmen der Eisen- und Stahlstatistik regelmäßig publiziert (BGS 2003, 2004).

Die Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl und des Statistischen Bundesamts zum emissionsrelevanten Energieverbrauch zeigen sich weitgehend deckungsgleich. Unterschiede ergeben sich aus den Heizwertannahmen, Feuchtigkeitsgehalt der Kohle und Bereinigungen in der Statistik. Insgesamt jedoch ergeben sich Abweichungen von unter 3 %. Wie zuvor bilden daher die Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl die Berechnungsgrundlage für den vorliegenden Monitoringbericht über die Stahlindustrie.

Der Nettoenergieverbrauch und der Energiemix der Stahlindustrie sind in Tabelle 12.1 dargestellt. Die Energieträger Strom und Koks nehmen eine herausragende Rolle im Energiemix ein. Knapp 44 % der netto verbrauchten Energie wurde 2004 aus Steinkohlenkoks und -koksgrus gewonnen, der Anteil des fremdbezogenen Stroms lag bei rund 21 %.

Vom Nettoenergieverbrauch muss der Bruttoenergieverbrauch unterschieden werden, welcher sich durch die Berücksichtigung der im Produktionsprozess entstehenden Hochofen- und Konvertergase ergibt. Diese Kuppelgase werden von der Stahlindustrie energetisch genutzt, das heißt als Brennstoff zur Eigenstromerzeugung oder im Produktionsprozess eingesetzt. Der Bruttoenergieverbrauch der Stahlindustrie lag daher 2004 bei rund 835 PJ. Indessen ist der Kohlenstoffgehalt der Kuppelgase bereits mit den verwen-

deten Primärenergieträgern berücksichtigt. Um Doppelzählungen bei den CO_2-Emissionen zu vermeiden, wird daher der Verbrauch an Hochofen- und Konvertergas im Monitoring nicht berücksichtigt. Der Einsatz an Kokereigas muss hingegen einbezogen werden, da die Hüttenkokereien außerhalb der im Monitoring berücksichtigten Systemgrenze liegen. Mit anderen Worten: Für die spezifischen CO_2-Emissionen, der für die Zielerreichung der Stahlindustrie relevanten Kenngröße, bilden die im Nettoenergieverbrauch berücksichtigen Energieträger die Basis.

Tabelle 12.1
Energieverbrauch der Eisenschaffenden Industrie
2003 und 2004, in PJ, gerundete Werte

	2003	2004
Steinkohle	73,8	84,5
Koks und Koksgrus (trocken)	331,0	332,9
Schweres Heizöl	42,2	41,0
Erdgas, sonstige Gase	95,6	95,3
Kokereigas	34,6	37,8
Sonstige Brennstoffe (in GJ)	13,8	8,9
Nettofremdstrombezug	145,9	157,0
Nettoenergieverbrauch	*736,9*	*757,4*
Bruttoenergieverbrauch (inkl. Kuppelgase)	*811,0*	*835,2*

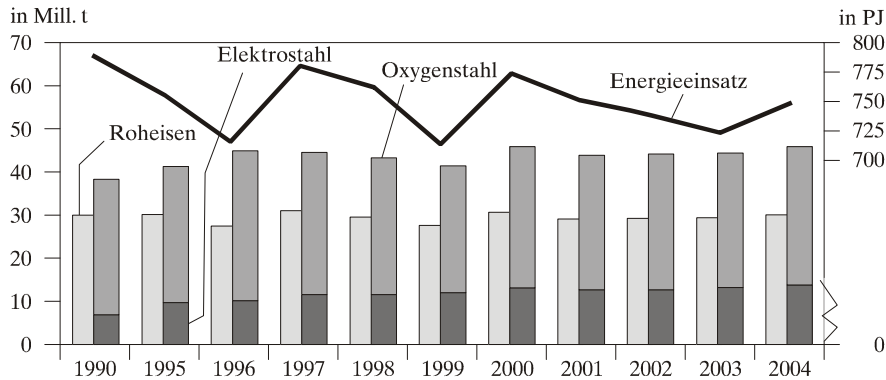
Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl im Rahmen des Monitorings.

12.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Stahlindustrie als Lieferant eines der zentralen Ausgangsstoffe des Produzierenden Gewerbes hängt erheblich von konjunkturellen Schwankungen ab. Infolgedessen ist ein häufiges Auf und Ab des Energieverbrauchs zu beobachten (Schaubild 12.2), und damit auch der CO_2-Emissionen.

Die Stahlindustrie erzeugte 2004 in ihren Hochofenanlagen rund 30 Mill. t Roheisen. Von den erzeugten 46,4 Mill. t Rohstahl sind 32,2 Mill. t Oxygenstahl und 14,2 Mill. t Elektrostahl. Im Vergleich zu 1995 wuchs die Rohstahlproduktion um 10,3 %. Elektrostahl hat seit 1995 deutlich an Bedeutung gewonnen: sein Anteil an der Gesamtrohstahlproduktion wuchs in dieser Zeit von knapp 24 % auf fast 31 %. Die Produktionsmenge des auf der Hochofenroute produzierten Oxygenstahls blieb seit 1995 nahezu konstant, ebenso die Roheisenproduktion. Die Produktion an warmgewalzten Stahlerzeugnissen betrug 2004 rund 40 Mill. t.

Schaubild 12.2
Produktion und Nettoenergieverbrauch in der Stahlindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl im Rahmen des Monitorings.

Die Stahlindustrie hat 2004 brutto rund 835 PJ an Energie verbraucht. Daraus leitet sich ein spezifischer Energieverbrauch von 18 GJ je t Rohstahlerzeugung ab, was einer Minderung von knapp 12 % gegenüber 1990 entspricht. Der für das Monitoring relevante Nettoenergieverbrauch lag 2004 bei gut 757 PJ (Schaubild 12.2). Gemessen daran wurden rund 16 GJ je t Rohstahl an Nettoenergie aufgewendet, fast 14 % weniger als 1990.

Die Stahlindustrie ist ein äußerst energieintensiver Industriezweig. Durchschnittlich wurden 2004 rund 25 MJ je € Umsatz verbraucht. Im Vergleich dazu betrug dieses Verhältnis im Mittel im Verarbeitenden Gewerbe nur gut 2,6 MJ je € Umsatz.

12.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Rohstahl wird in Deutschland inzwischen ausschließlich entweder nach dem Oxygenstahl- oder dem Elektrostahlverfahren produziert. Der Verfahrensweg der Oxygenstahlproduktion besteht im Kern aus der Aufbereitung des Eisenerzes, der Herstellung von Roheisen im Hochofen und der Konvertierung von Roheisen in Rohstahl. Anstatt des Primärrohstoffes Eisenerz wird bei der Elektrostahlerzeugung Stahlschrott als Sekundärrohstoff eingesetzt und zu Rohstahl eingeschmolzen. Der Prozess der Elektrostahlerzeugung ist folglich ein Verfahren, das wegen des Einsatzes von Sekundärrohstoffen weniger energieintensiv als das Oxygenstahlverfahren ist.

Für die Herstellung von Roheisen muss das Eisenerz zunächst aufbereitet werden. Eisenerze können als Stück- oder Feinerze auftreten. Stückerze

werden zunächst gesiebt und gebrochen, bevor sie in den Hochofen kommen. Damit eine Durchgasung des Hochofens möglich ist, müssen Feinerze vor der Ofenbeschickung durch Pelletieren oder Sintern agglomeriert werden. Derzeit werden rund 80 % des notwendigen Eisenerzes aus agglomerierten Feinerzen gedeckt (Ameling, Lüngen 2004: 30).

Die Pelletierung verdichtet die angefeuchteten Feinsterze mechanisch. Die Pellets werden anschließend getrocknet und bei Temperaturen oberhalb von 1 000°C gebrannt. Pelletieranlagen stehen vorwiegend bei Eisenerzerzeugern; deren Energieverbrauch fällt daher nicht in der Stahlindustrie an. Bei der Sinterung wird das Feinerz mit Koksgrus und weiteren Beigaben auf dem so genannten Sinterband verbacken. Dabei wird der in der oberen Schicht der Sinterrohmischung enthaltene Koksgrus in einem Zündofen mit Gas gezündet und damit der Sintervorgang eingeleitet. Es wird ein erhitzter Luft- oder Gasstrom durch die Mischung gesaugt, was zu einer Verklumpung – der Sinterung – führt. 2004 wurden in der deutschen Stahlindustrie knapp 28 Mill. t Sinter hergestellt (WV Stahl 2006).

Die aufbereiteten Primärrohstoffe – der Möller – werden dem Hochofen über ein Band zugeführt und dort mit Zuschlagsstoffen wie Kalk und Kies vermengt. Zentral für den Hochofenprozesses sind die Reduktionsmittel. Diese enthalten Kohlenstoff (C) und werden benötigt, um den im Eisenoxid vorhandenen Sauerstoff (O) zu binden und das Eisen (Fe) zu isolieren. Dabei entsteht unter anderem Kohlendioxid (CO_2). Das in der Stahlindustrie alles überragende Reduktionsmittel ist Koks. Gegebenenfalls wird Koks durch Kohle, Öl, Gas oder aufbereiteten Altkunststoffen ergänzt. Nach Angaben der WV Stahl wurden 2004 rund 11 Mill. t Koks verbraucht, davon wurden etwa 6,4 Mill. t in eigenen Hüttenkokereien produziert (WV Stahl 2006).

Der Hochofen hat die Aufgabe, unter Zuhilfenahme von Reduktionsmitteln aus Eisenerzen Roheisen zu erzeugen. Ein Hochofen arbeitet nach dem Gegenstromprinzip: Der Möller sinkt von oben nach unten und das im Unterofen durch Reaktion von Luftsauerstoff mit Kohlenstoff entstehende Reduktionsgas steigt von unten nach oben (Taube 1998: 64). Das Gichtgas (Hochofengas) wird am oberen Ende des Hochofens abgeführt und gereinigt. Es besteht zu 49 % aus Stickstoff und zu je 23 % aus Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO_2) und 5 % Wasserstoff. Nach einer Reinigung kann es als Brennstoff genutzt werden, beispielsweise im Verbund mit Hüttenkokereien zur Kokserzeugung. Der Kohlenstoffgehalt der Kuppelgase wird bereits mit den verwendeten Primärenergieträgern einbezogen, weswegen deren Verwendung zur Energieerzeugung im Monitoring nicht berücksichtigt wird.

Der Ofen wird von oben schichtweise mit Möller und Reduktionsmitteln befüllt. Die Schichten durchlaufen nun verschiedene thermische Zonen. Dabei nimmt die Temperatur zum Hochofenfuß hin zu. Im untersten Teil des Hochofens sammeln sich das flüssige Roheisen und die entstandene Schlacke. Roheisen und Schlacke werden periodisch aus dem Hochofen abgestochen und voneinander getrennt. Ein erheblicher Teil der Schlacke findet in aufbereiteter Form als Hüttensand Verwendung in der Zementindustrie und ersetzt dort den Zementklinker.

Um den Hochofenprozess in Gang zu halten, muss der Ofen dauerhaft mit *Heißwind* versorgt werden. Dazu wird Umgebungsluft verdichtet und in angebauten Winderhitzern per Brenner auf Temperatur gebracht. Als Brennstoff wird häufig gereinigtes Gichtgas benutzt, das mit Erd- und/oder Kokereigas angereichert wird (Taube 1998: 53). Am Fuße des Ofens wird der etwa 1 200°C heiße Wind eingeblasen. Durch die Reaktion von Luftsauerstoff und Kohlenstoff entstehen Temperaturen von 2 200° C.

Der im Koks enthaltene Kohlenstoff (C) vergast und bildet mit dem Sauerstoff (O_2) des Windes zunächst CO_2. Durch die in dieser *Schmelzzone* herrschende hohe Temperatur bildet sich entsprechend dem Boudouard-Gleichgewicht aus Kohlendioxid (CO_2) und dem im Koks verbliebenen Kohlenstoff Kohlenmonoxid (CO), das im Hochofenprozess als Reduktionsgas wirkt. Das Boudouard-Gleichgewicht ist ein temperaturabhängiges chemisches Gleichgewicht zwischen Kohlendioxid und Kohlenmonoxid. Bei Temperaturen oberhalb von 1 000°C verschiebt sich dieses Gleichgewicht nahezu vollständig zugunsten von Kohlenmonoxid. Der CO-Anteil beträgt in diesem Fall fast 100 %.

Das in der Schmelzzone entstehende Kohlenmonoxid steigt im Hochofen in die Reduktionszone auf. Dort wird das im Möller enthaltene Eisenoxid mit Hilfe des Kohlenmonoxids zu einem Eisen-Kohlenstoffgemisch reduziert. Kohlenmonoxid bindet bei einer Temperatur von ca. 900°C den in den Eisenerzträgern enthaltenen Sauerstoff (*indirekte Reduktion*). Eisenoxid (Fe_2O_3) wird zu zwei Teilen Eisen (2 Fe) und drei Teilen Kohlendioxid (3 CO_2) reduziert. Zudem reagiert das Eisen mit dem glühenden Kohlenstoff – es verkohlt. Durch diese Kohlenstoffaufnahme sinkt der Schmelzpunkt des Eisens auf etwa 1 300°C. Das Eisen-Kohlenstoffgemisch sackt im Hochofen nach unten, in die Schmelzzone. Die übrige Menge an Reduktionsgas (CO) steigt hingegen weiter auf in die kühleren Hochofenzonen.

Das erzeugte flüssige Roheisen enthält neben Silizium, Schwefel und Phosphor noch etwa 4,7 % Kohlenstoff. Roheisen ist deshalb spröde und nicht schmiedbar. Diese Bestandteile werden im *Sauerstoffaufblaskonverter* ausgelöst, das Roheisen damit zu Rohstahl veredelt. Dabei wird über eine Sauerstofflanze Sauerstoff auf das Roheisen aufgeblasen und der enthaltene

Kohlenstoff oxidiert. Bei diesem als „Frischen“ bezeichneten Vorgang wird Stahlschrott als Kühlmittel beigegeben.

Während des Frischens entsteht prozessbedingt Konvertergas, das zu ca. 90 % aus Kohlenmonoxid besteht (Taube 1998: 172). Konvertergas hat vergleichbare feuertechnische Eigenschaften wie Erdgas und kann dieses in Hochtemperaturprozessen ersetzen (Aichinger, Hoffmann, Seeger 1991: 47). 2004 wurden etwa 414 Mill. m^3 (i.N.) Konvertergas in der Stahlindustrie erzeugt (BGS 2004), von denen je rund die Hälfte selbst wieder verbraucht und an Dritte abgegeben wurde.

Bei der Herstellung von *Elektrostahl* wird Stahlschrott wiederverarbeitet. In einem Elektroofen wird mittels eines Lichtbogens der Schrott zu Rohstahl eingeschmolzen. Dabei entstehen im Lichtbogen Temperaturen von bis zu 3 500°C. Um den Schmelzvorgang zu beschleunigen, sind teilweise Zusatzbrenner in den Ofen montiert, die mit Öl oder Gas befeuert werden. Hauptenergieträger ist in dieser Verfahrensroute jedoch Strom.

Der über die Hochofenroute oder im Elektrolichtbogenofen erzeugte flüssige Rohstahl wird anschließend der *Sekundärmetallurgie* zugeführt. Durch Vakuumbehandlung wird der Gehalt an Kohlenstoff und weiterer Fremdstoffe reduziert und die Schmelze homogenisiert. Abschließend wird die Rohstahlschmelze vergossen. Heutzutage wird der flüssige Stahl in der Regel kontinuierlich im Stranggussverfahren als Brammen, Vorblöcke oder Knüppel vergossen. In Deutschland liegt heute der Anteil des im Stranggussverfahren erzeugten Stahls bei rund 97 % (WV Stahl 2006).

12.4 Die Selbstverpflichtung

Die Eisenschaffende Industrie hat im Mai 2001 eine erweiterte Selbstverpflichtungserklärung zur Klimavorsorge abgegeben (WV Stahl 2001, Ameling, Aichinger 2001). Demnach wird bis 2012 eine Reduktion des rohstoff- und energiebedingten spezifischen CO2-Ausstoßes um 22 % gegenüber 1990 zugesagt (Übersicht 12.1). Bezugsgröße ist die erzeugte Menge an Rohstahl.

Übersicht 12.1
Erweiterte Selbstverpflichtung der Stahlindustrie

Ziel bis 2012	Reduktion der auf die Rohstahlerzeugung bezogenen spezifischen CO_2-Emissionen um 22 % im Vergleich zu 1990, auf maximal 1 243 kg CO_2/t.
Basisjahr	1990

Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl, WV Stahl (2001).

1990 wurden bei einer Rohstahlerzeugung von 43,9 Mill. t insgesamt etwa 70 Mill. t CO_2 emittiert (Tabelle 12.2). Dies entspricht einem spezifischen Emissionswert von 1 594 kg CO_2/t Rohstahl. Die Stahlindustrie verpflichtet sich folglich mit ihrer erweiterten Selbstverpflichtung, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2012 auf maximal 1 243 kg CO_2/t zurückzuführen.

12.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Die Stahlindustrie hat die absoluten CO_2-Emissionen bis 2003 um 8,9 Mill. t gegenüber 1990, entsprechend um fast 13 %, senken können (Tabelle 12.2). 2004 ist die produzierte Rohstahlmenge im Vergleich zu 2003 um 3,6 % gesteigert worden. Der (emissionsrelevante) Nettoenergieverbrauch stieg um 3,5 %. Als Folge erhöhten sich auch die absoluten CO_2-Emissionen, jedoch weniger stark um 3,2 % auf 63,1 Mill. t und damit etwas weniger stark als der Nettoenergieverbrauch.

Tabelle 12.2
CO_2-Emissionen der Stahlindustrie
1990 bis 2004

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Rohstahl, Mill. t	38,4	42,0	46,4	44,8	45,0	44,8	46,4
Roheisen, Mill. t	30,1	30,0	30,9	29,2	29,4	29,5	30,0
Bruttoenergieverbrauch, PJ	902,9	811,2	852,9	825,3	816,6	811,0	835,2
Nettoenergieverbrauch, PJ	823,6	756,9	773,5	750,3	738,4	723,1	748,6
Emissionen, Mill. t	70,0	63,7	65,5	63,1	62,3	61,1	63,1

Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl im Rahmen des Monitoring , WV Stahl (2006, 2007).

Die spezifischen CO_2-Emissionen nahmen in der Vergangenheit stetig ab, auf 1 360 kg CO_2 je t Rohstahl im Jahr 2004 (Tabelle 12.3). Die Stahlindustrie hat ihre Minderungszusage für 2012 demnach zu fast 67 % erfüllt.

Tabelle 12.3
Spezifische CO_2-Emissionen der Stahlindustrie
1990 bis 2004

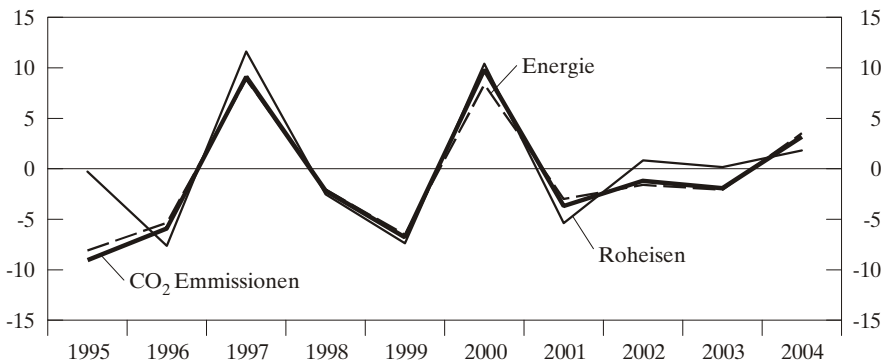
	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Emissionen, kg CO_2/t	1 594	1 515	1 412	1 408	1 385	1 365	1 360
Minderung, %	-	5,0	11,4	11,7	13,1	14,4	14,7
Zielerreichung, %	-	22,7	51,8	53,2	59,5	65,4	66,6

Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl im Rahmen des Monitoring.

Hauptverursacher der CO_2-Emissionen ist die kohlenstoffintensive Roheisenproduktion. Schaubild 12.3 zeigt jeweils zum Vorjahr die prozentuale

Veränderung des Nettoenergieverbrauchs, der CO_2-Emissionen und der Roheisenproduktion. Die Entwicklung dieser Größen verlief seit 1996 nahezu Hand in Hand. Lediglich seit 2002 fallen die Änderungsraten leicht auseinander: 2002 und 2003 wuchs die Roheisenproduktion geringfügig (Tabelle 12.2), wobei die CO_2-Emissionen und der Energieverbrauch in beiden Jahren jeweils leicht gesenkt werden konnte. 2004 zeigen alle drei Größen positive Wachstumsraten auf.

Schaubild 12.3
Veränderung der Roheisenerzeugung, des Nettoenergieverbrauchs und der CO_2-Emissionen
1995 bis 2004, in Prozent im Vergleich zum Vorjahr



Eigene Berechnungen.

12.6 Ursachenanalyse

Die generelle Beobachtung sinkender CO_2-Emissionen bei gleichzeitigem Anstieg der Rohstahlproduktion fußt auf zwei wesentlichen Ursachen. Einerseits ist die Divergenz zwischen Emissionen und Produktion durch die verstärkten Anstrengungen der Stahlindustrie zur Minderung der Kohlenstoffintensität der Hochofenroute verursacht. Hierfür stehen der Stahlindustrie eine Reihe von Wegen zur Verfügung. Als wesentliche Ansatzpunkte bei der Hochofenroute ist die Änderung der Reduktionsmittelzusammensetzung, die Nutzung von anfallenden Kuppelgasen sowie die effizientere Sinterung zu nennen.

Andererseits wird die Rohstahlproduktion zunehmend von der kohlenstoffreichen Hochofenroute auf die Erzeugung von Elektrostahl verlagert. Elektrostahl ist sowohl weniger kohlenstoff- als auch energieintensiv, weil kein Kohlenstoff in Form von Koks zur Reduktionsarbeit benötigt wird. Stattdessen wird Schmelzenergie in Form von Strom verwendet. Mit diesem Produktionsweg ist ein im Vergleich zur Hochofenroute geringerer CO_2-Ausstoß je t Rohstahl verbunden.

Die spezifischen CO_2-Emissionen können somit durch die verstärkte Elektrostahlerzeugung reduziert werden. Zwischen 1990 und 2004 hat sich die Elektrostahlerzeugung verdoppelt (Tabelle 12.4) und machte 2004 gut 30 % der deutschen Rohstahlerzeugung aus. Dabei wurden je t Elektrostahl durchschnittlich knapp 6 GJ Energie verbraucht und etwa 380 kg CO_2 emittiert. Für die Produktion von Elektrostahl wird zu mehr als 95 % Strom und Erdgas eingesetzt, in vergleichsweise geringen Mengen auch Steinkohle. Das Jahr 2004 zeigt im Vergleich zum Vorjahr einen deutlichen Anstieg der spezifischen Emissionen, verursacht durch eine Steigerung des Stromverbrauchs in den Elektrostahlwerken von 13 %. Seit 1990 konnten die spezifischen CO_2-Emissionen der Elektrostahlerzeugung jedoch um gut 3 % reduziert werden.

Tabelle 12.4
Elektrostahl: Produktion, Energieverbrauch und Emissionen
1990 bis 2004

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion, Mill. t	7,1	10,1	13,3	13,2	13,2	13,4	14,2
Spez. Energie, GJ/t	6,2	5,9	5,8	5,8	5,8	5,5	5,9
Spez. Emissionen, kg CO_2/t	394	378	367	377	372	355	381

Eigene Berechnungen nach Angaben von WV Stahl (2006). Strom ist primärenergetisch mit 10,434 GJ/MWh bewertet.

Die Oxygenstahlerzeugung blieb weitgehend konstant (Tabelle 12.5). Der Anteil des Oxygenstahls an der gesamten deutschen Rohstahlproduktion nahm indessen von knapp 82 % im Jahr 1990 auf gut 69 % im Jahr 2004 ab. Energieverbrauch und CO_2-Emissionen je t Oxygenstahl wurden zwischen 1990 und 2004 jeweils um rund 5 % reduziert. Dennoch weist der auf der Hochofenroute produzierte Stahl einen deutlich höheren Energieverbrauch je t als Elektrostahl auf; bedingt durch den für den Reduktionsprozess notwendigen Kohlenstoff sind auch die CO_2-Emissionen je t Oxygenstahl fast viermal höher.

Tabelle 12.5
Oxygenstahl: Produktion, Energieverbrauch und Emissionen
Produktionsstufen Hochofen und Oxygenstahlwerk.

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion, Mill. t	31,3	32,0	33,1	31,7	31,8	31,4	32,2
Spez. Energie (netto), GJ/t	15,3	14,9	14,6	14,5	14,7	15,0	14,6
Spez. Emissionen, kg CO_2/t	1 478	1 419	1 401	1 388	1 407	1 431	1 395

Eigene Berechnungen nach Angaben von WV Stahl (2006). Strom ist primärenergetisch mit 10,434 GJ/MWh bewertet, Kuppelgase nicht berücksichtigt.

In der zunehmenden Bedeutung des vergleichsweise emissionsarmen Elektrostahls ist die wichtigste Ursache der beobachteten CO_2-Minderungen zu sehen. Um dies zu verdeutlichen, kann man hypothetische Überlegungen anstellen, bei denen angenommen wird, dass es zu keiner Verschiebung der Produktionsanteile und zu keiner Verbesserung der spezifischen Emissionen gekommen ist. Wenn sich weder die Erzeugungsanteile noch die spezifischen Emissionswerte verändert hätten, hätten die CO_2-Emissionen im Jahr 2004 bei rund 59,2 Mill. t gelegen, also um 8,9 Mill. t über den tatsächlich emittierten 50,3 Mill. t CO_2 (Tabelle 12.6).

Tabelle 12.6
Beobachtete und kontrafaktische CO_2-Emissionen
in Mill. t

	1990	1995	2000	2003	2004
beobachtet	49,1	49,1	51,2	49,7	50,3
Erzeugungsanteile & spez. Emission von 1990	49,1	53,7	59,2	57,2	59,2
spez. Emissionen von1990	49,1	51,5	54,1	51,7	53,1

Eigene Berechnungen nach Angaben von WV Stahl (2006)

Etwa 2/3 dieser 8,9 Mill. t CO_2-Einsparung lassen sich auf die gegenüber 1990 veränderten Erzeugungsanteile zurückführen. Multipliziert man die tatsächlich produzierten Oxygen- und Elektrostahlmengen mit den unverändert auf dem Niveau von 1990 belassenen spezifischen Emissionswerten (Tabelle 12.6, letzte Zeile), so ergeben sich für 2004 hypothetische CO_2-Emissionen von gut 53 Mill. t. Somit sind allein 6 Mill. t CO_2-Minderung alleine auf die veränderten Erzeugungsanteile der beiden Produktionsverfahren zurückzuführen.

Tabelle 12.7
Reduktionsmittel in GJ je t Roheisen
1990 und 2004

	1990	2004	Änderung
Steinkohle	1,61	2,58	+60 %
Koks, trocken	11,46	9,86	-14 %
Heizöl, schwer	0,97	1,27	+30 %
Kokereigas	0,24	0,09	-64 %
Erdgas	0,25	0,46	+82 %
Strom	0,79	0,88	+12 %
Energie in GJ/t	15,31	15,13	-1 %
CO_2 in kg/t	1 503	1 460	-3 %

Eigene Berechnungen nach Angaben von WV Stahl (2006), Strom ist primärenergetisch mit 10,434 GJ/MWh bewertet, Kuppelgase nicht berücksichtigt.

Daneben ist eine Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen auf der Hochofenroute zu beobachten. Zwischen 1990 und 2004 sind die spezifischen CO_2-Emissionen in den Produktionsstufen Hochofen und Oxygenstahlwerk um 5,6 % auf 1 395 kg CO_2 je t Oxygenstahl gesunken (Tabelle 12.5). Ursächlich dafür ist einerseits die effizientere Verwendung von Energie, was sich in einer Minderung des spezifischen Energieverbrauchs äußert. Darüber hinaus konnte durch verfahrenstechnische Verbesserungen der Anteil des kohlenstoffreichen Koks am Reduktionsmittel im Hochofen um 14 % gesenkt werden (Tabelle 12.7). Die bis dato aus Koks gewonnene Energie wurde nun durch weit weniger kohlenstoffreiche Energieträger wie Steinkohle und Heizöl zugeführt. Auffällig ist auch die Verdrängung des Kokereigases durch Erdgas. Insgesamt ergab sich durch eine veränderte Reduktionsmittelzusammensetzung eine Minderung des Energieverbrauchs im Hochofen um 1 %, die spezifischen CO_2-Emissionen wurden dort um 3 % reduziert.

Der Hochofenroute vorgelagert ist häufig die Sinteraufbereitung, in der Koks und Koksgrus mit den Eisenerzen verbacken werden. 2004 wurden in Deutschland knapp 27,9 Mill. t Sinter produziert, dies entspricht einer Steigerung gegenüber 1990 von knapp 2 %. Dennoch wurde dabei der Energieverbrauch um gut 6 % gesenkt, der Energieverbrauch je t Sinter reduzierte sich sogar um gut 8 %, auf 1,76 GJ/t. Je t Sinter wurden 2004 noch rund 167 kg CO_2 emittiert, so dass sich die absoluten CO_2-Emissionen aus der Sintererzeugung auf etwa 4,7 Mill. t summieren; dies waren 7,4 % der CO_2-Emissionen der Stahlindustrie.

Bei der Oxygenstahlerzeugung entstehenden prozessbedingt Kuppelprodukte wie Hochofen- und Konvertergas sowie Hochofenschlacke, die von der Stahlindustrie im Rahmen eine energie- und stoffwirtschaftlichen Verbundsystems weiter genutzt werden. Hochofen- und Konvertergas werden als Erdgassubstitut genutzt, deren Verwendung eine bedeutende Möglichkeit zur (impliziten) CO_2-Minderung darstellt, da der jeweilige CO_2-Gehalt bereits bei der Verwendung der jeweiligen Primärenergieträger erfasst worden ist. Zudem werden an den Hochöfen häufig so genannte „Hochofengas-Entspannungsturbinen“ zur Eigenstromerzeugung betrieben. 2003 wurden von der Stahlindustrie insgesamt etwa 158 PJ Hochofen- und Konvertergas erzeugt, wovon 94,6 PJ selber verwendet und dadurch Erdgas ersetzt wurde. Zum Vergleich: der Erdgasverbrauch der Stahlindustrie lag 2003 mit 95,6 PJ auf etwa gleichem Niveau. Die durch die Gasentspannung erzeugte Eigenstrommenge belief sich 2003 auf gut 440 GWh. Bewertet man durch die jeweilige Erzeugung vermiedene Gas- und Strommenge mit den für das Monitoring vereinbarten CO_2-Emissionsfaktoren von 0,056 t CO_2/GJ Gas bzw. 0,670 t CO_2/MWh Strom, so ergibt daraus sich eine implizite CO_2-

Emissionsminderung von mehr als 5,6 Mill. t. Dies sind rund 9 % der tatsächlichen CO_2-Emissionen der Stahlindustrie.

Im Rahmen eines stoffwirtschaftlichen Verbunds findet aufbereitete Hochofenschlacke als so genannter Hüttensand in der Zementindustrie Verwendung und wird dort dem Zement beigemischt (siehe Kapitel 10.3 dieses Berichts). Damit verbunden ist eine vermiedene Produktion von gebranntem Zementklinker, in deren Folge sowohl der Energieaufwand als auch die CO_2-Emissionen in der Zementindustrie gemindert werden.

12.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Die im Berichtszeitraum von der Stahlindustrie durchgeführten Maßnahmen zur Emissionsverringerung werden im 6. CO_2-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie (WV Stahl 2007) dargestellt. Angesichts der Ausführlichkeit dieses Berichts können die geschilderten Maßnahmen hier nur auszugsweise wiedergegeben werden.

Der Bericht untergliedert die CO_2-Minderungsaktivitäten in vier Arbeitsbereiche der Stahlindustrie: CO_2-Minderungen durch die Nutzung von Kuppelprodukten beispielsweise im Energieverbund mit Hüttenkraftwerken, durch eine gesteigerte Ressourceneffizienz, umfangreichen Minderungsaktivitäten im Bereich der Roheisenerzeugung und in den Walzwerken und Schmiedestätten der Industrie.

Der Fortschrittsbericht nennt für den Ausbau der Energieverbundwirtschaft eine Reihe von Beispielen. Dazu gehören der Umbau und die Brennererneuerung in den Öfen des Walzwerks der ThyssenKrupp Steel AG in Duisburg-Beeckerwerth und die Einführung und Verbesserung von Energiemanagement-Systemen in Stahlwerken von ArcelorMittal in Bremen und Eisenhüttenstadt. Besonders hervorzuheben ist der Neubau eines Gaskraftwerks zur Verstromung von Kuppelgasen in Duisburg-Hamborn. Dieses Kraftwerk wurde im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung mit dem Betreiber RWE Power auf dem Gelände von ThyssenKrupp Steel errichtet. Es ersetzt mit einem erheblich höheren Wirkungsgrad drei veraltete Kraftwerksblöcke bestehender Anlagen und erzeugt aus der gleichen Gasmenge jährlich gut 403 GWh mehr Grundlaststrom als die Altanlagen. Unter Berücksichtigung des für das Monitoring vereinbaren CO2-Emissionsfaktors für Strom von 670 t CO2/GWh ergibt sich durch die Steigerung des Wirkungsgrads eine Emissionsminderung von rund 270 000 t CO2.

Ein bedeutendes Beispiel für gesteigerte Ressourceneffizienz und der damit verbundenen CO_2-Minderungen stellt die Neuentwicklung eines Schachtofens durch die Thyssen-Krupp Steel AG dar, welcher nach vierjähriger Entwicklungszeit und 25 Mill. € Investitionsaufwendungen 2004 seinen Be-

trieb aufnahm. Dieser neuartige Schachtofen recycelt die bei der üblichen Roheisenerzeugung anfallenden Reststoffe und erzeugt daraus gleichfalls Roheisen. Dazu werden die in den Sinteranlagen, Hochöfen und Oxygenstahlwerken vorkommenden Feinstäube, Schlämme und Schlacken in einer ersten Produktionsstufe mit mineralischen Bindemitteln zu so genannten Agglomeratssteinen gepresst. Diese werden in einem zweiten Schritt mit Koks und weiteren Zuschlägen dem Schachtofen zugeführt. Ähnlich einem Hochofen erfolgt im Schachtofen ein Reduktionsprozess, bei dem neben Roheisen auch Hochofengas entsteht, welches als Erdgassubstitut und zur Eigenstromerzeugung Verwendung findet.

Nach Angaben des Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl 2007) werden mit diesem Schachtofen jährlich rund 170 000 t Roheisen produziert. Unterstellt man, dass die dafür verwendeten Reststoffe bereits bei der üblichen Hochofenroute sowohl primärenergetisch als auch in Bezug auf die CO_2-Emissionen erfasst worden sind, so fallen lediglich für die verwendeten Zuschlagsstoffe CO_2-Emissionen an (die Mischung besteht aus etwa 30 % Zuschlagsstoffen). Darüber hinaus ersetzen die etwa 50 000 m^3 (i.N.)/h Gichtgas, deren Heizwert mit 4,3 MJ/m^3 (i.N.) beziffert wird, ein Energieäquivalent von Erdgas in Höhe von 215 GJ/h. Geht man davon aus, das die jährliche Nutzungsdauer des Schachtofen der eines Hochofens gleicht, ergibt sich daraus eine jährliche Energieersparnis von rund 1,88 PJ Erdgas, bzw. eine CO_2-Emissionsminderung von fast 106 000 t.

Im Bereich der Roheisenerzeugung waren die CO_2-Minderungsmaßnahmen insbesondere von umfangreichen Modernisierungen von Hochofenanlagen und Neubauten von Anlagen zur Aufbereitung der Hochofenschlacke geprägt. Im Berichtszeitraum erweiterte und modernisierte die ROGESA Roheisengesellschaft in Dillingen mit einem Aufwand von rund 60 Mill. € einen Hochofen. Mit dieser Erweiterung ist auch eine verstärkte Erzeugung von Gichtgas verbunden. Im Zuge der Hochofenerweiterung wurde in Dillingen eine neue Granulierungsanlage für Hochofenschlacke zur Produktion von Hüttensand in Betrieb genommen, deren Investitionsvolumen auf 20 Mill. € beziffert wird. Ein weiterer Neubau einer derartigen Anlage wurde 2003 von der Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH in Betrieb genommen.

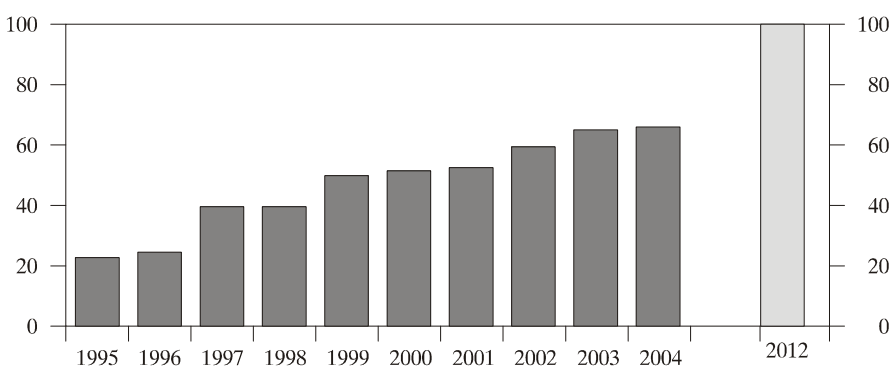
Umfangreiche Modernisierungen und Anlagenneubauten fanden auch in den Walz- und Schmiedestätten der Stahlindustrie statt. Der Fortschrittsbericht der WV Stahl (2007) nennt allein für diesen Tätigkeitsbereich 23 Ofenneubauten zur Walzguterwärmung und fünf Ofenmodernisierungen. Das Gros der Aktivitäten ist jedoch den Jahren 2005 und 2006 zuzurechnen und ist daher Bestandteil der kommenden Berichtsperiode. Für die Jahre 2003 und 2004 nennt der Bericht vier Neubauten und eine Modernisierung. Die

Ofenneubauten wurden häufig so konzipiert, dass eine Vorerwärmung der Verbrennungsluft durch die Abgase erfolgt. Im Ergebnis wurde die thermische Qualität der Öfen jeweils deutlich verbessert, so dass insgesamt weniger Energie zur Erwärmung des Walzguts aufgewendet werden muss.

12.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Eisenschaffende Industrie hat in ihrer erweiterten Selbstverpflichtung zur Klimavorsorge bis 2012 eine Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen um 22 % gegenüber 1990 zugesagt. Als Bezugsgröße wurde in dieser erweiterten Erklärung die Rohstahlerzeugung gewählt. Auf dem Weg zur Erfüllung ihrer Minderungszusage ist die Stahlindustrie bereits ein gutes Stück vorangekommen. Schaubild 12.4 zeigt einen kontinuierlichen Anstieg im Zielerreichungsgrad auf etwa 67 % für 2004. Im Vergleich zum Monitoringbericht 2000-2002 entspricht dies einer Steigerung der Zielerfüllung von 7 Prozentpunkten. Es fällt auf, dass bis 1995 nur ein geringer Teil der bisherigen Minderungen erzielt wurde. Folglich haben Wiedervereinigungseffekte in dieser Hinsicht eine geringere Rolle gespielt als in anderen Sektoren.

Schaubild 12.4
Zielerreichungsgrad der Stahlindustrie
1995 bis 2004



Eigene Berechnungen.

Eine weitere deutliche Reduktion der CO_2-Emissionen wäre sicherlich von einer weiteren Zunahme des Elektrostahlanteils zu erwarten. Einer solchen Vorgehensweise sind jedoch Grenzen gesetzt, denn Stahlrecycling setzt voraus, dass genügend Stahlschrott verfügbar ist. Mit abnehmendem Erzeugungsanteil des Oxygenstahls ist allerdings auch eine Einbuße an anfallenden Kuppelprodukten wie Hochofen-, Konvertergas und Hüttensand verbunden.

Diese Produkte werden teilweise von der Stahlindustrie, teilweise im Stoff- und Energieverbund mit anderen Wirtschaftszweigen verwendet. Vor diesem Hintergrund ist die enorme Bedeutung der Kuppelprodukte für die allgemeinen Elektrizitätswirtschaft und die Zementindustrie zu sehen. Ein geringerer Anfall von Kuppelgasen muss durch den Bezug von Erdgas ausgeglichen werden, eine verringerte Produktion von Hüttensand erfordert zusätzlich Zementklinker für die Zementerzeugung. Die durch die Nutzung der Kuppelprodukte implizite CO_2-Einsparung ist dabei nicht in den Zielerreichungsgraden der Stahlindustrie berücksichtigt. Ihr Beitrag für den Klimaschutz ist daher größer, als dies oberflächlich betrachtet in Schaubild 12.4 den Anschein hat.

13. Die Nichteisen-Metallindustrie

Zu den Nichteisen-Metallen – im Folgenden kurz NE-Metalle genannt – zählen die Buntmetalle Kupfer, Zink, Blei und Nickel, die Leichtmetalle Aluminium und Magnesium, die Edelmetalle Gold, Silber und Platin sowie weitere Metalle. Neben der Gewinnung dieser Metalle in Hüttenwerken werden in diesem Industriezweig auch erste Bearbeitungen der NE-Metalle bzw. deren Legierungen in Halbzeugwerken und Gießereien vorgenommen. Die Herstellung von Aluminium hat die volumenmäßig größte Bedeutung (WVM 2004a).

Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Branche innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes ergibt sich aus der starken Verflechtung mit anderen industriellen Bereichen: Zur Herstellung von Investitions- und Konsumgütern liefert die NE-Metallindustrie an andere Branchen Vorprodukte in Form von Metallen und Legierungen. Wichtigste Abnehmer für die Produktion der NE-Metallindustrie sind das Baugewerbe, die Kraftfahrzeug-, Luft- und Raumfahrzeugindustrie, die Elektrotechnik sowie der Maschinenbau (WVM 2003a, 2005a).

Die wirtschaftliche Situation der Branche wird außer von der konjunkturellen Lage im In- und Ausland sowie den erzielbaren Preisen für NE-Metall-Erzeugnisse stark von der Verfügbarkeit der Rohstoffe determiniert. Geopolitische Spannungen können sowohl die Rohstoffversorgung als auch die internationalen Absatzmärkte beeinflussen (WVM 2003a: 10-13). Für die Rentabilität der NE-Metallerzeugung spielt der Markt für Sekundär-Rohstoffe ebenfalls eine große Rolle. Darüber hinaus ist auch die Strompreisentwicklung für diese energieintensive Branche von außerordentlich hoher Bedeutung.

13.1 Datenbasis

Die Produkte der NE-Metallindustrie werden in der Systematik der Wirtschaftszweige unter der Position 27.4, „Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen“, geführt. Die Angaben zur produzierten Menge wurden von der Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM) auf der Grundlage der Fachserie 4, Reihe 3.1, des Statistischen Bundesamtes zusammengestellt.

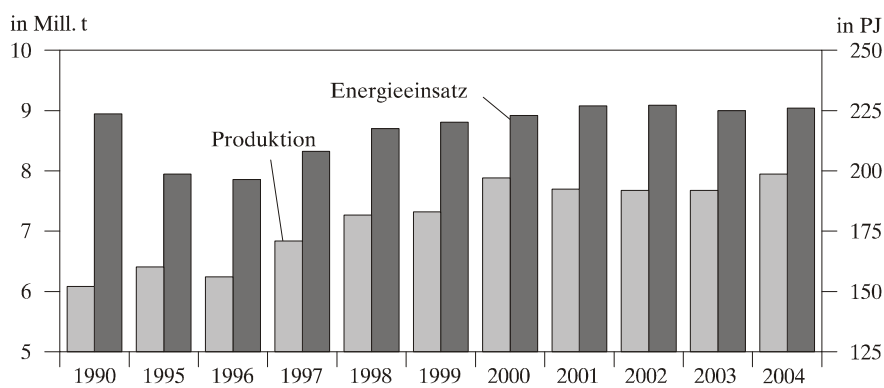
Als Grundlage für die Angaben zum Energieeinsatz diente bis 2002 die Fachserie 4, Reihe 4.1.1. Das Statistische Bundesamt hat die Energieverwendungsstatistik jedoch grundlegend überarbeitet. Methodische und konzeptionelle Änderungen bei der Erhebung haben ab dem Berichtsjahr 2003 zu teilweise erheblichen Brüchen in den Datenreihen geführt. Die WVM ist

daher dazu übergegangen, die amtlichen Energieverwendungsdaten ab 2003 durch eigene Erhebungen bei großen Herstellern zu validieren und gegebenenfalls zu ergänzen.

Ein weiterer Grund für die Verwendung der WVM-eigenen Daten liegt darin, dass es bei den Energiedaten der amtlichen Statistik zu einer systematischen Untererfassung kommt, da der Energiebedarf für die Bunt- und Leichtmetallgießereien nicht in Gütergruppe 27.4, sondern in der Gießereiindustrie (27.5) ausgewiesen wird. Die Zusammenfassung des Energieverbrauchs der Bunt- und Leichtmetallgießereien (27.53 und 27.54) mit dem des Wirtschaftszweigs 27.4 kann diese Differenz weitgehend beseitigen (Buttermann, Hillebrand 2002: 123-124).

Fehlende amtliche Daten für das Basisjahr 1990 wurden durch Angaben der in der WVM organisierten Unternehmen ergänzt. Die in der NE-Metallindustrie getroffenen Maßnahmen zur Verringerung des Energiebedarfs und der CO_2-Emissionen werden im Fortschrittsbericht des Verbandes beschrieben (WVM 2007).

Schaubild 13.1
Produktion und Energieverbrauch der NE-Metallindustrie
1990 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1. und der Wirtschaftsvereinigung Metalle im Rahmen des Monitoring.

13.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

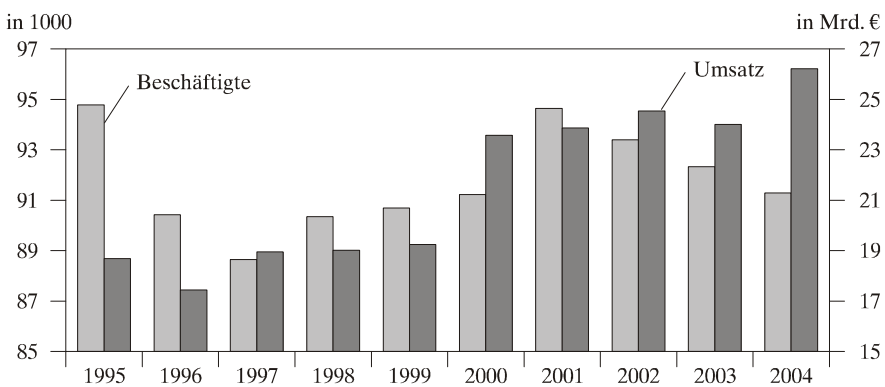
Die produzierte Menge an NE-Metallen wuchs zwischen 1990 und 2004 von 6,1 Mill. t auf 7,9 Mill. t (Schaubild 13.1). Im Durchschnitt entspricht dies einem jährlichen Wachstum von 2,6 %. Der Energieverbrauch lag 1990 bei mehr als 224 PJ, sank aber bis Mitte der 1990er Jahre um mehr als 12 % auf 197 PJ. Bis 2001 stieg der Verbrauch erneut auf ein Niveau von knapp

228 PJ, das bis 2004 annähernd gleich blieb. Bezogen auf den Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe erreichte die NE-Metallindustrie 2004 einen Anteil von 7,6 %. Die Energieintensität, gemessen als Verhältnis aus Energieverbrauch und Wert der zum Absatz bestimmten Produktion, betrug im gleichen Jahr 10,1 MJ/€ Produktionswert. Bezogen auf die Bruttowertschöpfung lag sie 2004 bei 35,3 MJ/€. In beiden Fällen lag die Energieintensität damit im Vergleich zu den anderen energieintensiven Industriezweigen im Monitoring auf einem mittleren Rang.

Im Jahr 2004 zählte die NE-Metallindustrie 487 Betriebe mit rund 91 220 Beschäftigten und einem Umsatz von insgesamt 26,1 Mrd. € (Schaubild 13.2). Dies entsprach etwa 1,5 % der Beschäftigten des Verarbeitenden Gewerbes und 1,8 % des Umsatzes.

Der Umsatz der NE-Metallindustrie stieg zwischen 1995 und 2004 um durchschnittlich 3,8 % pro Jahr. Die Zahl der Beschäftigten nahm im gleichen Zeitraum um jahresdurchschnittlich 0,4 % ab, unterlag aber deutlich größeren Schwankungen als der Umsatz. Von 1995 bis 1997 sank die Beschäftigung um 6,5 % auf rund 88 600. Danach stieg sie bis 2001 wieder auf knapp 94 600 Arbeitnehmer. Dabei war insbesondere 2001 ein Zuwachs von fast 4 % zu verzeichnen. Bis 2004 ging die Zahl der Beschäftigten erneut um 3,5 % zurück.

Schaubild 13.2
Beschäftigte und Umsatz der NE-Metallindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

13.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Nach Angaben des WVM (2005b) umfasst die Herstellung von NE-Metallen eine große Anzahl verschiedener Verfahren, die sowohl pyrometallurgi-

scher als auch hydrometallurgischer Art sind, also sowohl Schmelzprozesse wie auch Elektrolysen, Laugungs- und Fällprozesse beinhalten.

Ausgangsstoffe für die Metallerzeugung bilden Erze und Erz-Konzentrate wie auch Sekundär-Rohstoffe, die durch Recycling gewonnen werden oder dem Metallschrott anderer Produktionszweige entstammen. Je nach Verarbeitungsprozess müssen diese Rohstoffe gegebenenfalls einer Vorbehandlung unterzogen werden.

Nach der Rohmetallerzeugung sind in der Regel weitere Raffinationsschritte erforderlich, um die in den erzeugten Metallen noch immer enthaltenen Begleitelemente abzutrennen. Auch hier kommen wieder verschiedene chemische, elektrolytische und pyrometallurgische Verfahren zur Anwendung. Typischerweise werden so die Edelmetalle Silber, Gold und Platin aufbereitet sowie eine ganze Reihe der in der modernen Nachrichtentechnik benötigten Materialien wie Indium, Germanium, Arsen und Palladium.

Alle diese Verfahren sind in hohem Maße energieintensiv, wobei vor allem Strom und Erdgas eingesetzt wird: Pyrometallurgische Schmelzprozesse finden meist im Hochtemperaturbereich über 1 000° C statt. Auch Raffinations- oder Reduktionselektrolysen haben einen hohen Energiebedarf. So liegt der Stromverbrauch für die Herstellung von Primäraluminium bei etwa 13,5 MWh/t (WVM 2004a). Der für diese Prozesse notwendige hohe Energieaufwand begründet die intensiven Bemühungen der NE-Metallindustrie, durch verbesserte Verfahren und optimierte Abläufe Energie zu sparen. Mittlerweile ist nach Angaben des WVM im Hüttenbereich die technisch mögliche Untergrenze für den Energieeinsatz nahezu erreicht.

Die meisten Metalle lassen sich durch Recycling zurückgewinnen. Die heute in Deutschland erreichten Anteile der Metall-Produktion aus sekundären Materialien liegen bei Blei mit rund 70 % am höchsten, bei anderen wichtigen Metallen wie Kupfer oder Aluminium überschreiten die Recyclingquoten die Marke von 50 %. Die Metallerzeugung aus sekundären Materialien verbraucht im Vergleich zur Primärproduktion deutlich weniger Energie. Bei der Herstellung von Sekundär-Aluminium sind beispielsweise nur rund 10 % der Energie notwendig, die zur Primärherstellung von Hüttenaluminium aufgewendet werden muss. Das Recycling von Metallen ist somit auch ein wichtiger Beitrag zur Vermeidung klimaschädlicher Gase (WVM 2005b).

13.4 Die Selbstverpflichtungserklärung

Stellvertretend für die NE-Metallindustrie hat die Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V. (WVM) im März 1996 eine Selbstverpflichtungserklärung zur Klimavorsorge bis 2005 abgegeben. Diese Selbstverpflichtung wurde im

Dezember 2006 aktualisiert. In ihr wird ein erweitertes Klimaschutzziel angestrebt, das vorsieht, den „spezifischen Energieverbrauch für den Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 um 24 Prozent gegenüber den Werten von 1990 zu senken“ (WVM 2006b). Die Erklärung von 1996 wird durch die neue Selbstverpflichtung nicht außer Kraft gesetzt, welche daher erst ab dem Berichtsjahr 2006 zugrunde zu legen ist. Das Monitoring für 2003 und 2004 basiert damit nach wie vor auf der Selbstverpflichtungserklärung von 1996 mit dem Zieljahr 2005.

Nach der Selbstverpflichtungserklärung vom März 1996 wird bis 2005 eine Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs um 22 % gegenüber 1990 angestrebt (Übersicht 13.1). Dies entspricht einem Zielwert von 28,5 GJ/t. Ein Reduktionsziel für den spezifischen CO_2-Ausstoß wird nicht genannt.

Übersicht 13.1
Selbstverpflichtung der NE-Metallindustrie

Ziel	Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs bis 2005 um 22 % auf 28,5 GJ/t.
Basisjahr	1990

Angaben aus WVM (1996: 3).

13.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Die NE-Metallindustrie ist auf ihrem Weg zur Erreichung des Reduktionsziels bereits weit fort geschritten. Bis 2000 gelang es, den spezifischen Energieeinsatz auf 28,4 GJ/t zu verringern (Tabelle 13.1). Dies entspricht einem Zielerreichungsgrad von 101,2 %. Dieser niedrige spezifische Verbrauch konnte allerdings nicht beibehalten werden: 2001 und 2002 lag er bei 29,6 GJ/t. Bis 2004 konnte er jedoch wieder auf 28,6 GJ/t gesenkt werden, was einer Minderung von fast 22 % gegenüber 1990 entspricht.

Tabelle 13.1
Spezifischer Energieeinsatz der NE-Metallindustrie
1990 bis 2004; Ziel: Minderung des spez. Energieeinsatzes bis 2005 um 22 % gegenüber 1990

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Energieeinsatz, GJ /t	36,6	31,1	30,1	28,4	29,6	29,6	29,5	28,6
Minderung in %	-	15,0	17,7	22,3	19,0	19,0	19,4	21,7
Zielerreichungsgrad in %	-	68,3	80,6	101,2	86,4	86,4	88,3	98,6

Nach Angaben des Statistisches Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und der Wirtschaftsvereinigung Metalle.

Auch die spezifischen CO_2-Emissionen konnten seit 1990 deutlich verringert werden. Bis 2000 sanken sie auf 1 816 kg CO_2/t (Tabelle 13.2). Nachdem die spezifischen Emissionen bis 2002 leicht stiegen, fielen sie bis 2004 mit

1 814 kg CO_2/t auf den niedrigsten Wert seit 1990. Demgegenüber blieb die Gesamtemissionsmenge auch 2003 und 2004 etwa auf dem Niveau des Basisjahres.

Tabelle 13.2
CO_2-Emissionen der NE-Metallindustrie
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Emissionen, Mill. t	14,6	12,9	14,1	14,3	14,6	14,5	14,3	14,4
Spez. Emissionen, kg CO_2/t	2 378	2 005	1 924	1 816	1 893	1 892	1 868	1 814
Reduktion in %	-	15,7	19,1	23,6	20,4	20,4	21,5	23,7

Nach Angaben des Statistisches Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und der Wirtschaftsvereinigung Metalle.

13.6 Ursachenanalyse

Eine wesentliche Ursache für die bereits realisierten Erfolge bei der Umsetzung des Reduktionsziels ist die vermehrte Verwendung von Sekundärrohstoffen durch Recycling. Laut WVM haben sich die Produktionsanteile von Primär- und Sekundärmetallen deutlich verschoben: 1990 wurde noch mehr als die Hälfte der Erzeugung aus Primärmetallen gewonnen, bis 2000 hat sich dieses Verhältnis umgekehrt (WVM 2005b: 86). So stieg der Anteil von Sekundäraluminium an der Gesamtproduktion zwischen 1990 und 2004 von 43 auf 51 % und betrug 2004 fast 704 000 t (WVM 2001: 1, 2006a: 1). Allerdings lässt sich die Auswirkung dieses Trends auf den spezifischen Energieverbrauch nicht exakt quantifizieren. Detaillierte Informationen zum spezifischen Energieverbrauch für die Produktion aus Primär- bzw. Sekundärrohstoffen liegen nicht vor.

Die spezifischen CO_2-Emissionen gingen von 1990 bis 2004 um 23,7 % auf 1 814 kg CO_2/t zurück (Tabelle 13.2). Die spezifischen Emissionen sanken durchweg stärker als der spezifische Energieverbrauch. Dies erklärt sich aus der – wenn auch nur geringen – Energieträgersubstitution. 1990 wurden 10,3 % der Energie aus Erdgas gewonnen (Tabelle 13.3). Dieser Anteil stieg bis 2004 auf 14,9 %. Damit ist der Energieträgerwechsel zum Erdgas nach Angaben des WVM weitgehend abgeschlossen. Gleichzeitig nahm die Bedeutung kohlenstoffreicher Brennstoffe wie Steinkohlenbriketts und Steinkohlenkoks ab. Der Anteil des stark dominierenden Stroms blieb praktisch konstant.

Dividiert man die CO_2-Emissionen durch den Energieverbrauch, so ergeben sich durchschnittliche Emissionen je Energieeinheit, gemessen in kg CO_2/GJ. Der moderate Wandel im Energiemix hin zu kohlenstoffarmen Energieträgern spiegelt sich in dieser Größe wieder (Tabelle 13.4). Wäh-

rend 1990 noch 65,1 kg CO_2/GJ emittiert wurden, reduzierte sich dies bis 2004 auf 63,4 kg CO_2/GJ. Damit geht nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen auf den Wandel im Energiemix zurück.

Tabelle 13.3
Energiemix der NE-Metallindustrie
1990 bis 2004; in PJ; gerundet

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohlen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6
Steinkohlenbriketts	3,0	1,3	0,6	0,4	0,6	0,6	0,0	0,0
Steinkohlenkoks	6,1	4,9	3,8	3,6	3,9	3,7	0,7	0,6
Braunkohlenstaub	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
Schweres Heizöl	2,0	1,3	1,1	1,3	1,4	1,5	1,1	1,2
Leichtes Heizöl	4,5	3,7	3,4	3,2	2,8	2,4	2,3	2,3
Erdgas	23,1	26,1	33,1	33,4	34,4	34,3	34,8	33,8
Flüssiggas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3
Kokereigas	1,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Sonst. Regelbrennstoffe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Primärbrennstoffe	40,0	37,5	42,1	42,0	43,2	42,6	40,7	38,9
Nettofremdstrombezug	184,1	162,3	178,7	181,7	184,5	184,6	185,0	188,2
Energieverbrauch	224,1	199,8	220,8	223,7	227,7	227,2	225,7	227,1

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und der Wirtschaftsvereinigung Metalle.

Der weitaus größere Teil kam durch die Steigerung der Energieeffizienz zustande. Der spezifische Energieeinsatz als Maß für die Energieeffizienz sank seit 1990 um 21,7 % auf 28,6 GJ/t im Jahr 2004 (Tabelle 13.1). Neben dem verstärkten Einsatz von Sekundärmetallen haben auch verschiedene technische Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz beigetragen, auf die im folgenden Abschnitt eingegangen wird.

Tabelle 13.4
CO_2-Emissionen je Energieeinheit der NE-Metallindustrie
1990 bis 2004; in kg CO_2/GJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Emissionen je Energieeinheit	65,1	64,6	64,0	63,9	63,9	63,9	63,4	63,4

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und der Wirtschaftsvereinigung Metalle.

13.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Die WVM betont in ihrem Fortschrittsbericht für die Jahre 2003 und 2004, dass gerade in konjunkturell schwierigen Zeiten ein hohes Maß an Energieeffizienz Voraussetzung ist, um den Anforderungen des internationalen Wettbewerbs zu genügen. Problematisch waren im Berichtszeitraum die starken Preissteigerungen für Strom und Erdgas, durch die finanzielle Einsparungserfolge überkompensiert wurden. Mittlerweile haben die Energiepreise ein Niveau erreicht, bei dem die laufenden Energiekosten zunehmend Investitionsmittel zur Steigerung der Energieeffizienz – insbesondere für Erweiterungsinvestitionen in neue und effizientere Technik – entziehen (WVM 2007: 1).

Die im Fortschrittsbericht geschilderten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz konzentrieren sich auf die Bereiche Elektrolyse, Abwärmenutzung sowie allgemeine technische Maßnahmen (Querschnittstechnologien). Der größte Teil des Energieverbrauchs in der NE-Metallindustrie entfällt auf die Elektrolyse. Die WVM weist jedoch darauf hin, dass hier die technischen Potentiale weitgehend ausgeschöpft sind. Im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses sind zukünftig nur noch kleine Fortschritte zu erwarten. Auf die Wärmebehandlung entfällt etwa ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs. Größere Effizienzpotenziale bestehen hier insbesondere bei der verbesserten Nutzung von Abwärme. Für Querschnittstechnologien, zu denen die Bereiche Druckluft, elektrische Antriebe sowie Heizung, Kühlung und Beleuchtung zählen, werden etwa 10 % der eingesetzten Energie aufgewandt. Auch hier werden von den Unternehmen Einsparungen erzielt (WVM 2007: 1).

Die vier Maßnahmen, die von der WVM explizit in ihrem Fortschrittsbericht geschildert werden, sind in Tabelle 13.5 dargestellt. In einem Fall begann die Umsetzung der Maßnahme erst im Jahr 2004. Die Effizienzgewinne aus dieser Maßnahme konnten daher erst in späteren Jahren realisiert werden. Die Umrechnung der Energieeinsparungen erfolgte mit Hilfe der für das Monitoring vereinbarten Faktoren aus dem Jahr 1990. Strom wurde mit dem Faktor 10,434 GJ/MWh in TJ sowie dem CO_2-Faktor 0,67 t CO_2/MWh umgerechnet. Der Umrechnungsfaktor für Erdgas beträgt 0,18 t CO_2/MWh und setzt sich aus dem Produkt der beiden Faktoren 3,249 GJ/MWh und 0,056 t CO_2/GJ zusammen.

Unterstellt, die Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in der NE-Metallindustrie waren jeweils zu Beginn eines Jahres wirksam, führten die drei Maßnahmen, die 2003 und 2004 umgesetzt wurden, zu einer jährlichen Energieeinsparung von insgesamt 1 452 TJ, der überwiegende Teil davon durch einen reduzierten Stromverbrauch. Die CO_2-Emissionen verringerten sich um 93 188 t pro Jahr.

Bezogen auf den Energieverbrauch im Jahre 2002 von 227 PJ konnte der Energieverbrauch im Berichtszeitraum um 2,9 PJ oder 1,3 % gesenkt werden, der spezifische Verbrauch minderte sich ebenfalls um 1,3 %. Durch die drei für die Jahre 2003 und 2004 relevanten Maßnahmen wurden insgesamt 186 376 t CO_2 weniger emittiert. Dies entspricht im Vergleich zu 2002 einem Rückgang von 1,3 %. Die spezifischen Emissionen konnten hierdurch in gleichem Umfang verringert werden.

Tabelle 13.5
Ausgewählte CO_2-Minderungsmaßnahmen der NE-Metallindustrie
2003 bis 2004

Maßnahme	Zeitraum	Reduktion	Jährliche CO_2-Minderung
Aluminiumerzeugung: Verbesserte Steuerung einer Schmelzflusselektrolyse	2003 bis 2004	130 Mill. kWh Strom (= 1 356 TJ)	87 100 t
Aluminiumbearbeitung: Installation zusätzlicher Messtechnik, Optimierung des Druckluftmanagements sowie Beseitigung von Leckagen bei der Erzeugung und Verwendung von Druckluft	Ab 2003	8 Mill. kWh Strom (= 83 TJ)	5 360 t
Kupfererzeugung: Verbundsystem aus einer Dampfturbine und einem Abwärmekessel für das Dampfsystem der Produktion	2004 bis 2006	14 Mill. kWh Strom (= 146 TJ) 13 Mill. kWh Erdgas (= 45 TJ)	11 745 t
Kupferbearbeitung: Errichtung neuer Bolzenöfen im Presswerk in Verbindung mit einer Abwärmenutzung	Ab 2003	4 Mill. kWh Erdgas (= 13 TJ)	728 t

Nach Angaben der WVM (2007).

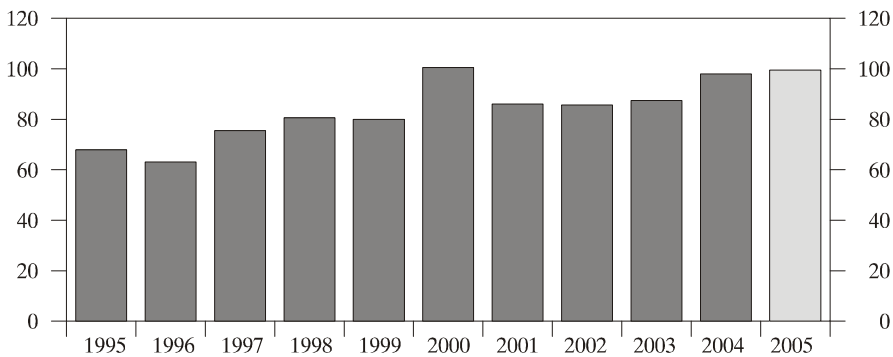
13.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die NE-Metallindustrie hat ihr für 2005 formuliertes Ziel, den spezifischen Energieverbrauch um 22 % gegenüber 1990 zu reduzieren, im Jahr 2000 erstmals erreicht (Schaubild 13.3). Neben der konsequenten Realisierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ist dies sowohl auf das verstärkte Recycling als auch auf marktbedingte Veränderungen im Produktmix der NE-Metallindustrie zurückzuführen.

Der Einfluss des Recyclings und des Produktmix auf den spezifischen Energieverbrauch wird im Zeitablauf deutlich: Während die Erzeugung von NE-Metallen zwischen 1990 und 2000 um 28,3 % auf 7,9 Mill. t stieg (Tabelle 13.6), blieb der Energieverbrauch nahezu unverändert (Tabelle 13.3). Das gesetzte Minderungsziel wurde 2000 unter anderem deshalb frühzeitig erreicht, weil der Anteil der besonders energieintensiven Erzeugung von Pri-

märmetallen bis 2000 auf 36 % zurückging und der Anteil der weniger energieintensiven Produktion von Halbzeug und Guss entsprechend wuchs. Gleichzeitig nahm die Erzeugung von Sekundärmetallen zwischen 1990 und 2000 um 17,2 % zu, wodurch die Wirkung des veränderten Produktmix noch verstärkt wurde.

Schaubild 13.3
Zielerreichungsgrade der NE-Metallindustrie
1995 bis 2004



Eigene Berechnungen.

Trotz fortgesetzter Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz ging der Zielerreichungsgrad 2001 und 2002 zurück (Schaubild 13.3). Während der Energieverbrauch in der NE-Metallindustrie um 1,5 % wuchs, nahm die Produktionsmenge um 1,6 % ab. Ausschlaggebend dafür war, dass der Anteil der energieintensiven Primärmetallerzeugung auf 37,7 % stieg (Tabelle 13.6). Das Wachstum der Metallerzeugung aus sekundären Materialien um 6,4 % hat den Anstieg des spezifischen Energieverbrauchs etwas abgemildert.

Tabelle 13.6
Produktmix der NE-Metallindustrie
1990 bis 2004; in 1 000 t

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Metalle	2 662	2 362	2 716	2 834	2 857	2 919	2 738	2 818
Halbzeug	2 816	3 312	3 845	4 202	3 994	3 985	4 049	4 216
Guss	660	643	777	842	842	846	865	896
Insgesamt	6 138	6 317	7 338	7 878	7 693	7 750	7 652	7 930
Primärmetalle	1 393	1 255	1 380	1 401	1 394	1 405	1 341	1 325
Sekundärmetalle	1 154	1 108	1 260	1 353	1 390	1 439	1 397	1 493

Nach Angaben der WVM (2001, 2003b, 2004b, 2005b, 2006a).

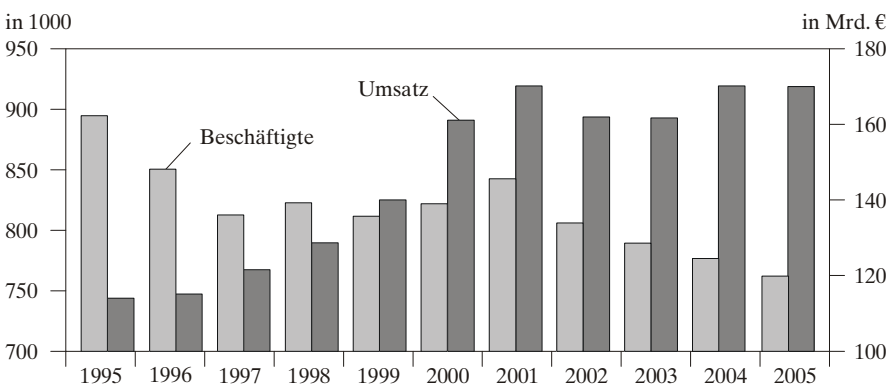
Schaubild 13.3 zeigt, dass die NE-Metallindustrie ihrem Minderungsziel 2004 wieder sehr nahe kam. Bei einem Produktionswachstum von 3,5 % stieg der Energieverbrauch 2003 und 2004 insgesamt nur um 0,6 %. Hierzu haben sowohl Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz beigetragen als auch die weitere Zunahme der Erzeugung von Sekundärmetallen bei gleichzeitigem Rückgang des Anteils der energieintensiven Metallerzeugung.

Für die Erfüllung der Minderungszusage bis 2005 sind offenbar neben dem Produktmix – also den Anteilen der Metalle, des Halbzeugs und von Guss – die Höhe der Erzeugung von Sekundärmetallen die entscheidenden Parameter. Die Höhe der einzelnen Produktionssegmente wird letztlich aber sowohl durch die wirtschaftliche Situation in den Abnehmerindustrien als auch die Rohstoffmärkte beeinflusst. Die NE-Metallindustrie hat 2000 indessen bewiesen, dass die Erfüllung des gesetzten Ziels selbst bei einem hohen Anteil der Metallerzeugung an der Produktion möglich ist.

14. Die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

Dieser im Folgenden kurz mit Elektroindustrie bezeichnete Industriezweig konnte sich nach Angaben des Statistischen Bundesamtes mit 4,1 % eines höheren durchschnittlichen Umsatzwachstums zwischen 1995 und 2005 erfreuen als das gesamte Verarbeitende Gewerbe (StaBuA/FS4/R4.1.1). Dessen Umsatz stieg im selben Zeitraum lediglich um durchschnittlich 3,6 % pro Jahr. Ein wesentlicher Träger dieses überdurchschnittlichen Wachstums war die Sparte der Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik, die zwischen 1995 und 2005 eine durchschnittliche Wachstumsrate von 9,5 % aufwies. Ebenfalls vergleichsweise hohe Wachstumsraten verzeichnete mit 8 bzw. 6,6 % die Herstellung von industriellen Prozesssteuerungsanlagen und Elektromotoren. Auch die Produktion medizinischer Geräte und orthopädischer Vorrichtungen sowie von Mess- und Kontrollgeräten trug mit durchschnittlichen jährlichen Anstiegen von 14 bzw. 11,4 % noch erheblich zum Wachstum dieser Branche bei. Hingegen stagnierte die Entwicklung bei den Haushaltsgeräten. Die Herstellung von DV-Geräten musste sogar jährliche Verluste von durchschnittlich 2,4 % pro Jahr hinnehmen, ebenso die Sparte der Produkte zur Elektrizitätsverteilung wie z.B. Kabel mit -1 %.

Schaubild 14.1
Beschäftigte und Umsatz in der Elektroindustrie
1995 bis 2005



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Einen Höhepunkt des Wachstums dieses Sektors markierte das Jahr 2001, in welchem ein Umsatz von rund 170 Mrd. € erzielt wurde (Schaubild 14.1). Danach sank der Umsatz bis 2003 auf ein Niveau von etwa 162 Mrd. € zurück, um 2004 und 2005 erneut wieder auf 170 Mrd. € anzusteigen. Die wirtschaftliche Situation der Elektroindustrie folgte damit offenbar mit einer

einjährigen Verzögerung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, die nach einem wachstumsstarken Jahr 2000 von einer dreijährigen Phase der Stagnation gekennzeichnet war.

Trotz der bis 2001 währenden Phase des Wachstums dieser Branche und des ab 2004 erneut einsetzenden Aufschwungs nahm die Zahl der Beschäftigten kontinuierlich ab. Die Beschäftigung lag 2005 bei rund 762 000 (Schaubild 14.1). Insgesamt ist zwischen 1995 und 2005 ein jahresdurchschnittlicher Rückgang von 1,6 % zu verzeichnen. Die Zahl der Arbeitskräfte sank damit in der Elektroindustrie deutlich stärker als im gesamten Verarbeitenden Gewerbe, wo im selben Zeitraum ein durchschnittlicher Rückgang von 1,2 % erfolgte.

Die Elektroindustrie zählt mit einem Anteil von knapp 11,5 % am Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes neben dem Fahrzeug- und Maschinenbau zu den bedeutendsten Wirtschaftszweigen. Der entsprechende Anteil am Energieverbrauch beträgt hingegen nur gut 3 %. Die Elektroindustrie kann somit als energieextensive Branche bezeichnet werden.

14.1 Datenbasis

Die wesentliche Datengrundlage für die im Rahmen des vorliegenden Monitoringberichts erfolgende Berechnung der CO_2-Emissionen bildet im Falle der Elektroindustrie die Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes. Daraus sind die notwendigen detaillierten Informationen über den Energieverbrauch dieses Sektors für die Zeit ab 1995 zu entnehmen. Die hier benutzte Bezeichnung „Elektroindustrie“ umfasst Unternehmen aus mehreren Wirtschaftszweigen, die nach der Systematik der Wirtschaftszweige von 1993 in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes unter den folgenden Nummern aufgeführt werden: 29.71, 30.02, 31.1, 31.2, 31.3, 31.4, 31.5, 31.6, 32, 33.1, 33.2 und 33.3.

Teile der Bereiche 33.1 und 33.2 sind der Branche Feinmechanik und Optik zuzurechnen. Deren Energieverbrauch wurde vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), welcher die Elektroindustrie vertritt, herausgerechnet. Für das Basisjahr 1990 wurden die Energiedaten für die Unternehmen Ostdeutschlands dem Statistischen Jahrbuch entnommen, da die Fachserie 4 für dieses Jahr nur Angaben zu den Unternehmen der alten Bundesländer macht.

Die ab 2003 durchgeführte neue Erhebung des Statistischen Bundesamtes über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes weist die Verbrauchsdaten nicht mehr für alle Produktgruppen in der erforderlichen Gliederungstiefe aus: So wurde sowohl bzgl. des Energieverbrauchs bei der Herstellung von Haushaltsgeräten (WZ 29.7) als auch

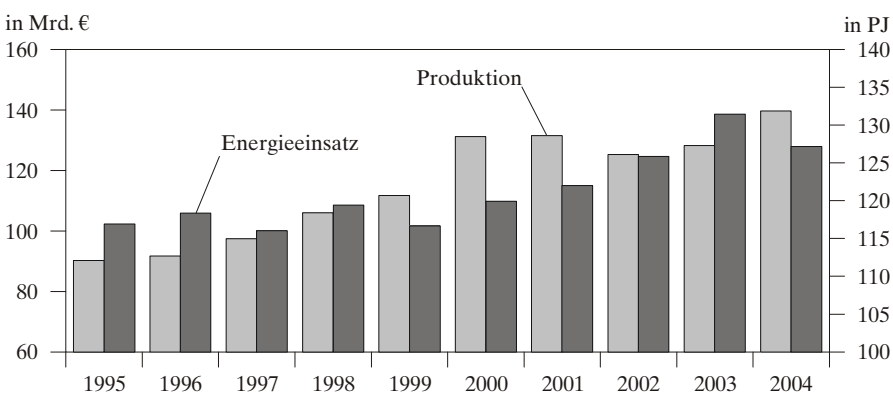
bei der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten (WZ 30) nicht mehr nach elektrischen und nicht-elektrischen Geräten getrennt. Herangezogen wurde für das Monitoring der insgesamt ausgewiesene Energieverbrauch, da bei beiden Produktgruppen der entsprechende Anteil für die nicht elektrischen Geräte nach Ansicht des ZVEI vernachlässigbar gering ist.

Auf Grund der Vielfalt der Produkte sowie deren Heterogenität werden Daten zur Produktion nicht in mengen-, sondern in preisbereinigten Wertgrößen angegeben. Die Werte wurden vom ZVEI durch die Fort- bzw. Zurückschreibung des Produktionswertes des Jahres 2000 mit Hilfe eines entsprechenden Produktionsindexes ermittelt (ZVEI 2005a: 5). Diese Produktionswerte stellen die Basis für die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs und der spezifischen Emissionen dar.

14.2 Energieverbrauch und Produktion

Schaubild 14.2 vermittelt einen gewissen Eindruck von der später eingehender zu diskutierenden Entkopplung des Energieverbrauchs von der Entwicklung der Produktion. Zwischen 1995 und 2000 lag der Energieverbrauch zwischen 117 PJ und 120 PJ, während der Produktionswert in dieser Zeit sehr stark stieg, von 90,2 auf 131,2 Mrd. €. Vor allem im Boomjahr 2000, in dem die Produktion im Vergleich zum Vorjahr um etwa 17,4 % zunahm, gab es nur einen sehr moderaten Anstieg des Energieverbrauchs

Schaubild 14.2
Produktion und Energieeinsatz in der Elektroindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

um 2,7 %. Sehr auffällig ist allerdings, dass 2002 und 2003 der Energie verbrauch weiter zunahm, während die Produktion sank bzw. schwächer

anstieg. Erst 2004 gelang trotz starken Produktionsanstiegs wieder ein deutlicher Rückgang des Energieverbrauchs.

14.3 Beschreibung der Produktionsprozesse

Das Spektrum der von der Elektroindustrie hergestellten Produkte ist breit gefächert. Es reicht von Investitionsgütern wie Elektromotoren, elektronischen Bauteilen und elektromedizinischen Diagnosegeräten bis zu Konsumgütern wie Walkman, elektrische Zahnbürsten, Fernsehern, Waschmaschinen und Geschirrspülern. Die Industrie verwendet daher eine Vielzahl von Fertigungstechnologien, deren Bandbreite von der Einzelfertigung bis zur Massenfertigung etwa von Haushaltsgeräten reicht (ZVEI 2005a: 4).

Mit diesem Produktportfolio unterliegt die Elektroindustrie sehr viel komplexeren Zusammenhängen von wirtschaftlichem Wachstum und Energieverbrauch als Branchen, in denen Produktion und Energieverbrauch prozessbedingt unmittelbar korrelieren - d.h. es gibt in der Elektroindustrie im Gegensatz zu anderen Branchen kein über den gesamten Wirtschaftszweig hinweg dominantes Verfahren, dass über einen unmittelbaren prozesstechnischen Zusammenhang wirtschaftliche Entwicklung und Energieeinsatz direkt verknüpft. Dem Einsatz an Energie zu Beleuchtungszwecken, für Verwaltungstätigkeiten und zur Raumwärmeerzeugung in Verwaltungs- und Produktionsräumen kommt in dieser Branche eine in Relation zu energieintensiven Branchen vergleichsweise höhere Bedeutung zu, während in den meisten anderen Sektoren Energie vor allem zu Produktionszwecken eingesetzt wird. Die Herstellungsverfahren sind oftmals eher personal- denn energieintensiv. Der Materialeinsatz zeichnet sich wegen der unterschiedlichsten Anforderungen an die Funktion der produzierten Bauteile durch eine große Vielfalt aus: Neben Metallen, insbesondere Stahl und Edelmetallen, werden auch Glas und Kunststoffe verwendet.

Die Elektroindustrie trägt als Hersteller von Produkten für den Endverbrauch wie auch als Vorleistungslieferant für andere Sektoren mit ihren System-, Prozess- und Produktinnovationen wesentlich zur Minderung des Energiebedarfs und der CO_2-Emissionen bei den Abnehmern aus Industrie, Stromerzeugung, Haushalten und Verkehr bei. Ziel der Branche ist, die Produktionsprozesse anderer Bereiche bzgl. des Energieverbrauchs zu optimieren und Energie- und CO_2-Einsparungen über den gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte zu erzielen. Dies kann jedoch in der Elektroindustrie bei der Produktion mitunter zu einem Mehreinsatz an Energie führen (ZVEI 2005a: 4).

14.4 Die Selbstverpflichtung

Der Beitritt der Elektroindustrie zur „Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge“ vom 9.11.2000 wurde vom ZVEI am 27. Juni 2001 beschlossen. Damit geht der Verband erstmals eine freiwillige, die gesamte Branche umfassende Selbstverpflichtung zum Klimaschutz ein. Diese besteht darin, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 35 % und bis 2012 um 40 % gegenüber 1990 zu verringern (Übersicht 14.1).

Übersicht 14.1
Selbstverpflichtungen der Elektroindustrie

Ziele	Verringerung der spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 35 % und bis 2012 um 40 %.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des ZVEI (2001).

Um den spezifischen Endenergieverbrauch zu verbessern, und damit die spezifischen Emissionen zu reduzieren, wird nach Angaben des ZVEI neben der Modernisierung der Produktionsanlagen, der Gebäudetechnik und der Verwaltungseinrichtungen eine Verbesserung der Kenntnis über den Energieverbrauch angestrebt, um noch unerschlossene Potenziale zur Erhöhung der Energieeffizienz zu nutzen.

Die Zusage zur Minderung der spezifischen, nicht aber der absoluten CO_2-Emissionen begründet der ZVEI damit, dass Wachstum nicht durch Rationierung des Faktors Energie gebremst werden dürfe, vor allem, da die Elektroindustrie durch Optimierung der von ihr hergestellten Produkte und Systeme erhebliche Vorleistungen zur Energiebedarfsreduktion der gesamten Volkswirtschaft erbringe. Diese Vorleistungen können mit einem Material- und Energiemehreinsatz verbunden sein.

Neben Kohlendioxid (CO_2) sind für die Elektroindustrie zwei weitere Klimagase relevant, polyfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF_6). Zur Reduzierung dieser Emissionen verweist der ZVEI auf europäische und internationale Initiativen, die unter maßgeblicher Beteiligung der in Deutschland produzierenden Unternehmen erarbeitet werden. Zum Beispiel hat sich die Halbleiterindustrie 1999 in Fiuggy, Italien, verpflichtet, die von ihr verursachten absoluten PFC-Emissionen bis 2010 weltweit um 10 % gegenüber 1995 zu reduzieren. In Europa wird diese Verpflichtung durch ein Monitoring verifiziert. Zur Begrenzung der Freisetzung von SF_6 in Schaltanlagen wurde 2005 zusammen mit Herstellern von SF6 und Anwendern von Schaltanlagen eine Selbstverpflichtung gegenüber dem Bundesumweltministerium abgegeben (VDN 2007). Zudem erklärt die

Elektroindustrie, ihre Bemühungen zum Abschluss freiwilliger Selbstverpflichtungen hinsichtlich der Verbesserung der Energieeffizienz ihrer Erzeugnisse auf europäischer und nationaler Ebene fortzusetzen (ZVEI 2001: 3f).

14.5 Bis 2004 erzielte CO_2-Minderungen

Das Ziel, die spezifischen CO_2-Emissionen bis 2005 um 35 % gegenüber 1990 zu senken, war bereits in den Jahren 2000 und 2001 erfüllt, wurde aber 2002 und 2003 wieder knapp verfehlt (Tabelle 14.1). 2004 konnte diese Marke erneut deutlich unterschritten werden. In diesem Jahr gelang es der Elektroindustrie sogar, ihre Zielvorgabe einer Senkung der spezifischen CO_2-Emissionen um 40 % bis 2012 zu erreichen.

Tabelle 14.1
Spezifische CO_2-Emissionen und Zielerreichungsgrade der Elektroindustrie
1990 bis 2004; Minderungsziel bis 2005: -35 % im Vergleich zu 1990

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Spez. Emissionen, g CO_2/€	97,27	82,82	66,51	58,22	58,86	64,09	65,21	57,67
Minderung in %	-	14,9	31,6	40,1	39,5	34,1	33,0	40,7
Zielerreichungsgrad in %	-	42,6	90,3	114,7	112,9	97,4	94,3	116,3

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

Die absoluten CO_2-Emissionen gingen zwischen 1990 und 1995 deutlich zurück, von 9,3 auf 7,5 Mill. t (Tabelle 14.2). Mit geringen Abweichungen hielten sich die Emissionen bis 1999 auf etwa diesem Niveau, bevor bis 2002 wieder ein deutlicher Anstieg auf rund 8 Mill. t erfolgte. Dieses Emissionsniveau herrschte auch 2004 vor. Insgesamt gelang es, die CO_2-Emissionen zwischen 1990 und 2004 um 13,1 % zu verringern, während die Produktion um 46,6 % zunahm. Als Resultat sind die spezifischen Emissionen in diesem Zeitraum um 40,7 % gefallen (Tabelle 14.1).

14.6 Ursachenanalyse

Der wesentliche Grund für den Rückgang der spezifischen CO_2-Emissionen ist in der Senkung des spezifischen Energieverbrauchs bzw. in der weitgehenden Entkopplung des Energieverbrauchs von der Produktionsentwicklung zu sehen. Obwohl die Produktion zwischen 1995 und 2000 um über 40 % zunahm, blieb der Energieverbrauch in diesem Zeitraum auf einem relativ konstanten Niveau von rund 117 bis 120 PJ (Tabelle 14.3).

Damit ist während der neunziger Jahre ein kontinuierlicher Anstieg der Energieeffizienz zu konstatieren (Tabelle 14.3). Zwischen 1990 und 1995 sank der spezifische Energieverbrauch um 12,5 %, nicht zuletzt auch infolge der Wiedervereinigung. Zwischen 1995 und 2000 konnte der spezifische

Verbrauch, hier gemessen in MJ pro € Produktionswert, noch deutlicher verringert werden: Die Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs betrug in diesem Zeitraum 30 %.

Tabelle 14.2
Produktion und absolute CO_2-Emissionen der Elektroindustrie
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen, Mill. t	9,27	7,47	7,43	7,64	7,77	8,03	8,36	8,06
Minderung in %	-	19,4	19,8	17,6	16,2	13,4	9,8	13,1
Produktion, Mrd. €	95,3	90,2	111,8	131,2	132,1	125,3	128,2	139,7
Veränderung in %	-	-5,4	17,3	37,7	38,6	31,5	34,5	46,6

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

Die spezifischen CO_2-Emissionen konnten zwischen 1990 und 1995 mit 14,9 % stärker reduziert werden als der spezifische Energieverbrauch, welcher um 12,5 % abnahm (Tabelle 14.3). Zurückzuführen ist dieser Unterschied auf die in diesem Zeitraum stattfindende nahezu vollständige Substitution kohlenstoffreicher Brennstoffe wie Rohbraunkohle und schwerem Heizöl durch den kohlenstoffarmen Energieträger Erdgas (Tabelle 14.4).

Tabelle 14.3
Energieverbrauch in der Elektroindustrie
1990 bis 2004, gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Energieverbrauch, PJ	141,2	116,9	116,7	119,9	122,0	125,9	131,4	127,1
Minderung in %	-	17,2	17,4	15,1	13,6	10,8	6,9	10,0
Spez.Verbrauch, MJ/€	1,48	1,30	1,04	0,91	0,92	1,01	1,02	0,91
Minderung in %	-	12,2	29,7	38,5	37,8	31,8	31,1	38,5

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

Von 1995 bis 2004 verlief die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs und des spezifischen CO_2-Ausstoßes nahezu parallel. In dieser Zeit hat der Anteil des Nettofremdstrombezugs zu Lasten von Erdgas und vor allem von leichtem Heizöl kontinuierlich zugenommen, von 77,4 % auf 81,8 %. Da der Umfang dieser Energieträgersubstitution jedoch nicht allzu gravierend war und sich die CO_2-Emissionsfaktoren dieser Energieträger auch nicht sehr stark unterscheiden, haben sich dadurch die CO_2-Emissionen nicht stärker verringert als der Energieverbrauch.

Dies ist schließlich auch darauf zurückzuführen, dass die Auswirkungen der Substitution von leichtem Heizöl durch Strom in Bezug auf die CO_2-Emissionen neutralisiert wurden durch den Ersatz des Erdgases durch Strom. Denn während leichtes Heizöl mit 0,074 t/GJ einen höheren Emissionsfaktor als Strom aufweist, ist der Emissionsfaktor von Erdgas mit

0,056 t/GJ niedriger als der des Stroms, dessen Emissionsfaktor im Rahmen des Monitoring auf 0,064 t/GJ festgesetzt ist.

Tabelle 14.4
Energiemix in der Elektroindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohlenbriketts	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Steinkohlenkoks	0,3	0,3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,4	-
Rohbraunkohlen	4,2	0,0	0,0	-	-	-	-	-
Braunkohlenbriketts	0,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Schweres Heizöl	1,9	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	-	-
Leichtes Heizöl	8,6	8,1	5,2	4,6	4,5	4,8	7,6	4,6
Erdgas	15,3	17,0	16,2	15,6	16,2	16,0	20,4	18,5
Kokereigas	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	-	-
Primärbrennstoffe	31,5	26,4	22,5	21,4	22,0	21,9	28,4	23,2
Nettofremdstrombezug	110	91	94	99	100	104	103	104
Energieverbrauch	142	117	117	120	122	126	131	127

Nach Angaben des Verbandes im Rahmen des Monitoring.

14.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Weitere Gründe für die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs sieht der Verband in der sog. „Softwareisierung“ sowie der zunehmenden Bedeutung von Dienstleistungen und Services rund um den Kern der Güterproduktion. Dazu beigetragen hat zudem der Trend zur Miniaturisierung der Produkte, aber auch das Outsourcen von Teilen der Produktion wegen zu hoher Arbeitskosten. Als weitere Ursache führt der ZVEI spezielle Energieeinsparmaßnahmen an, die von Unternehmen der Branche vielfach im Rahmen von Modernisierungen oder Erneuerungen der Produktionsanlagen, der Gebäudetechnik und Verwaltungseinrichtungen durchgeführt wurden.

Einen Einblick in die 2003 und 2004 in dieser Branche durchgeführten Maßnahmen zur Energieverbrauchs- und CO_2-Minderung gewährt die Übersicht 14.2. Die dort aufgeführte Auswahl entstammt dem Fortschrittsbericht des ZVEI (2007: 8ff). Die Maßnahmen beziehen sich auf die Bereiche Beleuchtung, Raumwärme, Abwärmenutzung, Produktionsprozesse und effizientes Energiemanagement.

So wurden alte Beleuchtungsanlagen gegen sparsame Leuchtstofflampen ausgetauscht. Einige Maßnahmen betrafen die Verbesserung der Gebäude-

isolierung. Erwähnt wurden auch die Substitution von Öl oder Kohle durch Gas und der Trend zur Nutzung von Fernwärme.

Daneben wurden moderne Elektroschmelzöfen und Mittelfrequenzöfen eingesetzt. Im Rahmen eines verbesserten Energiemanagements ergaben sich Verringerungen des Energieverbrauchs durch Konzentration der Aktivitäten auf geringere Grundstücksflächen und Optimierung von Power Managementfunktionen.

Übersicht 14.2
Ausgewählte Maßnahmen einzelner Unternehmen der Elektroindustrie zur Energieeinsparung
2003 und 2004

- Inbetriebnahme neuer Mittelfrequenzöfen in der Gießerei, wobei Koks durch Strom ersetzt wurde;
- Optimierungsmaßnahmen für eine verbesserte Wärmedämmung der Gebäude sowie für die Nutzung der Abwärme in der Drucklufterzeugung;
- Umstellung der Beleuchtung auf Energiesparlampen;
- Einführung modernster Nachverbrennungstechnik mit Wärmerückgewinnung bei der Harzverarbeitung;
- Einführung von Elektroschmelzöfen in einer Gießerei sowie Grenzwertüberwachung durch Filterwächter an sämtlichen Filteranlagen;
- Verringerung des Energieverbrauchs durch Konzentration der Standortaktivitäten auf eine geringere Grundstücksfläche sowie Erhöhung der Flächenproduktivität auf den Produktionsflächen;
- Substitution von Wärmeerzeugung aus altem Heizkessel gegen Bezug von Fernwärme bzw. ebenfalls durch Umstellung der Wärmeerzeugung von Erdöl auf Erdgas;
- Optimierung der Einstellung der Power Management Funktionen von PC und Notebook über das gesamte Netz für rund 10 000 Systeme mit einer Einsparung von 212 000 kWh und 132 000 kg CO_2;
- Zurückgewinnung der 450 °C heißen Abluft der Glasherstellung durch ein Wärmetauschersystem und Verwendung für Warmwasser und Heizung bei der Lampenherstellung;
- Steigerung der Energieeffizienz durch Änderung der Ofengeometrie: deutliche Reduzierung der Auf- und Abheizzone sowie der gesamten Ofenoberfläche; dadurch Minderung des Energieaufwandes pro Tonne Produkt um 50 %;

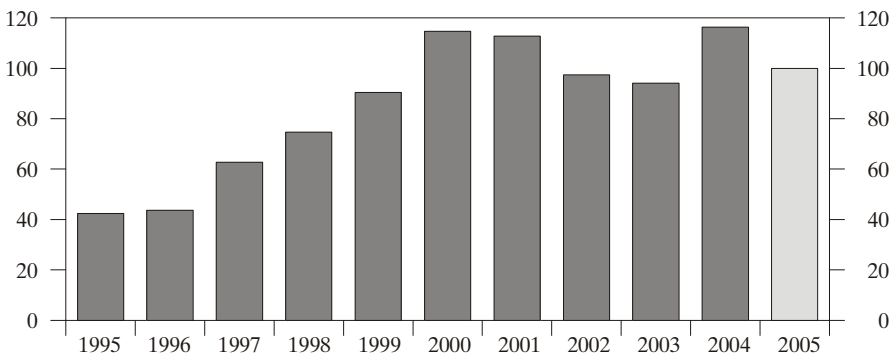
Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring (ZVEI 2007: 8ff.)

Berücksichtigt werden muss laut ZVEI auch, dass die Elektroindustrie in ihren Bemühungen, die Produkte umweltfreundlich zu gestalten, häufig mehr anstatt weniger Energie zu deren Produktion einsetzt. Zum Beispiel werde bei Elektromotoren mehr Kupfer benötigt, um deren Wirkungsgrad zu erhöhen. Diese Prozesse benötigen mehr Energie und beeinflussen die Energieeffizienz negativ (ZVEI 2001).

14.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die in Schaubild 14.3 dargestellten Zielerreichungsgrade zeigen, dass das für 2005 angestrebte Ziel, die spezifischen Emissionen um 35 % gegenüber 1990 zu reduzieren, auch 2004 wieder mehr als erfüllt war. Sogar das erst für 2012 angestrebte Ziel einer 40-prozentigen Senkung wurde in diesem Jahr erreicht. Auf der Basis noch vorläufiger Daten zeichnet sich auch für 2005 bei einem deutlichen Produktionswachstum ein Rückgang der spezifischen CO_2-Emissionen von ebenfalls über 40 % gegenüber 1990 ab.

Schaubild 14.3
Zielerreichungsgrad in der Elektroindustrie
in %



Eigene Berechnungen.

Auffällig ist allerdings die deutliche Zunahme des Energieverbrauchs – und damit der CO_2-Emissionen – in den Jahren 2002 und 2003, obwohl die Produktion gegenüber 2001 erheblich zurückging. Das sorgte in den ersten beiden Jahren nach der Einführung der freiwilligen Selbstverpflichtung der Elektroindustrie für einen Rückgang des Zielerreichungsgrades und eine geringfügige Verfehlung des 35 %-Reduktionsziels. Aufgrund des Anstiegs der spezifischen Emissionen in diesen Jahren bezeichnet der ZVEI das für 2012 gesetzte Ziel nach wie vor als anspruchsvoll.

Über Energieeinsparungen durch Effizienzverbesserungen hinaus gibt es in der Elektroindustrie kaum mehr Möglichkeiten zur CO_2-Reduktion. Von der Substitution kohlenstoffreicher durch kohlenstoffarme Energieträger sind keine erheblichen CO_2-Einsparungen mehr zu erwarten. 2004 hatte das kohlenstoffarme Erdgas bereits einen Anteil von knapp 72 % bei den fossilen Brennstoffen erreicht. Darüber hinaus dürfte sich der in den vergangenen Jahren zu beobachtende kontinuierliche Anstieg des Anteils an Strom am gesamten Energieeinsatz dieser Branche eher fortsetzen. Dieser lag 2004 bereits bei 81,8 %. Aufgrund des bereits hohen Anteils an Erdgas und des –

besonders im Vergleich zu Erdgas – hohen CO_2-Emissionsfaktors von Strom dürfte ein weiter steigender Stromanteil eher zu einer Erhöhung der spezifischen Emissionen führen, da dann Strom vor allem Gas ersetzen würde.

15. Der Steinkohlenbergbau

Der deutsche Steinkohlenbergbau befindet sich seit Beginn der sechziger Jahre in einem nur kurzfristig während der beiden Ölkrisen unterbrochenen Anpassungs- und Schrumpfungsprozess, der aufgrund der fehlenden Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Importsteinkohle weiter anhält. Die wesentliche Ursache dafür sind die geologisch schwierigen Abbaubedingungen in Deutschland.

Die im Berichtszeitraum geltende kohlepolitische Vereinbarung vom 13. März 1997 sieht vor, die heimische Förderung zwischen 1997 und 2005 von 47 auf 26 Mill. t verwertbare Förderung (t v. F.) und die Belegschaft von 78 000 auf 36 000 Beschäftigte zu reduzieren. Das Eckpunktepapier vom 7. Februar 2007 zur Beendigung der subventionierten Förderung der Steinkohle in Deutschland geht von einer voraussichtlichen Förderkapazität von 12 Mill. t im Jahr 2012 aus (GVSt 2007: 5).

2004 gehörten zur Steinkohlenindustrie noch eine Kokerei und zwei Brikettfabriken sowie neun Steinkohlenbergwerke – sieben im Ruhrgebiet, eines an der Saar und eines in Ibbenbüren (GVSt 2007: 6). Die bergbaulichen Aktivitäten an Ruhr und Saar werden von der DSK wahrgenommen, der Deutschen Steinkohle AG, und in Ibbenbüren von der DSK Anthrazit Ibbenbüren GmbH. Beide Gesellschaften sind unter dem Dach der RAG Aktiengesellschaft, Essen, vereint (Schiffer 2003: 171). Der Sektor beschäftigte 2004 insgesamt noch rund 42 000 Mitarbeiter (GVSt 2007: 8).

15.1 Datenbasis

Der Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus (GVSt) hat am 30. Mai 2002 den Beitritt der deutschen Steinkohlenindustrie zur „Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge“ vom 9. November 2000 erklärt (GVSt 2002). Die wesentliche Grundlage für die im Rahmen des vorliegenden Monitoringberichts erfolgende Berechnung der CO_2-Emissionen bilden die vom GVSt gelieferten Daten über den Verbrauch der einzelnen Energieträger und die Produktionsmenge in Tonnen verwertbare Förderung (t v. F.), die im Folgenden verkürzend mit Tonnen (t) wiedergegeben werden. Werte zum Energieverbrauch dieses Sektors sind darüber hinaus in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes unter der Kennziffer 10.1, Steinkohlenbergbau und –brikettherstellung, zu finden.

Die Verbandsdaten und die vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Angaben sind allerdings nicht miteinander vergleichbar, da die vom Statisti-

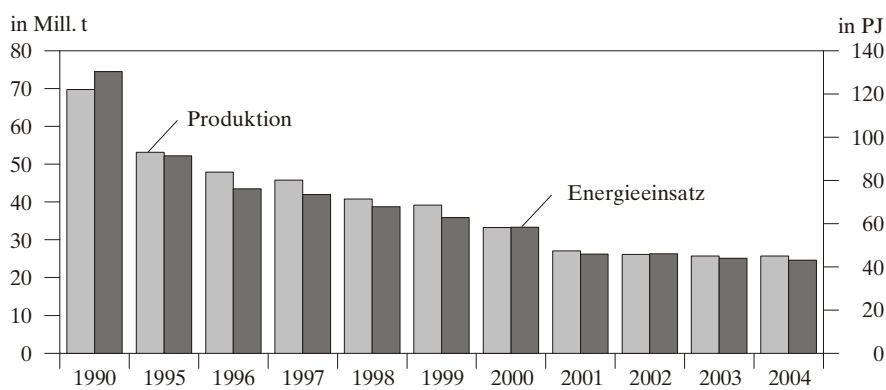
schen Bundesamt erfassten Daten Angaben zum Energieverbrauch von Unternehmen wie der RAG-Tochtergesellschaft STEAG AG enthalten, welche ihren Schwerpunkt in der Stromerzeugung und im Anlagenbau hat (GVSt 2002: 4). Gegenstand des Monitoring sind hingegen lediglich die Steinkohlenförderung sowie die Koks- und Briketterzeugung der RAG-Tochtergesellschaften Deutsche Steinkohle AG (DSK) und DSK Anthrazit Ibbenbüren GmbH. Die stark abweichenden Angaben zum Energieverbrauch sind in erster Linie auf den Energieeinsatz in den Kraftwerken zurückzuführen.

Bei den Angaben zu Umsatz, Beschäftigten, Investitionen und Rationalisierungsmaßnahmen wird ebenfalls auf Informationen des GVSt zurückgegriffen. Der Verband stellt zudem zwei Fortschrittsberichte mit Angaben zu den zwischen 1990 und 2004 vollzogenen Maßnahmen zur CO_2-Minderung zur Verfügung (GVSt 2005 und 2007).

15.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Im deutschen Steinkohlenbergbau wurden 2004 noch 25,7 Mill. t Steinkohle gefördert. Der Anteil der heimischen Steinkohle an der inländischen Versorgung lag bei 41 % (GVSt 2007: 9).

Schaubild 15.1
Produktion und Energieeinsatz in der Steinkohlenindustrie
1990 bis 2004

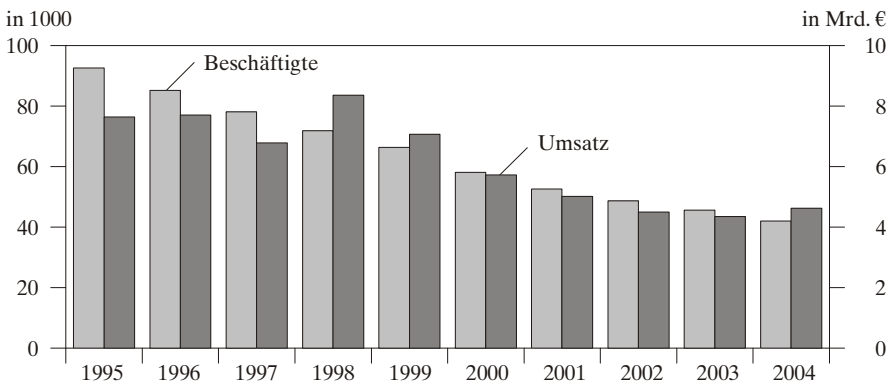


Nach Angaben des GVSt im Rahmen des Monitoring.

Die Steinkohlenindustrie zählt aufgrund der Produktionsbedingungen im Untertagebergbau zu den energieintensiven Sektoren. Mit einem Anteil von 1,2 % am Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes zählt dieser Sektor jedoch nicht zu den großen Energieverbrauchern unter den deutschen Industriezweigen.

Der Energieverbrauch ist zwischen 1990 und 1999 um 51,8 % auf 62,8 PJ gesunken. Die Steinkohleförderung ging hingegen zwischen 1990 und 1999 nur um 43,8 % zurück, von 69,8 auf 39,2 Mill. t (Schaubild 15.1). Demgegenüber war der Rückgang der Produktion zwischen 1999 und 2002 mit 33,5 % deutlich stärker ausgeprägt als der des Energieverbrauchs, welcher um 26,8 % sank. Zwischen 2002 und 2004 konnte der Energieverbrauch mit 6,3 % erneut stärker gedrosselt werden als die Produktion, die lediglich um 1,5 % zurückging.

Schaubild 15.2
Beschäftigte und Umsatz in der Steinkohlenindustrie
1995 bis 2004



Nach Angaben des GVSt.

Weitaus positiver als die Produktion entwickelte sich hingegen der Umsatz, der zwischen 1995 und 1999 lediglich um 7,5 % abnahm. Bis 2002 sank der Umsatz indessen stärker und zwar um weitere 14 %, jedoch weit weniger als die Fördermenge. 2004 war eine Erholung um 2,9 % festzustellen, nicht zuletzt aufgrund des Preisanstiegs für Importkohle. Parallel zum Rückgang der Steinkohlenförderung schrumpfte die Zahl der Beschäftigten von rund 130 300 im Jahr 1990 auf etwa 48 700 im Jahr 2002 (Schaubild 15.2). Entsprechend der kohlepolitischen Vereinbarung setzte sich der Beschäftigungsabbau auf 42 000 Mitarbeiter im Jahr 2004 fort.

15.3 Kurzbeschreibung des Produktionsprozesses

In Deutschland wird Steinkohle in bis zu 1 400 Meter Tiefe unter Tage gewonnen. Die Rohkohle wird in Brechanlagen zerkleinert, um auf Förderbändern transportiert werden zu können. Die zerkleinerte Rohkohle wird über den Schacht zu Tage gefördert (GVSt 2002: 5f). Über Tage gelangt die Rohkohle über Förderbänder in die Aufbereitungsanlage, wo sie von nicht

brauchbaren Bestandteilen getrennt wird. Etwa 50 % der Rohkohlenförderung sind verwertbare Kohle (Energiewelten 2005).

Zum Abbau der Kohle werden Walzenschrämlader und Kohlenhobel eingesetzt (GVSt 2002: 4). Der Kohlenhobel, der vor allem in niedrigen Flözen oder bei weicher Kohle zum Einsatz kommt, wird am Flöz entlang gezogen und schneidet die Kohle mit Meißeln aus dem Flöz heraus. Dies geschieht mit einer Geschwindigkeit von 180 bis 220 Meter pro Minute und einer Schnitttiefe von 3 bis 8 cm. Bei härterer Kohle wird der Walzenschrämlader eingesetzt, dessen rotierende Walze einen etwa 80 cm breiten Streifen herausschneidet. Der effiziente Einsatz dieser Maschinen wird durch Sensoren und Mikrochips in der Steuerungs- und Regelungstechnik geregelt. Alle Vorgänge unter Tage werden über Monitore von der Grubenwarte aus überwacht und gesteuert (DSK 2005).

Mit dem zunehmendem Abbau der Kohleflöze erhöht sich die Entfernung zwischen Schacht und Streb, d.h. dem Kohlegewinnungsraum. Für einen Streb von 300 Metern Länge werden etwa 200 große Stahlschilde benötigt, die von Hydraulikstempeln abgestützt den Hohlraum offen halten. Der Streckenvortrieb bzw. das Herstellen von Hohlräumen zum Aufdecken neuer Flöze erfolgt zu 60 % mittels Bohr- und Sprengtechnik und zu 40 % mit so genannten Streckenvortriebsmaschinen (GVSt 2005: 9). Der Abbau vollzieht sich auch weiter in die Tiefe. Die Gewinnungstiefe wächst durchschnittlich um 17 Meter pro Jahr. Je größer indessen die Abbautiefe, desto höher sind die herrschenden Temperaturen: Pro 100 Meter steigt die Temperatur um rund drei Grad Celsius (°C). Bei rund 1 000 Meter Abbautiefe herrschen Temperaturen von ca. 40^0 C. Das Freilegen der Rohkohle ist daher für die Beschäftigten mit hohen Belastungen verbunden.

Um die Arbeiten in einem Bergwerk zu ermöglichen, saugen am Schacht angebrachte Ventilatoren die verbrauchte Luft ab; Frischluft gelangt über andere Schächte ins Bergwerk. Damit werden nicht nur die Arbeitsbelastungen reduziert und die dafür vorgeschriebenen Klimagrenzwerte eingehalten. Zugleich wird hierdurch der Anteil des beim Abbau von Kohlenflözen freigesetzten Grubengases in der Abluft verringert und unter der explosionsfähigen Konzentration gehalten. Bei Grubengas handelt es sich zu 90 bis 95 % um Methangas. Der Anteil an Methan ist abhängig von der Kohleart. Die Freisetzung von Methan wird zudem bestimmt von den Abbaubedingungen, dem atmosphärischen Druck und der Fördermenge. Damit keine explosionsfähigen Gasgemische entstehen muss der Anteil des Methans (CH_4) in der Luft unter 1 % gehalten werden (RAG 2005).

Die Produktionsprozesse des Steinkohlenbergbaus erfordern große Mengen an Energie. Auf engem Raum werden ständig große Mengen an Schüttgütern abgebaut, zerkleinert und transportiert, schwere, sperrige Materialien

bewegt sowie das Personal befördert. In den Bergwerken der DSK werden pro Tag 370 000 t Rohkohle, Gestein, Baustoffe und Maschinen über eine mittlere Entfernung von etwa 6 km transportiert (GVSt 2002: 5f). Das in Betrieb befindliche Streckennetz eines Bergwerks liegt derzeit bei ungefähr 90 km. Das Streckennetz der DSK beträgt insgesamt über 1 000 km. Jedes Jahr kommen etwa 80 km an neuen Abbaustrecken hinzu; im Rahmen der Optimierung des Streckennetzes werden allerdings jedes Jahr mehr als 100 km Strecken stillgelegt. Auch für die Frischluftzufuhr zur Einhaltung der Klimagrenzwerte und zum Ausschluss von Schlagwetterexplosionen ist ein hoher Energieeinsatz erforderlich (GVSt 2002: 4).

Schließlich ist auch die Herstellung von Koks aus qualitativ hochwertiger Kokskohle mit einem erheblichen Energieaufwand verbunden. Koks findet vor allem in den Hochöfen der Stahlhüttenwerke Verwendung. In Kokereien wird Kokskohle unter Luftabschluss über 25 Stunden bis auf 1 100^0 C erhitzt. Am Ende entstehen ungefähr 75 % Koks, und 25 % Rohgas, das wertvolle Kuppelprodukte wie Teer, Benzol und Ammoniak enthält. Diese Wertstoffe werden dem gewonnenen Rohgas bei der Abkühlung entzogen. Rund 40 % des eigenen Kokereigases benötigt eine Kokerei für die Beheizung ihrer Koksöfen (GVSt 2005: 8); 60 % werden in das Fernnetz eingespeist.

15.4 Die Selbstverpflichtung

Der Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus trat am 30. Mai 2002 stellvertretend für die deutsche Steinkohlenindustrie der Klimavorsorgevereinbarung zwischen Bundesregierung und deutscher Industrie bei. Die deutsche Steinkohlenindustrie hat sich dazu verpflichtet, die CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2005 um 70 % und bis 2012 um 75 % gegenüber 1990 zu verringern (Übersicht 15.1).

Übersicht 15.1
Selbstverpflichtung des deutschen Steinkohlenbergbaus

Ziele	Verringerung der absoluten CO_2-Emissionen bis 2005 um 70 % und bis 2012 um 75 % gegenüber 1990. Verringerung der CH_4-Emissionen bis 2012 um 70 % gegenüber 1990.
Prognose	Verringerung der absoluten CO_2-Emissionen bis 2012 um 80 % gegenüber 1990.
Basisjahr	1990

Angaben des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus, GVSt (2002: 2) und GVSt (2005: 21).

Darüber hinaus sollen die Emissionen von Methan, das aus aktiven wie auch stillgelegten Bergwerken entweicht, bis 2012 um 70 % gegenüber 1990 reduziert werden. Methan gehört aufgrund seiner Klimawirksamkeit, die 21 Mal höher ist als die des Kohlendioxids (OECD 2001: III.3), zu den im

Kioto-Protokoll erfassten klimawirksamen Gasen. Die Minderung der Methanemissionen ist daher ein wesentlicher Bestandteil der Klimavorsorgevereinbarung des Steinkohlenbergbaus (GVSt 2002: 5). Im vorliegenden Monitoringbericht erfolgt indessen nur eine Überprüfung der Zielsetzung für Kohlendioxid, nicht aber für Methan.

Der Steinkohlenbergbau bindet seine Zusage an die Umsetzung der vereinbarten Kohlepolitik. Der Verband geht zudem davon aus, dass die Bundesregierung auf zusätzliche ordnungsrechtliche und fiskalische Regelungen verzichtet und der Industrie insbesondere bei einer eventuellen Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform keine Wettbewerbsnachteile entstehen (GVSt 2002: 4).

Bei der Formulierung der Selbstverpflichtung wurde von einem Fördervolumen von 20 bis 22 Mill. t im Jahr 2012 ausgegangen. Da die Anschlussregelung vom Juli 2003 eine Absenkung der Steinkohlenförderung bis auf 16 Mill. t im Jahr 2012 vorsieht, verringert sich damit auch die Höhe der zu erwartenden CO_2-Emissionen. Im Fortschrittsbericht von 2005 wird daher eine Minderung der Emissionen bis 2012 um rund 80 % gegenüber 1990 für plausibel erachtet (GVSt 2005: 21).

15.5 Bis 2004 realisierte CO_2-Minderungen

Dem Steinkohlenbergbau gelang es, die CO_2-Emissionen zwischen 1990 und 2004 um 72,8 % zu senken (Tabelle 15.1). Das für 2005 avisierte Reduktionsziel von 70 % wurde somit bereits 2001 erreicht und seither nicht mehr verfehlt. Im Gegenteil: Der Zielerreichungsgrad konnte 2003 und 2004 gegenüber den Vorjahren leicht verbessert werden.

Tabelle 15.1
CO_2-Emissionen und Zielerreichungsgrade der Steinkohlenindustrie
1990 bis 2004; Minderungsziel bis 2005: -70 % im Vergleich zu 1990

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO_2-Emissionen, Mill. t	9,2	6,7	3,7	3,4	2,8	2,7	2,6	2,5
Minderung in %	-	27,2	59,8	63,0	69,6	70,7	71,7	72,8
Zielerreichungsgrad in %	-	38,9	85,5	90,0	100,3	100,6	102,4	104,0

Nach Angaben des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus.

15.6 Ursachenanalyse

Der drastische Rückgang der CO_2-Emissionen ist in erster Linie Folge der Stilllegung von Bergwerken und den dazugehörigen Nebenbetrieben, die mit dem Abbau der Steinkohleförderung einhergingen. Zwischen 1990 und 2004 sank die Zahl der aktiven Bergwerke durch Stilllegung und Zusam-

menlegungen von 27 auf 9. Damit verbunden war eine Drosselung der Förderung um 63 %, auf 25,7 Mill. t (Tabelle 15.2). Im selben Zeitraum konnten die CO_2-Emissionen um knapp 73 % auf 2,5 Mill. t gesenkt werden und damit deutlich stärker als die Produktion (Tabelle 15.1).

Tabelle 15.2
Förderung, spezifischer Energieverbrauch und spez. CO_2-Emissionen der Steinkohlenindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Förderung, Mill. t	69,8	53,2	39,2	33,3	27,1	26,1	25,7	25,7
Minderung in %	-	23,8	43,9	52,4	61,2	62,7	63,2	63,2
Spez. Emissionen, kg/t	132	125	95	102	102	103	101	97
Minderung in %	-	5,2	28,0	22,7	22,7	22,0	23,5	26,5
Spez. Verbrauch, GJ/t	1,87	1,72	1,60	1,75	1,69	1,76	1,71	1,67
Minderung in %	-	8,0	14,4	6,4	9,6	5,9	8,6	10,7
CO_2-Intensität, Mill. t/PJ	0,071	0,073	0,059	0,058	0,061	0,059	0,059	0,059

Nach Angaben des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus.

Der Einfluss der Drosselung der Steinkohlenförderung auf die CO_2-Minderung lässt sich anhand folgender Rechnung deutlich machen. Bewertet man den Rückgang der Fördermenge um 30,6 Mill. t zwischen 1990 und 1999 (Tabelle 15.2) mit dem spezifischen Emissionswert für 1999 von 0,095 t CO_2/t, so folgt hieraus eine Reduzierung der CO_2-Emissionen um 2,9 Mill. t. Führt man dieselbe Rechnung für den Zeitraum 1990 bis 2004 durch, so ergibt sich durch die eingeschränkte Fördermenge mittels Bewertung mit dem spezifischen Emissionswert von 2004 ein Minderungsvolumen von knapp 4,4 Mill. t CO_2. Dabei ist davon auszugehen, dass von der geringen Reduktion der Fördermenge in den Jahren 2003 und 2004 kein großer Einfluss ausgegangen ist.

Neben der Drosselung der Förderung konnte eine Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs zur Minderung der CO_2-Emissionen beitragen. Zwischen 1990 und 1999 gelang es, den spezifischen Energieverbrauch um rund 15 % zu senken, von 1,87 auf 1,60 GJ/t (Tabelle 15.2). Zwischen 2000 und 2002 stieg hingegen der spezifische Verbrauch um rund 10 %. 2004 gelang erneut eine Minderung um 5,1 %. Der spezifische Verbrauch lag mit 1,67 GJ/ aber immer noch leicht über dem Wert von 1999.

Einen Eindruck von der Bedeutung der gesteigerten Energieeffizienz erhält man, wenn man den spezifischen Energieverbrauch für 1999 vom entsprechenden Wert von 1990 subtrahiert. Multipliziert man die Differenz von 0,27 GJ/t beziehungsweise 0,27 PJ/Mill. t mit der Fördermenge von 1999 in Höhe von 39,2 Mill. t, so ergibt sich eine Energieeinsparung durch Effizienzverbesserung in Höhe von 10,6 PJ. Wird dieser Wert mit der für 1999

festgestellten CO_2-Intensität in Höhe von 0,059 Mill. t CO_2/PJ bewertet, so ergibt sich eine CO_2-Minderung durch effizientere Energienutzung von gut 0,6 Mill. t.

Tabelle 15.3
Der Energiemix der Steinkohlenindustrie
1990 bis 2004; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Steinkohlen	56,1	40,2	1,0	0,4	0,2	0,2	0,1	0,03	0,03
Steinkohlenkoks	0,2	0,03	0,1	0,03	0,03	-	-	-	-
Schweres Heizöl	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Leichtes Heizöl	0,4	1,1	1,1	0,6	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2
Kokereigas	34,1	14,6	13,8	12,8	14,5	7,0	6,8	7,3	7,9
Gichtgas	0,8	0,9	0,8	-	-	-	-	-	-
Grubengas	9,5	10,4	8,7	7,9	6,1	5,5	8,0	6,6	5,9
Fossile Energieträger	101,7	67,2	25,5	21,7	21,4	13,1	15,1	14,1	14,0
Nettofremdstrombezug	28,6	24,2	50,6	41,1	37,0	32,8	30,9	29,8	29,1
Energieeinsatz insg.	130,3	91,4	76,1	62,8	58,4	45,9	46,0	43,9	43,1

Nach Angaben des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus.

Einem Rückgang des spezifischen Energieverbrauchs von insgesamt 10,7 % zwischen 1990 und 2004 stand eine Reduktion der spezifischen Emissionen von 25 % gegenüber. Dabei gelang es allein zwischen 1995 und 1996, die spezifischen CO_2-Emissionen von 125 kg/t auf 96 kg/t zu reduzieren, ein Rückgang von 23,2 % innerhalb nur eines Jahres (Tabelle 15.2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Strombedarf seit 1996 völlig durch Lieferungen von außen gedeckt wird, vor allem aus Kraftwerken der STEAG und der SaarEnergie GmbH, während die eigenen Zechenkraftwerke stillgelegt wurden (GVSt 2002: 7). Der im Rahmen des Monitorings für Fremdstrombezüge festgelegte CO_2-Emissionsfaktor ist niedriger als der der Steinkohle, welcher in den eigenen Kraftwerken zur Stromerzeugung eingesetzt wurde. Der Strombezug erhöhte sich zwischen 1995 und 1996 deutlich, von 24,2 auf 50,6 PJ (Tabelle 15.3). Gleichzeitig führte dies zu einem dramatischen Rückgang des Einsatzes an Steinkohlen als Brennstoff. Dieser sank von 1995 auf 1996 von 40,2 PJ auf 1 PJ. Insgesamt ist der Einsatz des kohlenstoffreichen Energieträgers Steinkohle von 56,1 PJ im Jahr 1990 bis 2004 auf nahezu Null reduziert worden.

Von 1999 bis 2004 nahmen die spezifischen CO_2-Emissionen mit 4,4 % etwas stärker zu als der spezifische Energieverbrauch mit 2,2 %. Dieser Unterschied lässt sich vor allem darauf zurückführen, dass die Bedeutung des kohlenstoffarmen Kokereigases mit einem CO_2-Emissionsfaktor von 0,044 Mill. t CO_2/PJ in dieser Zeit deutlich zurückging. Der Einbruch beim

Einsatz an Kokereigas um 6 PJ zwischen 1999 und 2002, mit dem ein Anteilsverlust am gesamten Energieeinsatz von 20,4 % auf 16,6 % verbunden war, ist auf den Rückgang der Koksproduktion zurückzuführen, bei der Kokereigas als Nebenprodukt entsteht. So sank die Kokserzeugung zwischen 1999 und 2002 von 3,4 auf 2,0 Mill. t (Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. 2005). Weitere substantielle Änderungen des Energiemix waren nicht zu verzeichnen. Der Verbrauch an Grubengas, das mit 0,054 Mill. t CO_2/PJ einen leicht höheren Emissionsfaktor als Kokereigas aufzuweisen hat, blieb mit durchschnittlich 6 PJ jährlich seit 2000 in etwa konstant. Grubengas konnte damit einen Anteilsgewinn am gesamten Energieverbrauch gegenüber 1999 von 10,4 % auf 13,7 % im Jahr 2004 verzeichnen.

Der Effekt dieser Änderungen im Energiemix auf die Emissionen wird ebenfalls sichtbar, wenn man die spezifischen Emissionen pro Energieeinheit oder CO_2-Intensität berechnet, das heißt den Quotienten aus Gesamtemissionsmenge und Gesamtenergieverbrauch bildet. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 15.2 aufgeführt und zeigen, dass Veränderungen im Energiemix nur zwischen 1990 und 1999 positive Auswirkungen auf die Emissionen ergaben. Danach wiesen diese Werte bis 2004 keine großen Änderungen mehr auf.

15.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Rationalisierungen und Maßnahmen zur Produktivitätssteigerungen führten seit Beginn der neunziger Jahre zu einer Konzentration der Förderung auf immer weniger Abbaubetriebe (Tabelle 15.4). Deren Anzahl hat sich von 147 im Jahr 1990 auf 25 im Jahr 2004 verringert. Dabei stieg die Förderung je Abbaubetriebspunkt zwischen 1990 und 2004 von rund 1 800 auf knapp 3 900 t pro Tag. Die Leistung unter Tage je Mann und Schicht stieg in dieser Zeit von rund 5 auf mehr als 6,5 t. Wesentlich waren nach Angaben des Verbandes aufgrund der hohen Energieintensität und daraus resultierender hoher Energiekosten in diesem Zusammenhang verstärkte Bemühungen zur Steigerung der Energieeffizienz (GVSt 2005: 12).

Mit den seit Beginn der neunziger Jahre umgesetzten Innovationen wurden insbesondere die bisher getrennt abgelaufenen Vorgänge Gewinnung, Förderung und Sicherung des Hohlraums zu einem vollständig mechanisierten Gesamtsystem verbunden (GVSt 2002: 8f). Insgesamt wurde eine Vielzahl von Neuerungen zur Weiterentwicklung und Leistungssteigerung in der schälenden und schneidenden Gewinnung, bei Streb- und Gurtförderanlagen, im Materialtransport sowie in der Frischluft- und Klimatechnik umgesetzt. In den Gewinnungsbetrieben sind die technischen Anforderungen durch die Erhöhung der Streblängen gestiegen. Diese benötigen stärkere

Gewinnungsmaschinen und Fördermittel in Verbindung mit immer komplexeren, automatisierten Überwachungs- und Steuerungssystemen (GVSt 2007: 16).

Tabelle 15.4
Indikatoren zur Rationalisierung in der Steinkohlenindustrie
1990 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Leistung je Mann/Schicht in t	5,0	5,6	6,2	6,7	6,2	6,5	6,5	6,5
Förderung je Abbaubetriebspunkt in 1 000 t	1,8	2,3	3,0	3,4	3,1	3,6	3,9	3,9
Bergwerke	27	19	15	12	11	10	10	9
Abbaubetriebspunkte	147	86	50	37	34	28	25	25

Nach Angaben aus GVSt (2007).

Ausgewählte Maßnahmen zur Energieeinsparung, die der Verband in seinem Fortschrittsbericht für die Jahre 2003 und 2004 aufgeführt hat, sind in Übersicht 15.2 aufgeführt (GVSt 2007: 16ff). Hierbei handelt es sich z.B. um Verbesserungen beim Streckenvortrieb durch effizientere Ankertechnik und Bohrwerkzeuge, bei der Untertagelogistik durch Neuentwicklungen bei Diesellokomotiven sowie um die Einführung von mikroprozessorgesteuerter Antriebstechnik im Hochleistungsstreb.

Übersicht 15.2
Ausgewählte Maßnahmen der Steinkohlenindustrie zur Energieeinsparung
2003 bis 2004

1. Streckenvortrieb
- Effizienzerhöhung durch neue Ankertechnik um 50 %
- Erhöhung des Bohrfortschritts durch Verbesserung der Bohrwerkzeuge und längere Lebensdauer der Bohrkronen durch effizientere Anordnung und Anzahl der Spülkanäle

2. Infrastruktur
- Einsatz leistungsfähigerer Diesellokomotiven; Verdreifachung der Transportkapazität, kürzere Umzugszeiten bei der Einrichtung neuer Strebe
- Neuentwicklung einer Diesellokomotivflotte; die Lebenszykluskosten reduzieren sich auf Grund geringerer Instandhaltungsmaßnahmen

3. Gewinnungsbetrieb
- Reduzierter Wasserverbrauch bei der Staubbekämpfung im Streb mit Walzenschrämlader bei gleichzeitiger Beibehaltung der sicherheitlichen Anforderungen
- Höhere Förderleistung im Hochleistungsstreb durch mikroprozessorgesteuerte Antriebstechnik

Nach GVSt (2007: 19).

Den Bemühungen der Industrie, eine Verbesserung des spezifischen Energieeinsatzes zu erreichen, stehen gegenläufige Einflüsse gegenüber (GVSt 2005: 13). Die zunehmende Gewinnungstiefe und die damit ansteigenden

Temperaturen erfordern zudem ergänzende Maßnahmen zur Klimatisierung, damit die Arbeitsbedingungen verbessert werden. Diese Maßnahmen führen zu einem erhöhten Energieeinsatz. Darüber hinaus benötigen auch stillgelegte Bergwerke eine gewisse Menge an Energie, etwa zum Abpumpen von Wasser zum Niedrighalten des Grundwasserspiegels (GVSt 2005: 21). Diese Notwendigkeiten haben letztlich zum Anstieg des spezifischen Energieverbrauchs zwischen 2000 und 2002 beigetragen.

Darüber hinaus gibt es nicht vorhersehbare Faktoren, die für erhebliche Schwankungen beim spezifischen Energieeinsatz sorgen können. Dazu zählen geologische Störungen, die zusammen mit technischen Problemen z.B. 2001 zu einem Rückgang der Fördermenge je Abbaubetriebspunkt auf knapp 3 100 t führten und die Leistung unter Tage je Mann und Schicht auf etwas mehr als 6 200 kg reduzierte (Tabelle 15.4). Geologische Veränderungen der ursprünglichen Lagerungsform der Kohle wie Schichtenzerreißungen bzw. Verwerfungen erfordern entsprechende Anpassungen, mit denen ein hoher Material- und Energieeinsatz einhergeht. 2001 wurde jedoch eine nicht nachvollziehbare Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs um 3,3 % beobachtet (GVSt 2005: 14).

Tabelle 15.5
Investitionen in der Steinkohlenindustrie
1995 bis 2004

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Investitionen, in Mill. €	284	240	181	221	215	184	254
Investitionsquote	5,3	6,1	5,4	8,2	8,2	7,2	9,9

Nach Angaben aus GVSt (2007: 21). Investitionsquote: Investitionen in €/t.

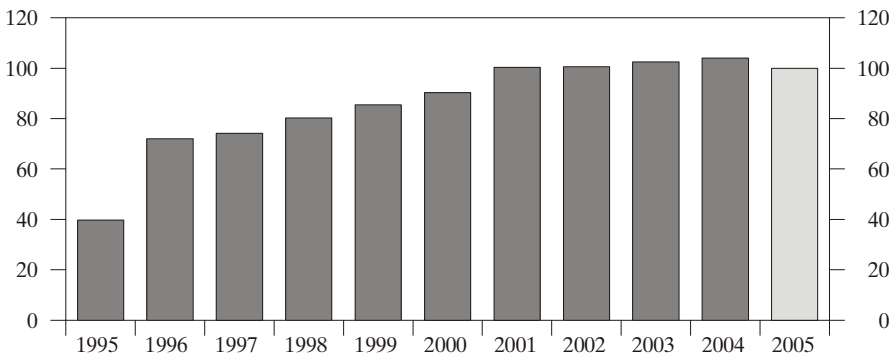
Rationalisierungsanstrengungen und Produktivitätssteigerung sowie die Erhaltung der Betriebsbereitschaft spiegeln sich wider in den Investitionen. Die Investitionsquote, das heißt die Investitionen pro Tonne geförderter Steinkohle, wurde Ende der 90er Jahre noch einmal deutlich erhöht und stieg 2004 auf knapp 10 € pro Tonne (Tabelle 15.5). Investitionen werden aber auch ausgelöst durch Auflagen und Bestimmungen aus den Bereichen Arbeitssicherheit, Umwelt- und speziell Klimaschutz.

15.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die deutsche Steinkohlenindustrie hat die für 2005 avisierte Zielmarke, die CO_2-Emissionen um 70 % zu mindern, bereits 2001 erreicht (Schaubild 15.3) und den Zielerreichungsgrad bis 2004 stetig verbessert. Die wesentliche Ursache dafür ist die Drosselung der Steinkohlenförderung. Zur Reduktion der Emissionen haben zudem Verbesserungen beim spezifischen Energieverbrauch sowie die Erhöhung des Fremdstrombezugs nach der erfolgten

Stilllegung der Zechenkraftwerke beigetragen – wenngleich nur in den 90er Jahren. 2004 lag der spezifische Energieverbrauch höher als 1999.

Schaubild 15.3
Zielerreichungsgrade in der Steinkohlenindustrie
in %



Eigene Berechnungen.

Weitere Steigerungen der Energieeffizienz stoßen laut Aussage des Verbandes inzwischen an technisch-physikalische Grenzen (GVSt 2005: 12). Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass weitere Energieeinsparungen teilweise durch gegenläufige Einflussfaktoren wie zunehmende Abbautiefe und damit einhergehend steigenden Temperaturen zunichte gemacht werden (GVSt 2005: 3).

Grundlage des für 2012 ausgesprochenen CO_2-Minderungsziels von 75 % gegenüber 1990 war ein Fördervolumen von 20 bis 22 Mill. t im Jahr 2012. Im Rahmen der kohlepolitischen Anschlussregelung vom Juli 2003 wurde dagegen eine Steinkohlenförderung von nur noch 16 Mill. t für das Jahr 2012 vereinbart. Diese Vereinbarung hat der Verband in seinem Fortschrittsbericht von 2005 berücksichtigt, indem er nunmehr bis 2012 eine CO_2-Reduktion von gar 80 % gegenüber dem Basisjahr 1990 für möglich hält. Unter dieser Annahme läge die avisierte Höhe der CO_2-Emissionen im Jahr 2012 bei 1,84 anstatt bei 2,30 Mill. t. Würde entsprechend dem Eckpunktepapier vom 7. Februar 2007 eine Fördermenge von 12 Mill. t realisiert anstatt der im Juli 2003 vereinbarten 16 Mill. t, dürften die CO_2-Emissionen nochmals um weitere rund 400 000 t niedriger liegen.

16. Das Gasfach

Gasfach ist die Sammelbezeichnung für eine Vielzahl heterogener deutscher Wirtschaftszweige, zu denen neben Unternehmen der Gas- und Wassergewinnung auch Betriebe gehören, die die Bereitstellung dieser Rohstoffe in einzelnen Verbrauchsbereichen der Wirtschaft gewährleisten. Daher wird das Gasfach nicht allein durch den Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) repräsentiert, dessen Mitgliedsunternehmen 95 % aller Gasversorgungsunternehmen in Deutschland darstellen. Speziell die Klimaschutzerklärung des deutschen Gasfachs wird von einer ganzen Reihe weiterer Fachverbände mitgetragen. Dies sind im Einzelnen:

- Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE)
- Bundesindustrieverband Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik e.V. (BHKS)
- Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V. (FIGAWA)
- Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs e.V. (DVGW)
- Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V. (HKI)
- Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK).

16.1 Datenbasis

Die Datenbasis für den Nachweis der Klimaschutzerfolge des deutschen Gasfachs bilden Angaben des Statistischen Bundesamtes zu den Wohnflächen von Ein- und Zweifamilienhäusern, des Kraftfahrtbundesamtes zu Emissions-Typprüfwerten von PKW und Nutzfahrzeugen, der EON Ruhrgas sowie des BGW zur Anzahl von Gasturbinen und -motoren in Blockheizkraftwerken (BHKW) und zum Jahresabsatz von Brennwertgeräten. Darüber hinaus sind Angaben anderer Verbände unabdingbar. Beispielsweise liefert der VDEW Daten zur CO_2-Intensität der öffentlichen Stromerzeugung.

Die Zusammenführung dieser Daten und die Berechnung der Auswirkungen der besonderen Anstrengungen des Gasfachs ist komplex, da sie sich aus einer Vielzahl von einzelnen Maßnahmekategorien zusammensetzt. Aus diesem Grund hat das deutsche Gasfach seinem, im Rahmen des Monitoring zu erstellenden Fortschrittsberichts an das RWI eine technische Plausibilitätskontrolle vorgeschaltet. Diese wurde für die Jahre bis 2002 vom Insti-

tut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik an der Universität Duisburg-Essen (Steimle und Schikora (versch. Jahrgänge)) durchgeführt. Für die Jahre ab 2002 wurde die Plausibilitätskontrolle von der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Technische Thermodynamik übernommen (Schmitz 2005).

16.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Der Erdgasverbrauch privater Haushalte hat sich zwischen 1970 und 1990 mehr als verzehnfacht. Lag der Verbrauch 1970 nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen noch bei rund 11 Mrd. kWh, so hatte er 1990 bereits ein Niveau von 155 Mrd. kWh erreicht. Bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch hatte Erdgas 1970 erst einen Anteil von 4,6 %, 1990 waren es bereits 16,3 % (Tabelle 16.1). Die Zunahme des Marktanteils erfolgte vor allem zu Lasten von Heizöl und Festbrennstoffen. Hand in Hand mit dem absoluten Verbrauch an Erdgas entwickelte sich der Pro-Kopf-Verbrauch. Je Einwohner wurden 1970 rund 188 kWh verbraucht, 1990 waren es bereits knapp 2 460 kWh.

Der Endenergieverbrauch an den Naturgasen Erdgas und Erdölgas lag in der Bundesrepublik Deutschland nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen im Jahr 2004 bei rund 656 Mrd. kWh (Tabelle 16.1). Diese Gase hatten damit einen Anteil am Endenergieverbrauch von 25,3 %. Gegenüber 2002, in dem der Verbrauch vor allem temperaturbedingt, auf etwa 636 Mrd. kWh zurückgefallen war, bedeutet das einen deutlichen Anstieg. Der Anteil der Naturgase am gesamten Endenergieverbrauch stieg verglichen mit 2002 um 0,5 Prozentpunkte.

Tabelle 16.1
Endenergieverbrauch an Naturgasen aller Sektoren in Deutschland
1990 bis 2004; in kWh und %

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003*	2004*
Verbrauch, Mrd. kWh	428,1	562,5	611,4	612,5	645,6	636,4	656,9	656,1
Anteil am Endenergieverbrauch in %	16,3	21,7	23,7	23,9	24,6	24,8	25,5	25,3

Nach Angaben der AGEB (2007). –*Vorläufige Angaben, Stand 21.9.2006.

Die Gasversorgungsunternehmen setzten nach Angaben des Verbandes 2004 rund 961,7 Mrd. kWh Erdgas ab. 313,2 Mrd. kWh oder ca. 32,6 % gingen davon in die Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher. In den Gasversorgungsunternehmen waren 2004 circa 34 700 Personen beschäftigt. Die Gasversorgungsunternehmen der Bundesrepublik Deutschland setzten 2004 rund 27 Mrd. € um.

16.3 Die Selbstverpflichtung

In der ursprünglichen Klimaschutzerklärung von 1995/ 1996 hat sich der Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) stellvertretend für das deutsche Gasfach verpflichtet, die spezifischen CO_2-Emissionen zur Raumwärmeerzeugung privater Haushalte und Kleinverbraucher bis 2005 auf 0,23 kg CO_2/kWh Nutzwärme zu senken. 1990 betrugen die spezifischen Emissionen dieses Bereichs in den alten Bundesländern 0,31 kg CO_2/kWh Nutzwärme und 0,56 kg CO_2/kWh in den neuen. Für den gesamten, an das Erdgasnetz angeschlossenen Haushalts- und Kleinverbrauchssektor wurde eine CO_2-Emissionsminderung zwischen 30 und 40 Mill. t CO_2 erwartet. Bis 2001 konnten tatsächlich rund 34,3 Mill. t CO_2 reduziert werden (Schmitz 2005: 17).

Im Hinblick auf die Verpflichtung der Bundesregierung gegenüber dem Kioto-Protokoll hat die deutsche Gaswirtschaft ihre Selbstverpflichtungserklärung im November 2001 erweitert. Es wurden weitere Klimagase wie Methan einbezogen, die Zahl der Bereiche, in denen die Emissionen verringert werden sollen, wurde erweitert und das avisierte Reduktionsvolumen wurde erhöht. Ziel ist nun die Minderung klimarelevanter Gase bis 2012 um rund 45 Mill. t CO_2-Äquivalente pro Jahr (Übersicht 16.1). Dies soll in den Bereichen der Heizwärme- und Warmwasserbereitung privater Haushalte, der Heiz- und Prozesswärme sowie der Warmwasserbereitung im Kleinverbrauch erzielt werden (BGW 2001: 1 ff.). Dazu beitragen soll auch der verstärkte Einsatz von Erdgas im Verkehrssektor und neuerdings der sukzessive Ersatz alter Graugussleitungen in der Erdgasversorgung beispielsweise durch neue Kunststoffrohre.

Übersicht 16.1
Selbstverpflichtung des Gasfachs

Ziele	Minderung klimarelevanter Gase um rund 45 Mill. t Kohlendioxid-Äquivalente pro Jahr bis 2012.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des BGW (2001).

Nach der Klimaschutzerklärung des deutschen Gasfachs vom November 2001 sind im Bereich Heizung und Warmwasserbereitung privater Haushalte folgende Maßnahmen Gegenstand der Minderungsanstrengungen bis 2012 (BGW 2001: 2 ff):

– Modernisierung im Bestand der Erdgasheizungen: Verbesserung des Jahresnutzungsgrades der Heizung und Warmwasserbereitung von 72 % im Jahr 1990 auf mindestens 89 % im Jahr 2012 in den rund 9 Mill. mit Erdgas versorgten Wohnungen.

– Substitution im Altbaubestand: Forcierung des Austausches bestehender Kohle-, Öl- und Stromheizungen durch Gasheizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen in 2,5 Mill. Wohnungen zwischen 1990 und 2012.

– Substitution im Neubau: Vergrößerung des Marktanteils von Erdgas in rund 5 Mill. Neubauwohnungen zwischen 1990 bis 2012.

– Nahwärmeversorgung mit Blockheizkraftwerken (BHKW) und Brennstoffzellen: Zwischen 1990 und 2012 sollen in privaten Haushalten etwa 6 Mrd. kWh der jährlich benötigten Kraft- und Wärmemengen aus BHKW bereitgestellt werden.

Im Bereich Heizung, Warmwasserbereitung und Prozesswärme des Kleinverbrauchssektors verpflichtet sich das Gasfach, die CO_2-Emissionen bis 2012 durch folgende Maßnahmen zu mindern:

– Modernisierung von Erdgasgeräten im Bestand: Bis 2012 soll der Jahresnutzungsgrad von Erdgasgeräten mit einem Gesamtverbrauch von etwa 72 Mrd. kWh von 72 % auf mindestens 85 % erhöht werden.

– Die Substitution von mit Kohle und Heizöl befeuerten Heizungs-, Warmwasserbereitungsanlagen und Anlagen zur Erzeugung von Prozesswärme durch solche, die mit Erdgas betrieben werden, soll in einem Umfang von 68 Mrd. kWh Erdgas stattfinden.

– Nahwärmeversorgung mit Blockheizkraftwerken (BHKW) und Brennstoffzellen: 2012 sollen im Kleinverbrauch ca. 14 Mrd. kWh Nahwärme aus BHWK bereitgestellt werden.

Neben den Maßnahmen im Haushalts- und Kleinverbrauchssektor sollen CO_2-Emissionen durch die Modernisierung von 13 000 km Graugussleitungen zum Transport und zur Verteilung von Erdgas reduziert werden, in dem die Zahl der Leckagen dieser Leitungen vermindert wird. Zusätzlich soll die Nutzung von Erdgasfahrzeugen im Straßenverkehr forciert werden: Bis 2012 soll die Zahl der Erdgasfahrzeuge auf 500 000 anwachsen, die Zahl der Erdgastankstellen auf 1 000. 1990 war diese Technik noch nicht auf dem Markt. Gegenüber konventionellen Kraftstoffen ergibt sich durch den Einsatz von Erdgas in Fahrzeugen eine spezifische CO_2-Emissionsminderung von bis zu 25 %.

16.4 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Gemäß der Plausibilitätskontrolle durch die Technische Universität Hamburg-Harburg haben sich die CO_2-Emissionen durch die Maßnahmen des

deutschen Gasfachs im Jahr 2004 gegenüber 1990 um 39,3 Mill. t reduziert (Tabelle 16.2). Dabei entfallen 0,8 Mill. t auf die Modernisierung der Graugussleitungen und die Warmwasseraufbereitung, 38,5 Mill. t auf die übrigen Maßnahmen.

Tabelle 16.2
CO_2-Emissionsreduktionen im deutschen Gasfach
1990 bis 2004; in Mill. t CO_2

Ziel: – 45 Mill. t CO_2	Effizientere Gasanwendungstechnik, KWK und Brennstoffsubstitution	Ersatz von Graugussleitungen und Warmwasser[1]	Emissionsreduktionen insgesamt
1990	0,0	0,0	0,0
1991	3,9	0,8	4,7
1992	7,0	1,5	8,5
1993	11,5	2,0	13,5
1994	14,5	2,6	17,1
1995	17,6	4,1	21,7
1996	21,7	0,2	21,9
1997	27,9	0,3	28,2
1998	29,3	0,3	29,6
1999	30,3	0,4	30,7
2000	32,7	0,4	33,1
2001	33,8	0,6	34,3
2002	35,7	0,6	36,2
2003	37,0	0,8	37,8
2004	38,5	0,8	39,3

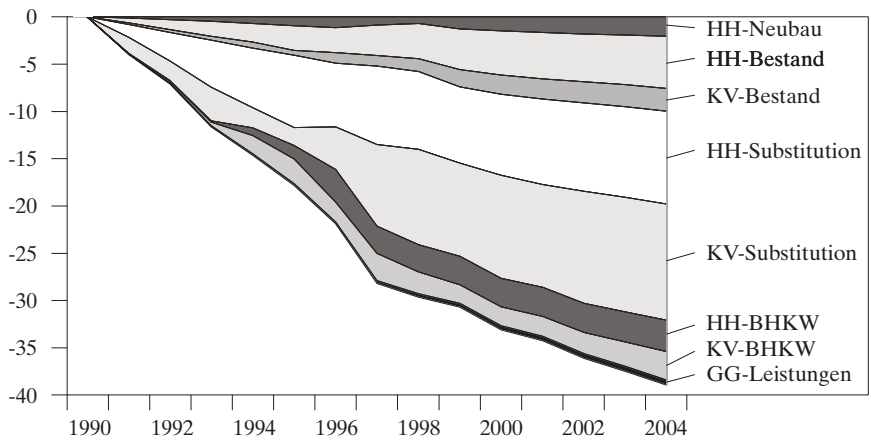
Schmitz (2006: 18). – [1]Von 1996 bis 2000 ausschließlich Minderungen durch den Ersatz von Graugussleitungen.

Die Erneuerung von Graugussleitungen nahm erst in den letzten Jahren für das Monitoring an Bedeutung zu. Die Reduzierung der Methanemissionen, die aus Leckagen veralteter Grauguss-Erdgasleitungen resultieren und durch den Ersatz mit neuen Kunststoffrohren drastisch verringert werden können, wird mit diesem Monitoringbericht zum zweiten Mal berücksichtigt (Schmitz 2006b). Diese Maßnahme konnte früher auf Grund fehlender Daten nicht angerechnet werden. Im Plausibilitätsbericht der TU Hamburg-Harburg für die Jahre 2002/ 2003 wurden rückwirkend bis 1990 die Minderungserfolge im Gasleitungsbereich berechnet und die früheren Emissionsminderungen revidiert (Schmitz 2005). Gemessen in CO_2-Äquivalenten wurden bis 2004 insgesamt 500 000 t durch einen Austausch der Leitungen eingespart, davon in den Jahren 2003 und 2004 jeweils 20 000 t. Positiv zu vermerken ist, dass der BGW bei den Methanemissionen das Treibhausgas-

potenzial von Methan im Vergleich zu CO_2 mit einem konservativen Faktor von 21 anstatt 23 ansetzt (Steimle und Schikora 2003: 14).

CO_2-Emissionsminderungen bei der Warmwasserbereitung waren zwischen 1996 und 2000 praktisch vernachlässigbar. Dies ändert sich in den letzten Jahren zunehmend durch den verstärkten Solarwärmeeinsatz infolge des 2000 eingeführten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). 2004 lagen diese Minderungen, bezogen auf 2000, bei 0,3 Mill. t (Schaubild 16.1).

Schaubild 16.1
Struktur der CO_2-Emissionsminderungen durch verschiedene Maßnahmen des Gasfachs
1990 bis 2004; in Mill. t



Eigene Berechnungen nach Angaben von Schmitz (2006:19).

16.5 Ursachenanalyse

Den größten Beitrag zu den bisherigen CO_2-Emissionsminderungen leistete der Sektor Haushalte (HH), der 2004 laut Plausibilitätskontrolle mit einem Anteil von 52,8 % deutlich vor dem Sektor Kleinverbraucher (KV) lag (Schmitz 2006). Dessen Bedeutung ist jedoch im Zeitablauf gestiegen. Gegenüber 2002 nahm sein Anteil noch einmal um 0,9 Prozentpunkte auf 45,2 % zu. Die Modernisierung der Graugussleitungen machte wie in den Jahren zuvor lediglich 1,4 % der CO_2-Minderungen des Gasfachs aus. Der Anteil Warmwasserbereitung lag bei 0,7 %. Der Beitrag des Verkehrsektors zu den Klimaschutzanstrengungen des Gasfachs ist hingegen weiterhin verschwindend gering. Gegenüber 2003 sind die Anteile der einzelnen Maßnahmen im Haushalts- und Kleinverbrauchssektor 2004 konstant geblieben (Schmitz 2005).

2004 lieferte die Substitution von Kohle-, Öl- und Stromanlagen zur Heizwärme- und Warmwasserbereitung im Haushaltsbereich den größten Anteil der CO_2-Emissionsminderungen (25 %), gefolgt von der Modernisierung von Gasheizungen im Bestand (14 %), der Förderung von BHKW (8,5 %) und der Vergrößerung der Marktanteile von Erdgas im Neubaubereich (5,3 %) (Schaubild 16.1). Im Sektor der Kleinverbraucher war die wichtigste Maßnahme die Energieträgersubstitution (31,3 %), gefolgt von der Förderung von BHKW (7,7 %) und der Modernisierung im Bestand (6,3 %). Dabei haben die Haushalte im Bereich der Nutzung von Blockheizkraftwerken im Jahr 2004 55 % des Zielwertes des Jahres 2012 von 6 Mrd. kWh erreicht, im Sektor Kleinverbrauch bereits 71 % der avisierten 14 Mrd. kWh (Eigene Berechnungen nach Schmitz 2006a).

Zentraler Bestimmungsfaktor für die Entwicklung des Marktanteils von Erdgas ist die Zahl der Fertigstellungen von Wohngebäuden und Wohnungen. Seit 2000 ist der Neubau von Gebäuden in Deutschland wegen steigender Leerstände von Mietwohnungen deutlich rückläufig. Die Zahl der Fertigstellungen gasbeheizter Wohnungen ging zwischen 1995 und 2002 kontinuierlich fast auf die Hälfte zurück. 2003 sank sie um weitere 10 000. Im Jahr 2004 stieg die Zahl der Wohnungen wieder an auf 187 754 (Tabelle 16.3).

Tabelle 16.3
Fertigstellungen gasbeheizter Wohnungen
1995 bis 2004

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Einfamilienhaus	42 258	130 852	131 251	108 373	100 287	100 499	110 676
Zweifamilienhaus	26 684	39 052	35 448	28 122	25 506	23 510	23 753
Mehrfamilienhaus	236 467	129 913	104 691	76 223	61 805	54 354	53 249
Insgesamt	373 419	303 938	273 143	213 284	188 308	178 745	187 757

Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 1 (versch. Jahrgänge).

Damit stieg der Anteil gasbeheizter Neubauwohnungen, der 2002 erstmals seit 1997 wieder leicht gesunken war, 2003 und 2004 deutlich an, bis auf 75,8 % im Jahr 2004 (Tabelle 16.4). Bei Nichtwohngebäuden ist seit 2002 ein leicht sinkender Trend der gasbeheizten Gebäude zu erkennen, auf 66,5 % im Jahr 2004. Mit einem Anteil an den gesamten Gebäuden im Jahr 2004 von gut 7 % spielten sie jedoch eine geringe Rolle.

Mit Hilfe des sukzessiven Ersatzes (Rehabilitation) alter Graugussleitungen durch neue PE-HD Kunststoffrohre mit sehr niedrigen spezifischen Methanleckagen von 49 m³/km konnten die Treibhausgasemissionen bis 2004 um 0,5 Mill. t CO_2-Äquivalente gegenüber 1990 gesenkt werden (Schaubild 16.1). Zum Vergleich: Die spezifischen Methanleckagen der alten

Graugussleitungen betrugen 1997 in den alten Bundesländern 1 166 m³/km bzw. 8 396 m³/km in den neuen Bundesländern. 2004 waren von den 13 000 km Erdgasleitungen fast 11 000 km bzw. knapp 85 % modernisiert.

Tabelle 16.4
Anteile gasbeheizter Neubauwohnungen und Nichtwohngebäude
1995 bis 2004; in %

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Einfamilienhaus	31,7	73,3	74,3	75,2	74,2	76,2	76,8
Zweifamilienhaus	38,5	66,3	66,9	68,3	67,8	70,5	69,5
Mehrfamilienhaus	83,8	77,6	76,7	76,5	77,5	77,3	76,8
Neubauwohnungen insg.	75,5	74,0	74,1	74,6	74,2	75,7	75,8
Nichtwohngebäude	64,3	64,9	65,2	67,7	66,9	67,2	66,5

Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 1 (versch. Jahrgänge).

Bei erdgasbetriebenen Fahrzeugen stieg die Zahl der Neuzulassungen sowohl im Personenkraftwagenbereich als auch im Nutzfahrzeugsektor an. Die Bestände an erdgasbetriebenen einschließlich der bivalenten Kraftfahrzeuge stiegen von 14 420 am 1. Januar 2003 auf 38 518 zu Beginn des Jahres 2006 an. Bivalent bedeutet, dass solche Fahrzeuge sowohl mit Benzin als auch mit Erdgas betrieben werden können. Insgesamt blieben die Bestände jedoch noch deutlich hinter den Erwartungen zurück. Zur Erreichung des für 2012 avisierten Ziels von 500 000 Fahrzeugen wäre eine jährliche Steigerung des erdgasbetriebenen PKW-Bestandes von 53 % notwendig. Die Differenzen zu Zahlen der im Monitoringbericht 2000-2002 angegebenen erdgasbetriebenen Fahrzeuge sind auf die Minderung um die flüssiggasbetriebenen Fahrzeuge zurückzuführen. Diese werden erst seit dem Jahresbericht des Kraftfahrzeugbundesamtes von 2006 getrennt ausgewiesen und wurden vom BGW im Plausibilitätsbericht 2004/ 2005 rückwirkend ermittelt (Schmitz 2006a).

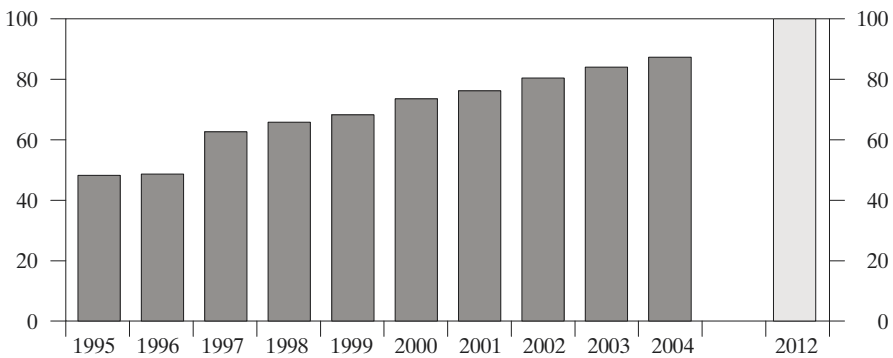
16.6 Zusammenfassung und Bewertung

Das deutsche Gasfach versucht, die CO_2-Emissionen mittels einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen in unterschiedlichen Endenergieverbrauchssektoren zu reduzieren. Dazu gehört der verstärkte Einsatz von Erdgas im Verkehrssektor und neuerdings der Austausch alter Graugussleitungen in der Erdgasversorgung gegen Kunststoffrohre. Der Beitrag des Verkehrsektors zu den Klimaschutzanstrengungen des Gasfachs liegt derzeit allerdings noch bei nahezu Null und der Ersatz alter Graugussleitungen macht bislang lediglich 1,4 % der CO_2-Minderungen des Gasfachs aus.

Die weitaus größten CO_2-Minderungserfolge wurden bei der Heizwärmeerzeugung privater Haushalte sowie der Heiz- und Prozesswärmeproduktion

im Sektor Kleinverbraucher erzielt. Dadurch konnte das für 2012 ausgegebene Ziel, die Treibhausgasemissionen um 45 Mill. t CO_2-Äquivalente gegenüber 1990 zu verringern, im Jahr 2004 zu rund 87,3 % verwirklicht werden. Für 2004 wird eine Reduzierung der CO_2-Emissionen um 39,3 Mill. t gegenüber 1990 nachgewiesen (Schaubild 16.2).

Schaubild 16.2
Zielerreichungsgrade des Gasfachs
1990 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen nach Angaben von Schmitz (2006:18).

Für die einzelnen Minderungsmaßnahmen enthält der Plausibilitätsbericht der TU Hamburg-Harburg Nachweise über die Entwicklung der einzelnen Bestimmungsgrößen (Schmitz 2006b):

– installierte KWK-Leistung von Gasturbinen und Gasmotoren,

– mittels KWK bereitgestellte Heizwärme sowie

– spezifische Methanemissionen der Erdgasleitungen in den alten und neuen Bundesländern und die kumulierte Länge der sanierten Erdgasleitungen in Deutschland,

– Neuzulassungen und Bestand von Erdgasfahrzeugen.

Die Entwicklung der durch das Gasfach mittelbar oder unmittelbar beeinflussbaren Größen wird dadurch transparent gemacht. Anstatt einer zusammenfassenden Tabelle am Ende des Plausibilitätsberichts wäre allerdings die zusätzliche Darstellung der CO_2-Emissionsminderungen der einzelnen Maßnahmen am Ende der jeweiligen Abschnitte des Berichts wünschenswert gewesen. Dies würde die jeweiligen Beiträge der Einzelmaßnahmen zur Emissionsminderung weitaus deutlicher herausstellen.

Vermutlich werden sich die Beiträge der einzelnen Maßnahmen zu den Treibhausgasminderungen im deutschen Gasfach bis 2012 auch weiterhin nicht deutlich ändern. Daher ist anzunehmen, dass sich bis dahin die größten Minderungserfolge durch die Substitution von kohlenstoffreichen Energieträgern durch Erdgas im Haushalts- und Kleinverbrauchssektor einstellen werden. Es ist insbesondere fraglich, ob das Ziel, die Zahl der Erdgasfahrzeuge bis 2012 auf 500 000 zu erhöhen, erreicht werden kann. Zu Beginn des Jahres 2003 waren lediglich 14 420 Erdgasfahrzeuge, einschließlich der bivalenten Fahrzeuge in Deutschland angemeldet, darunter 10 927 im PKW-Bereich und 3 493 im Nutzfahrzeugsektor (Schmitz 2006a). Am 1. Januar 2006 belief sich die Zahl der Erdgasfahrzeuge auf 30 554 PKW und 7 964 NKW und damit insgesamt 38 518 (KBA 2006, Tabelle 9,15,20). Gegenüber 2003 bedeutet das einen Anstieg von gut 150 %.

17. Die Mineralölwirtschaft

Die Tätigkeitsfelder der deutschen Mineralölwirtschaft umfassen die Förderung und den Import von Rohöl wie auch dessen Verarbeitung und den Absatz der daraus hergestellten Produkte. Die wichtigsten Mineralölprodukte sind Diesel- und Ottokraftstoffe sowie leichtes Heizöl. Deren Anteile an der gesamten Bruttoraffinerieerzeugung betrugen 2004 jeweils 20,5 %, 26,7 % und 14,4 % (MWV 2004b).

Aufgrund der geringen inländischen Förderung, die 2005 rund 3,5 Mill. t Rohöl ausmachte, müssen nach Angaben des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV 2007b) etwa 97 % des Rohölbedarfs importiert werden. Dies entsprach Importen in Höhe von rund 111 Mill. t. Damit ist Deutschland nach den USA, Japan und China der viertgrößte Ölimporteur der Welt (EIA 2007).

An der Rolle des Importeurs wird sich auch in Zukunft nichts ändern, da Deutschland über Ölreserven von lediglich etwa 40 Mill. t (MWV 2007a: 69) verfügt – immerhin jedoch die fünftgrößte Menge an Reserven in Europa. Nur Norwegen, Großbritannien, Dänemark und Italien haben größere Reserven aufzuweisen. Mit einer Raffineriekapazität von 115,5 Mill. t lag Deutschland 2004 weltweit an siebter Stelle (MWV 2007a: 76).

17.1 Datenbasis

Die Basis für den vorliegenden Monitoringbericht bilden der dritte und vierte Fortschrittsbericht zur Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien (MWV 2004b und 2007b) und der sechste Fortschrittsbericht für den Wärmemarkt (MWV 2004b). Der sich auf die Raffinerien beziehende Fortschrittsbericht beruht auf unternehmensinternen Daten und Angaben der Mineralöl verarbeitenden Industrie. Daten zur Bruttoraffinerieerzeugung, zum Rohöleinsatz und zum Mineralölverbrauch sind im Jahresbericht Mineralöl-Zahlen 2006 des Mineralölwirtschaftsverbandes zu finden (MWV 2007a).

Dem Fortschrittsbericht für den Wärmemarkt liegen Daten des Schornsteinfegerhandwerks zur Anzahl und Altersklassifikation von Ölheizungsanlagen zu Grunde sowie Daten des Bundesverbandes Solarindustrie e.V. (BSi-Statistik Solarthermie), der Statistischen Landesämter zur Bautätigkeit und eine Anlagenbaubefragung. Auf Basis dieser Daten wurde vom Institut für wirtschaftliche Oelheizung (IWO) der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad für Ölheizungsanlagen als Indikator für die durchschnittliche technische Effizienz dieser Anlagen ermittelt. Dieser gilt im Rahmen der

Selbstverpflichtung Wärmemarkt gleichzeitig als Indikator für Erfolge bei der CO_2-Reduktion.

Bei der Berechnung wurden für die verschiedenen Baujahresklassen der Ölkessel realistische Durchschnittswerte für deren Nutzungsgrade angenommen: 63,1 % für Kessel bis 1978, 70,6 % bis 1982, 78,9 % bis 1988, 89,3 % ab 1988 und 96,6 % für Brennwertkessel. Diese Nutzungsgrade ergeben sich als gewogenes Mittel der jeweiligen Nutzungsgrade für Heizung und Warmwasser. Für die Kombination von Ölheizkesseln mit Solaranlagen wurde der Anteil für Warmwasser um den Beitrag der Solaranlage korrigiert.

Zur Berechnung der Einsparung an CO_2-Emissionen durch den Ersatz alter Heizöl- und Kohleheizkessel durch neue Heizölkessel wurde ein bestimmter Bestand an Kohleheizkesseln mit einem Jahresnutzungsgrad von 44,3 % unterstellt. Die Ermittlung der Höhe des für das Jahr 2012 zu erreichenden Ziels der Selbstverpflichtung basiert auf einer Prognose der Struktur des Heizungsanlagenbestandes. Hierbei wurden Annahmen darüber getroffen, in welchem Umfang moderne ölbefeuerte Anlagen mit hohem Nutzungsgrad zum Bestand hinzukommen und alte Anlagen mit niedrigem Nutzungsgrad allmählich aus dem Bestand ausscheiden.

Die Grundlage für die Klimaschutzerklärung des Mineralölwirtschaftsverbandes für die Raffinerien bildet eine Studie über die Minderungspotenziale bei Treibhausgasemissionen in deutschen Raffinerien, die von der DGMK, der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. angefertigt wurde. Die darin aufgeführten Daten umfassen auch die mit Braunkohle betriebenen Raffinerien, welche 1990 in Ostdeutschland noch von erheblicher Bedeutung waren. Die Studie beschränkte sich auf Kohlendioxid (CO_2), da Raffinerien fast ausschließlich Treibhausgase dieser Art ausstoßen.

Zur Ermittlung der CO_2-Emissionen im Raffineriebereich werden jährliche Einzelerhebungen unter den Raffinerien durchgeführt, um insbesondere deren Nettofremdstrombezug und die Dichte des als Brennstoff eingesetzten Raffineriegases abzufragen. Diese kann von Raffinerie zu Raffinerie erheblich schwanken. Da der MWV die Menge an eingesetztem Raffineriegas nur in Tonnen erhebt, wird die Dichte benötigt, um diese Mengenangaben in Kubikmeter umzurechen. Auf dieser Basis können dann die mit dem Raffineriegaseinsatz verbundenen CO_2-Emissionen berechnet werden. Der Verbrauch der Raffinerien an Energieträgern wie Petrolkoks, schwerem und leichtem Heizöl, Flüssiggas und Raffineriegas wird aus den dem MWV gemeldeten Daten ermittelt. Aus dem Gesamtbrennstoffeinsatz, welcher sich aus dem Verbrauch dieser Energieträger und dem Nettofremdstrombezug zusammensetzt, werden die Emissionen mit den für das Monitoring

vereinbarten CO_2-Emissionsfaktoren errechnet und auf die Bruttoraffinerieerzeugung (inkl. Eigenverbrauch) bezogen. Für den Nettofremdstrombezug wird allerdings ein von dem für das Monitoring vereinbarten CO_2-Emissionsfaktor abweichender Wert von 0,55 anstatt 0,67 t CO_2/MWh angenommen. Das bedeutet bei einem Anteil von gut 10 % Nettofremdstrombezug am gesamten Energiemix knapp 2 % niedrigere absolute und spezifische Emissionen als beim höheren CO_2-Faktor. Dieser geringe Unterschied ist jedoch unerheblich für die Minderungszusage im Raffineriebereich.

17.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Im Bereich der Mineralölverarbeitung waren 2004 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes rund 18 900 Personen beschäftigt und wurde ein Umsatz von 78,7 Mrd. € erzielt. Dabei wurden in den deutschen Raffinerien knapp 111,7 Mill. t Rohöl und 10,7 Mill. t Mineralölprodukte für die Bruttoraffinerieerzeugung eingesetzt (Tabelle 17.1).

Tabelle 17.1
Entwicklung des Einsatzes an Rohöl und Mineralölprodukten der deutschen Raffinerien
1990 bis 2004, in Mill. t; gerundete Werte

Jahr	Anteil Rohölimporte in %	Rohöl	Mineralölprodukte	Insgesamt
1990	96,0	91,6	15,8	107,3
1991	96,3	92,3	13,1	105,4
1992	96,8	100,8	12,2	113,0
1993	97,0	102,7	14,5	117,2
1994	97,3	107,9	13,0	120,8
1995	97,1	103,1	12,6	115,7
1996	97,3	104,4	12,6	117,0
1997	97,2	101,5	11,2	112,7
1998	97,4	108,4	10,4	118,8
1999	97,4	106,4	10,4	116,8
2000	97,1	106,8	11,2	118,0
2001	96,9	106,5	9,7	116,2
2002	96,7	106,8	9,2	116,0
2003	96,9	109,1	9,0	118,1
2004	97,0	111,7	10,7	122,5

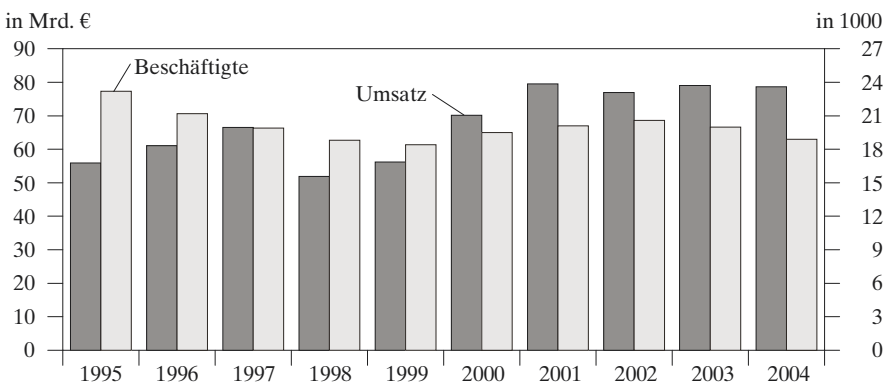
Nach Angaben des MWV (2007b).

Nach einem Anstieg von 10,7 % zwischen 1990 und 1998 blieb der Einsatz an Rohöl und Mineralölprodukten in der Raffinerieproduktion in den Jahren danach mit 116 bis 118 Mill. t relativ konstant. Von 2003 bis 2004 nahm er wieder auf 122,5 Mill. t zu (Tabelle 17.1). Der Anteil des im Inland geför-

derten Rohöls ist in den neunziger Jahren von 4 % auf 2,6 % zurückgegangen und stabilisierte sich danach bei etwa 3 %.

Im Gegensatz zur Raffinerieproduktion nahm der Inlandsabsatz an Mineralölprodukten nach Angaben des MWV in den neunziger Jahren nur um 7,7 % zu und ging bis 2004 kontinuierlich um 9,5 % auf 119,7 Mill. t zurück. Die inländischen Absatzverluste der letzten Jahre konnten durch einen deutlichen Anstieg bei den Exporten überkompensiert werden. Insgesamt war in dieser Branche zwischen 1995 und 2004 ein jahresdurchschnittlicher Umsatzanstieg von knapp 4 % zu verzeichnen (Schaubild 17.1). Gleichzeitig verringerte sich die Zahl der Beschäftigten um jahresdurchschnittlich 2,3 % auf ca. 18 900.

Schaubild 17.1
Beschäftigte und Umsatz in der Mineralölwirtschaft
1995 bis 2004



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.

Der Anteil leichten Heizöls am Endenergieverbrauch lag 2004 bei 11,1 %. Ein Verbrauch von 35,2 Mill. t SKE bedeutet gegenüber 2002 einen Rückgang um 4,6 Mill. t SKE (Tabelle 17.2). Damit sank der Anteil des leichten Heizöls am Endenergieverbrauch um 1,5 Prozentpunkte. Gegenüber 1996, dem Jahr mit dem höchsten Absatz seit 1990, bedeutet dies einen Rückgang um 18,9 Mill. t SKE bzw. einen um 5,3 Prozentpunkte geringeren Anteil am Endenergieverbrauch.

Der Verbrauch an leichtem Heizöl ist in Deutschland bereits seit 1980 rückläufig (MWV 2007b: 51). Mit 31,8 Mill. t sank er im Jahr 1990 wieder deutlich unter den Wert von 1970. Damals betrug der Heizölverbrauch 44,0 Mill. t und stieg bis Ende der siebziger Jahre trotz Ölpreiskrisen deutlich an: 1978 und 1979 waren die Jahre mit dem höchsten Heizölabsatz von jeweils rund 50,5 Mill. t.

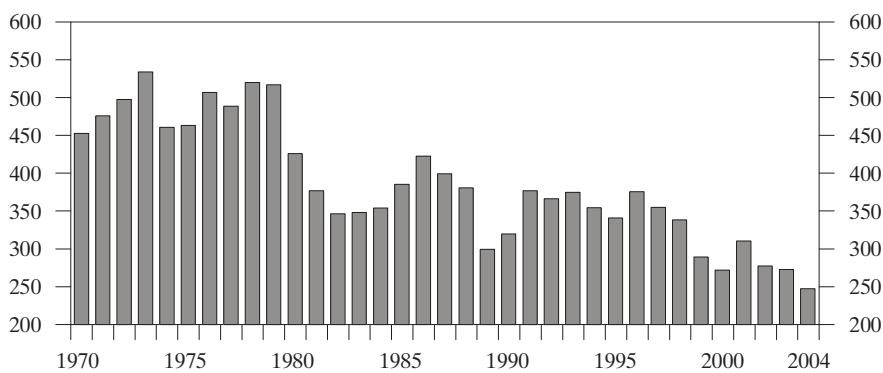
Tabelle 17.2
Verbrauch an leichtem Heizöl und Anteil am Endenergieverbrauch in Deutschland
1990 bis 2004; in Mill. t SKE und %

	1990	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2003*	2004*
Leichtes Heizöl, Mill. t SKE	42,8	49,0	54,1	41,8	39,2	45,0	39,8	38,9	35,2
Anteil, %	13,2	15,4	16,4	13,2	12,4	13,9	12,6	12,3	11,1

Nach Angaben der AGEB (Stand 21.9.2006). * Vorläufige Angaben.

Der spezifische Heizölverbrauch pro Kopf weist seit Beginn der achtziger Jahre ebenfalls eine fallende Tendenz auf (Schaubild 17.2). In den siebziger Jahren war der Pro-Kopf-Verbrauch an leichtem Heizöl noch mit Ausnahme von 1974 und 1975, den beiden Jahr nach der ersten Ölpreiskrise, nahezu unaufhörlich angestiegen. Lag der Pro-Kopf-Verbrauch Ende der siebziger Jahre in Deutschland noch bei etwa 520 Liter, so sank er in der ersten Hälfte der neunziger Jahre auf ein Niveau von durchschnittlich 360 Liter und erreichte 2004 schließlich einen Wert von 247 Liter.

Schaubild 17.2
Pro-Kopf Verbrauch an leichtem Heizöl
1970 bis 2004; in Liter je Einwohner



Eigene Berechnungen nach Angaben des MWV und des Statistischen Bundesamtes.

17.3 Die Selbstverpflichtung

Die deutsche Mineralölwirtschaft hat zwei Selbstverpflichtungserklärungen abgegeben: Zum einen die Verpflichtung zur Verringerung der Treibhausgasemissionen im Wärmemarkt, die sich ausschließlich auf leichtes Heizöl bezieht und vom Mineralölwirtschaftsverband (MWV), dem Gesamtverband des Deutschen Brennstoff- und Mineralölhandels (gdbm) und dem Außenhandelsverband für Mineralöl und Energie (AFM + E) sowie dem

Institut für wirtschaftliche Oelheizung (IWO) getragen wird. Zum anderen die die Raffinerien betreffende Erklärung zur Minderung der Treibhausgasemissionen, die allein durch den MWV ausgesprochen wurde (Übersicht 17.1). Der MWV deckte 2004 über 90 % der Unternehmen der mineralölverarbeitenden Industrie ab.

Übersicht 17.1
Selbstverpflichtungen der deutschen Mineralölwirtschaft

Ziele	1. Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades der Ölheizungsanlagen im Raumwärmemarkt bis 2012 um 27 bis 30 % gegenüber 1990. Bis 2005 wird bereits eine Verbesserung um 23 bis 25 % gegenüber 1990 angestrebt.
	2. Reduzierung der spezifischen CO_2-Emissionen der Raffinerien bis 2012 um 10 % gegenüber 1990.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des MWV (2003a und 2003b).

Ziel der Selbstverpflichtung der im September 2001 abgegebenen zweiten Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölwirtschaft für den Wärmemarkt ist die Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades von Ölheizungsanlagen bis 2012 um 27 bis 30 % gegenüber 1990. Mit der Steigerung des Jahresnutzungsgrades ist eine Minderung des spezifischen Heizölverbrauchs und der damit zusammenhängenden Treibhausgasemissionen verbunden. Bis 2005 wird bereits eine Verbesserung um 23 bis 25 % angestrebt.

Diese Ziele sollen erreicht werden, indem – ausgehend von einem durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad von Ölheizungsanlagen von 68 % im Jahr 1990 – die Nutzungsgrade auf 84 bis 85 % im Jahr 2005 und 86 bis 88 % im Jahr 2012 gesteigert werden. Die Selbstverpflichtung umfasst Ölheizungsanlagen aus Haushalten, dem Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie den öffentlichen Einrichtungen.

Beim Jahresnutzungsgrad handelt es sich um ein Maß für die technische Effizienz einer Heizungsanlage. Er gibt an, wie viel Nutzenergie im Jahresdurchschnitt aus einer eingesetzten Energieeinheit gewonnen wird (MWV 2001: 3). Der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad ergibt sich aus der durchschnittlichen technischen Effizienz aller in Betrieb befindlichen Ölheizungsanlagen.

Mit der Selbstverpflichtung des Jahres 2001 hat die deutsche Mineralölwirtschaft gleichzeitig gegenüber der Erklärung von 1996 die Bezugsgröße gewechselt. Diese basierte auf der Bezugsgröße Heizölverbrauch pro Wohn- und Nutzfläche. Der Abhängigkeit der früheren Verpflichtung der Mineralölwirtschaft von den von ihr nicht beeinflussbaren Variablen Wohnungsgrößen und Gebäudeisolierung konnte man sich dadurch entledigen.

Die neue Zielgröße konzentriert sich damit auf die von der Mineralölwirtschaft zu beeinflussenden Faktoren: die technische Weiterentwicklung von Ölheizungen und deren Verbreitung bei den Verbrauchern (MWV 2001: 3).

Bei der Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien, welche der Mineralölwirtschaftsverband im September 2001 abgegeben hat, wird angestrebt, die spezifischen Treibhausgasemissionen der Raffinerien bis 2012 um 10 % gegenüber 1990 zu verringern. Es wird erwartet, dass die absoluten Treibhausgasemissionen im gleichen Zeitraum konstant gehalten werden können, während der Raffinerieeinsatz um 13 % zunimmt.

In diese Zielsetzungen sind sowohl künftige Energiesparmaßnahmen der Raffinerien als auch die Auswirkungen der konkreten gesetzlichen Vorhaben bis 2012 bezüglich Produktqualitäten und Umweltschutz eingeflossen, etwa bezüglich des Schwefelgehalts von Kraftstoffen.

17.4 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Bis 2004 hat sich der Jahresnutzungsgrad von Ölheizungen im Raumwärmemarkt bereits auf 84 % erhöht (Tabelle 17.3). Dies entspricht einer Verbesserung von 23 % und somit genau der Mindestvorgabe für 2005.

Tabelle 17.3
Fortschritte der Mineralölwirtschaft bei der Selbstverpflichtung für den Wärmemarkt
1990 bis 2004; Mindestziel bis 2005: Verbesserung des Jahresnutzungsgrades um 23 %

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nutzungsgrad in %	68,3	74,7	79,0	80,3	81,5	82,3	83,1	84,0
Verbesserung in %	-	9,4	15,7	17,6	19,3	20,5	21,7	23,0
Zielerreichungsgrad in %	-	41	68	77	84	89	94	100
CO_2-Emissionen, Mill. t	104,5	95,5	90,3	88,8	87,6	86,7	85,9	85,0
Emissionsminderung in %	-	8,6	13,6	15,0	16,2	17,0	17,8	18,7

Nach Angaben des MWV (2007b).

Die CO_2-Emissionen verminderten sich bis 2004 um 19,5 Mill. t gegenüber dem Basisjahr 1990. Dies entspricht einer Emissionsreduktion von 18,7 %. Ein separater Ausweis des Anteils der KWK-Ölheizungsanlagen im Raumwärmemarkt ist nach Angaben der Mineralölwirtschaft zurzeit noch nicht möglich. Eine einfache Abschätzung mit Hilfe der Mineralölsteuerstatistik würde zu große Unsicherheiten aufweisen.

Ziel der Klimaschutzverpflichtung der Mineralölindustrie für die Raffinerien ist die Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen je Tonne Bruttoraffinerieerzeugung bis 2012 um 10 % gegenüber 1990. Dies bedeutet konkret eine Minderung von 215 auf 194 kg CO_2/t Bruttoraffinerieerzeugung.

Derzeit hat die Mineralölindustrie ihre Verpflichtung mehr als erfüllt: Die spezifischen CO_2-Emissionen haben sich gegenüber 1990 um 21,9 % verringert. Dies entspricht einem Zielerreichungsgrad von 219 % (Tabelle 17.4).

Tabelle 17.4
Fortschritte bei der Selbstverpflichtung der deutschen Mineralölwirtschaft für die Raffinerien
1990 bis 2004; Ziel bis 2012: Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen um 10 % auf 194 kg CO_2/t Bruttoraffinerieerzeugung

Jahr	Emissionen, Mill. t CO_2	Bruttoraffinerie-erzeugung, Mill. t	Spezifische Emissionen, kg CO_2/t	Zielerreichungs-grad
1990	22,8	106,0	215	-
2000	20,6	116,0	178	172 %
2001	19,6	114,3	172	200 %
2002	19,2	114,1	168	219 %
2003	20,3	116,2	175	186 %
2004	20,2	120,3	168	219 %

Nach Angaben des MWV (2007b).

Die absoluten CO_2-Emissionen betrugen 2004 rund 20,2 Mill. t. Dies bedeutet eine Emissionsminderung von 3,6 Mill. t gegenüber 1990. Seit 2001 haben sich die spezifischen Emissionen jedoch kaum noch verändert. Die absoluten Emissionen sind aufgrund der höheren Bruttoraffinerieproduktion gegenüber 2002 leicht angestiegen.

17.5 Ursachenanalyse

Für den Bedarf an Heizöl spielt die Entwicklung des Marktanteils des Heizöls bei den Gebäudefertigstellungen eine entscheidende Rolle. Bei einer rückläufigen Zahl an Neubauten ging gleichzeitig der Anteil an ölbeheizten Wohngebäuden und den darin befindlichen Wohnungen zurück (Tabelle 17.5). Die Zahl der neu gebauten ölbeheizten Wohnungen sank zwischen 1995 und 2004 von knapp 112 000 auf etwa 28 000.

Tabelle 17.5
Anteil ölbeheizter Wohnungen bei neu fertig gestellten Wohngebäuden
1995 bis 2004; %

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Einfamilienhaus	31,7	20,2	18,8	16,6	15,3	13,2	12,1
Zweifamilienhaus	38,5	29,8	28,7	26,0	24,3	20,1	18,4
Mehrfamilienhaus	14,8	7,9	7,8	7,1	6,8	6,3	5,7
Insgesamt	22,6	16,4	16,1	14,7	13,9	12,1	11,2

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 5, Reihe 1 (versch. Jahrgänge).

Seit 1999 sank der Anteil der ölbeheizten Wohnungen von 16,4 % auf 11,2 %. Der Verbesserung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades konnte dies indessen keinen Abbruch tun. Dessen Steigerung hat sich in diesem Zeitraum kaum verlangsamt. Verbesserungen sind damit im Wesentlichen auf Modernisierungen im Altbestand zurückzuführen.

Zur Minderung der CO_2-Emissionen von Raffinerien hat nach Angaben der Mineralölwirtschaft neben allgemeinen Effizienzsteigerungen insbesondere die Modernisierung der beiden ostdeutschen Raffinerien in den neunziger Jahren beigetragen. Dabei wurde kohlenstoffreiche Braunkohle durch kohlenstoffärmeres Heizöl und Raffineriegas substituiert. Zwischen 2000 und 2004 fanden demgegenüber keine Änderungen mehr im Brennstoffmix statt. Sowohl spezifischer Energieverbrauch als auch spezifische Emissionen sanken in dieser Zeit um etwa 5,5 %. In diesem relativ geringen Rückgang spiegelt sich nach Angaben des Verband wider, dass seit Ende der neunziger Jahre Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durch Anforderungen an Produktqualitäten immer mehr aufgewogen wurden (MWV 2004b: 4).

Für die kommenden Jahre wird eine Erhöhung des spezifischen Energieverbrauchs und somit der spezifischen CO_2-Emissionen aufgrund von umweltschutzbedingten Investitionen in Nachbehandlungsanlagen sowie der weiteren Verbesserung der Produktqualitäten erwartet. Die ausschließliche Herstellung von schwefelarmen Kraftstoffen seit 2003 ist mit einem höheren Energieeinsatz in den Raffinerien verbunden. Zudem hat die Ausweitung des Angebots schwefelarmen leichten Heizöls zur Förderung der Öl-Brennwerttechnik im Raumwärmemarkt einen Anstieg von Energieeinsatz und Emissionen in den Raffinerien zur Folge (MWV 2007b: 4f).

Andererseits wird das Anfang 2007 in Kraft getretene Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) zu einer zunehmenden Beimischung von Biokomponenten zu den Mineralölprodukten führen. Dadurch kommt es zu einer Senkung der spezifischen Emissionen. Insgesamt hält der Verband die aktuell sehr hohen Zielerreichungsgrade für vorübergehend.

17.6 Ausgewählte Maßnahmen

Der sechste Fortschrittsbericht der Mineralölwirtschaft enthält für die Jahre 2000 bis 2004 eine Aufzählung besonderer Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaschutzerklärung im Wärmemarkt, die im Zusammenhang mit dem Ausbau und der Verfeinerung derjenigen Aktivitäten stehen, die im letzten Monitoringbericht unter dem Begriff „Modernisierungsoffensive“ gebündelt wurden:

- Die Intensivierung der Kooperationskonzepte für Unternehmen aus Mineralölhandel und Heizungsbau zur gezielten Aktivierung des Modernisierungspotenzials alter Ölheizungen.

- Die Forcierung der Aktivitäten zur direkten Verbraucheransprache und Information über die Energieeinsparmöglichkeiten mit moderner Ölheizungstechnik.

- Die enge Kooperation mit der Heizgeräteindustrie zur Klärung der Anforderungen und anwendungstechnischen Fragestellungen an ein schwefelarmes Heizöl zur Förderung der Ölbrennwerttechnik.

Der Fortschrittsbericht nennt für den Zeitraum 2000 bis 2004 eine Reihe von Maßnahmen, bei denen die Mineralölwirtschaft den im Heizölhandel und Heizungsbauhandwerk tätigen Akteuren Unterstützung durch das Institut für wirtschaftliche Oelheizung anbietet:

- Schaffung der heizölspezifischen Voraussetzungen für einen verstärkten Einsatz der Ölbrennwerttechnik im Wärmemarkt (schwefelarmes Heizöl).

- Konsolidierung und Weiterentwicklung der Partnerschaft und Zusammenarbeit zwischen Heizungshandwerk und Mineralölhandel (Schaffung von regionalen Marketing-Gemeinschaften etc.).

- Direkte Verbraucheransprache zur Vereinbarung von Modernisierungsberatungen mit qualifizierten Fachhandwerkern, Verbrauchermessen und Hausmessen von Mineralölhandel und Heizungsbauerhandwerk (z. B. Energieberatungsaktionen).

Darüber hinaus bot die Mineralölwirtschaft Informationen für Verbraucher und die Fachöffentlichkeit in Broschüren, Internetportalen etc. an. Die Zusammenarbeit mit Informationsdiensten wurde verstärkt ebenso wie die bundesweite Verbraucherwerbung.

Spezielle Beispiele zur Verringerung des Energieverbrauchs und der CO_2-Emissionen durch Umbauten und technologische Änderungen in deutschen Raffinerien waren in den Jahren 2003 und 2004 (MWV 2004b und 2007b):

- Optimierung der Wärmenutzung durch apparateseitige Änderung der Wärmetauscherkette z.B. Trennung von Kokerdiesel und Rohöl-Wärmetauscher und jeweils Installation vor und nach den Entsalzern,

- Reduktion des Energiebedarfs durch erhöhte Exothermien durch Zubau von Katalysatorvolumen,

- Optimierung einer Hydrocracker-Anlage in ihrem Prozessverlauf und Umstellung auf Gasfeuerung,
- Neubau einer energiesparenden Dämpfe-Rückgewinnungsanlage an einem Raffineriehafen und im Gegenzug Stilllegung alter Abgasreinigungsanlagen; gleichzeitig Einstellung einer Bitumenblasanlage,
- Optimierung von Ofenwirkungsgraden durch Sauerstoffmanagement.

Zur Sicherstellung der Anlageneffizienz haben ebenfalls beigetragen die regelmäßige Reinigung der Wärmetauscher- und Wärmeerzeugungsanlagen während der turnusmäßigen Raffineriestillstände sowie die Kontrolle der Energieverbrauchswerte und Ermittlung der Abweichungen vom Normalverlauf.

Ein weiteres Beispiel zeigt dagegen einen durch Verbesserungen der Produktqualitäten verursachten Anstieg von Energieverbrauch und CO_2-Emissionen auf. So wurde nach der Inbetriebnahme neuer Wasserstoffanlagen/Hydrofiner im Rahmen des Projektes „Schwefelabsenkung im Otto- und Dieselkraftstoff“ mehr CO_2 als in den Vorjahren emittiert.

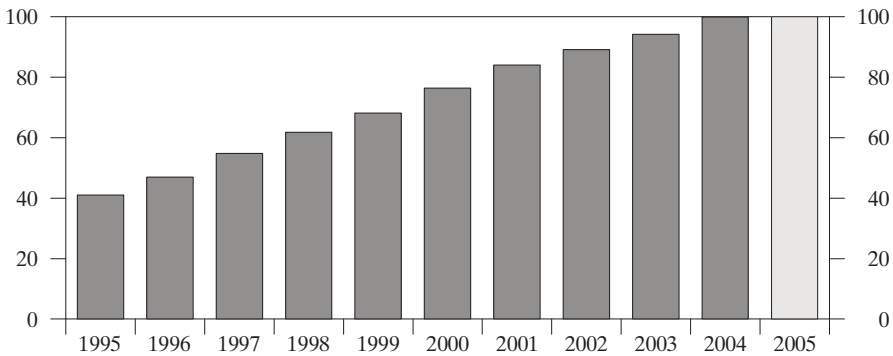
17.7 Zusammenfassung und Bewertung

Im Jahr 2001 hat die deutsche Mineralölwirtschaft die Bezugsgröße ihrer Selbstverpflichtungserklärung für den Raumwärmemarkt gewechselt. Während die frühere Verpflichtung auf die Reduzierung des spezifischen Heizölverbrauchs abzielte, wobei die Wohn- und Nutzfläche die Bezugsgröße bildete, wurde in der neuen Erklärung die Steigerung des Jahresnutzungsgrades von Ölheizungen im Raumwärmemarkt gewählt. Der Abhängigkeit der früheren Verpflichtung der Mineralölwirtschaft von der von ihr nicht beeinflussbaren Entwicklung der Wohnungsgrößen und Gebäudeisolierung konnte man sich dadurch entledigen.

Erklärtes Ziel ist, den durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad bis 2005 um 23 bis 25 % gegenüber 1990 zu verbessern, auf schließlich 84 bis 85 %. 2004 hatte sich der Jahresnutzungsgrad der ölbefeuerten Anlagen bereits um 23 % gegenüber 1990 verbessert, auf 84 %. Damit war die Mindestzielvorgabe im Wärmemarkt erreicht (Schaubild 17.3).

Der Einfluss der ölbefeuerten KWK-Anlagen auf die Erfüllung der Klimaschutzerklärung kann noch nicht separat ausgewiesen werden, ist aber in diesen Zahlen enthalten. Neben der Heizungsmodernisierung durch die Haushalte und Gewerbekunden werden in vielen Fällen weitere Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs durchgeführt.

Schaubild 17.3
Zielerreichungsgrade in der Mineralölwirtschaft für den Wärmemarkt
1995 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen nach Angaben des MWV (2007).

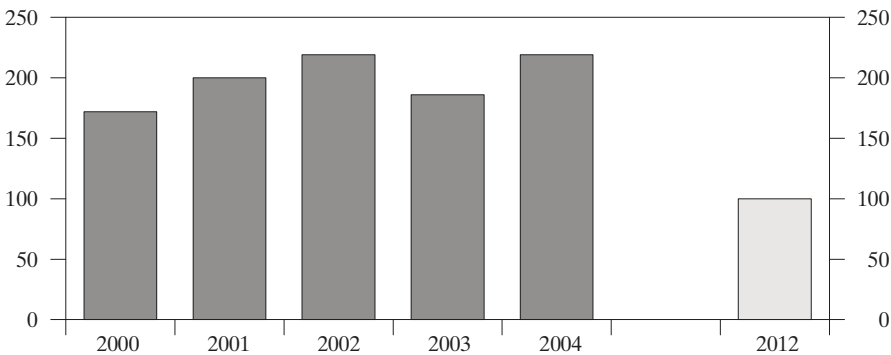
Bis 2012 wird entsprechend der Selbstverpflichtung eine weitere Verbesserung um 27 bis 30 % gegenüber 1990 auf schließlich 86 bis 88 % angestrebt. Hieran gemessen liegt der Zielereichungsgrad 2004 bei 85,2 %. Es ist davon auszugehen, dass es schwieriger werden wird, auch dieses Ziel umzusetzen. Der Jahresnutzungsgrad der Anlagen, die den Bestand verlassen und gegen neue ölbefeuerte Heizungen ausgetauscht werden, steigt im Zeitablauf weiter, insbesondere aufgrund des immer geringer werdenden Bestandes an alten kohlebefeuerten Anlagen. Dadurch sinken in Zukunft die jährlichen Zuwachsraten des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades.

Bei der Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien, welche der Mineralölwirtschaftsverband im September 2001 abgegeben hat, wird angestrebt, die spezifischen Treibhausgasemissionen der Raffinerien bis 2012 um 10 % gegenüber 1990 zu verringern, von 215 kg CO_2 je t Bruttoraffinerieerzeugung auf 194 kg CO_2. Tatsächlich lagen die spezifischen CO_2-Emissionen der Raffinerien in den Jahren 2003 und 2004 bereits bei 175 und 168 kg CO_2 je t Bruttoraffinerieerzeugung. Damit ist die für 2012 avisierte Zielmarke weit übertroffen worden, der Zielerreichungsgrad für das Jahr 2003 liegt bei 186 % und für 2004 bei 219 % (Schaubild 17.4).

Für die Zukunft wird jedoch eine Erhöhung der CO_2-Emissionen aufgrund von Faktoren wie gesetzlichen Anforderungen an die Raffinerieproduktion und die Produktqualitäten erwartet. So ist die ausschließliche Herstellung von schwefelarmen Kraftstoffen seit 2003 mit einem höheren Energieeinsatz in den Raffinerien verbunden. Andere Maßnahmen, etwa die kommende Entschwefelung des leichten Heizöls sowie weitere Anforderungen an die

Spezifikationen der Kraftstoffe im Rahmen des Auto-/Öl-Programms etc., werden die Emissionen künftig wieder steigen lassen. Die sehr hohen Zielerreichungsgrade werden daher eher vorübergehender Natur sein.

Schaubild 17.4
Zielerreichungsgrade in der Mineralölwirtschaft für die Raffinerien
2000 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen nach Angaben des MWV (2007a).

18. Industrielle Kraft-Wärme-Wirtschaft

Die industrielle Kraftwerkswirtschaft wird vertreten durch den VIK, den Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. Dieser arbeitet sektorenübergreifend und nimmt daher unter den am CO_2-Monitoring beteiligten Industrieverbänden eine Sonderstellung ein. Seine Hauptaufgabe sieht der VIK in der Beratung und Vertretung seiner Mitglieder in Fragen der Eigenenergieerzeugung und -nutzung. Nach Angaben des VIK repräsentieren seine Mitgliedsunternehmen zusammen 80 % des industriellen Energieverbrauchs und ca. 90 % der industriellen Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland (VIK 2005a).

Die industrielle Kraft-Wärme-Wirtschaft bildet zusammen mit der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft und der Stromerzeugung der Deutschen Bahn AG die gesamte Elektrizitätsversorgung für Deutschland. Die industriell betriebenen Kraftwerke dienen in erster Linie der Eigenversorgung von Unternehmen mit Strom und Wärme. Nach Angaben des VIK (2007a: 118) waren 2004 in Deutschland rund 10 Gigawatt (GW) an industrieller Kraftwerksleistung zur Stromerzeugung installiert. Dies sind rund 9,5 % der gesamten in Deutschland zur Verfügung stehenden Engpassleistung.

18.1 Datenbasis

Im aktuellen Fortschrittsbericht des VIK finden sich detaillierte Angaben über die gesamte Strom- und Wärmeerzeugung der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe sowie über deren Brennstoffeinsatz in den Jahren 2002 und 2003 (VIK 2005c). Ferner publiziert der VIK regelmäßig die „*Statistik der Energiewirtschaft*“, aus der detaillierte Angaben zum gesamten Stromsektor und insbesondere zur industriellen Stromerzeugung entnommen werden können (hier VIK 2005b und 2007a).

Darüber hinaus sind im Fortschrittsbericht Leistungsdaten über die Strom- und Wärmeerzeugung industrieller Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) für die Jahre 1997, 1999, 2002 und 2003 enthalten. Diese Daten basieren jedoch auf jeweils unterschiedlichen Quellen. Angaben für 1997 wurden vom VIK in einer eigenen Befragung erhoben. Im Rahmen einer gemeinsamen Studie mit dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, wurden die Daten für 1999 erfasst. Die Basis für die Jahre 2002 bis 2003 bildet die Fachserie 4, Reihe 6.4, des Statistischen Bundesamtes (StaBuA/FS4/R6.4). Diese Fachserie war eben-

falls Grundlage für die Aktualisierung der jeweiligen Daten für 2004, die vom RWI vorgenommen wurde.

Der VIK weist in seinem Fortschrittsbericht darauf hin, dass insbesondere das Datenmaterial für 1997 nicht den gesamten Anlagenbestand abbildet, da einerseits nicht alle kontaktierten Firmen an der Befragung teilgenommen haben und andererseits von Energieversorgern betriebene Contractinganlagen nicht mit erfasst wurden. Die Stichprobe für 2000 hat nach Aussage des VIK (2005c: 6) mit 118 Standorten und 298 Anlagen einen hohen Erfassungsgrad erreicht.

18.2 Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Die industriell betriebenen Stromerzeugungsanlagen haben 2004 rund 48,3 Mrd. Kilowattstunden (kWh) produziert, wobei 1 Mrd. kWh einer Terawattstunde (TWh) entsprechen. Dies sind knapp 8 % der gesamten deutschen Bruttostromerzeugung. Nach Abzug des Eigenverbrauchs ergibt sich eine Netto-Erzeugung von gut 44 Mrd. kWh. Rund 51,7 % dieser Menge wurden über KWK-Anlagen erzeugt. Neben Strom wird auch Wärme in den industriellen Kraftwerken produziert. 2004 wurden insgesamt 88 Mrd. kWh Wärme erzeugt, davon etwa 77 Mrd. kWh durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) (StaBuA/FS4/R6.4).

Die industrielle Bruttostromerzeugung ist zwischen 1995 und 2002 deutlich gesunken, um rund 19,7 Mrd. kWh bzw. 29,5 % (VIK 2005b: 92 und 2007a: 125). Der größte Rückgang war bei Kohlekraftwerken zu verzeichnen. Zwischen 1995 und 2002 sank die Stromerzeugung aus Steinkohle um etwa 10,8 Mrd. kWh. Braunkohleverstromung nahm um rund 5,4 Mrd. kWh ab. Demzufolge sanken die Anteile von Stein- und Braunkohle in diesen Jahren um 7,2 Prozentpunkte auf 28,8 % bzw. um 5,4 Prozentpunkte auf 6,6 %. Steinkohle bleibt der wichtigste Primärenergieträger neben Erdgas, das seinen Anteil 2002 um 6 % auf 31,2 % steigern konnte. Zwischen 2002 und 2004 nahm die Bruttostromerzeugung der Industrie insgesamt wieder um 3,2 % zu. Vermehrt eingesetzt wurde hierfür vor allem Steinkohle mit einer Zuwachsrate von 6,7 % sowie Erdgas mit 2,1 %, während die Braunkohleverstromung um 3,2 % zurückging. Der Energiemix veränderte sich dadurch kaum.

Die auf KWK-Basis erzeugte absolute Strommenge lag 2004 bei 22,9 Mrd. kWh und entsprach damit in etwa dem Wert von 2002, nachdem die Menge 2003 vorübergehend auf 23,5 Mrd. kWh angestiegen war. Als Konsequenz sank der Anteil an der gesamten industriellen Stromerzeugung zwischen 2002 und 2004 von 53,5 auf 51,8 %.

Insgesamt zählt der VIK derzeit etwa 360 Unternehmen. 76 davon zählten 2002 zu den 500 größten der Bundesrepublik Deutschland. Die 360 Unternehmen beschäftigten nach Angaben des VIK im Jahr 2002 rund 3,6 Mill. Personen und erwirtschafteten einen Umsatz von rund 896 Mrd. €.

18.3 Die Selbstverpflichtung

Der VIK hat in seiner Selbstverpflichtungserklärung kein quantitatives Klimaschutzziel abgegeben, da Energieverbrauch und Minderungsanstrengungen der Mitgliedsunternehmen des VIK bereits durch die jeweiligen Branchenverbände berücksichtigt werden. Durch dieses Vorgehen werden Doppelzählungen vermieden. Der VIK sieht sich als Querschnittsverband in Bezug auf die Klimaschutzerklärung der deutschen Industrie vornehmlich in einer Katalysatorfunktion für den rationellen und Ressourcen schonenden Energieeinsatz seiner Verbandsmitglieder. Als wesentliche Aufgabe betrachtet er es hierbei, innovative technologische Ansätze in Hinblick auf ihre Anwendungsfähigkeit in unterschiedlichen Branchen zu analysieren und Hinweise für die Praxis zu geben (VIK 2005c:2).

18.4 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Nach Angaben des VIK war im Berichtszeitraum vorrangiges Ziel des Verbandes, die Mitgliedsunternehmen anzuhalten, die KWK-Anlagen trotz des engen Förderspielraums durch das KWK-Gesetz beizubehalten und zu modernisieren(VIK 2005c: 3f). Es gelang seiner Aussage nach, die Anzahl der Stilllegungen deutlich zu reduzieren. In Einzelfällen konnten neue klimaschutzförderliche KWK-Projekte realisiert werden (VIK 2005c: 5). Begleitend dazu wurde im Rahmen der Verbandsarbeit intensiv auf den Gesetzgeber eingewirkt, die Rahmenbedingungen für die industriellen KWK-Aktivitäten zu verbessern. Dies ist jedoch nach Aussage des VIK nur eingeschränkt gelungen.

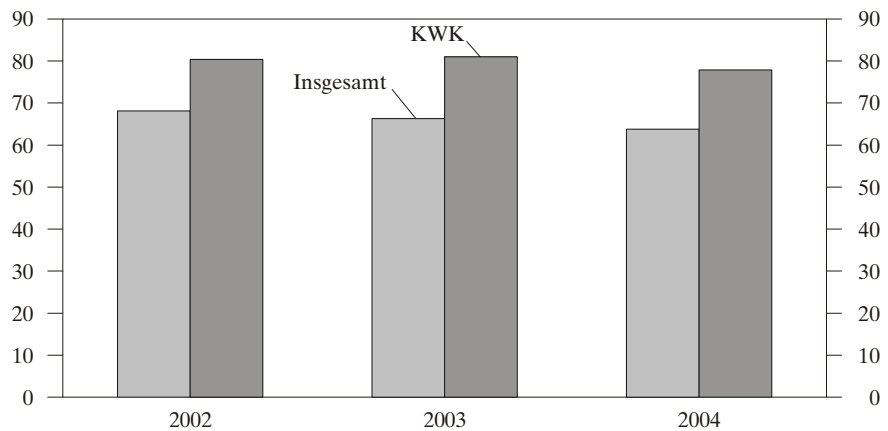
Darüber hinaus ist der VIK auf den verschiedensten Ebenen für den Ausbau von KWK-Anlagen unterstützend tätig gewesen. So hat der Verband etwa durch einen speziellen KWK-Arbeitskreis einen Know-how-Transfer rund um diese Technik organisiert, um technische, ökonomische und rechtliche Fragestellungen zu erörtern (VIK 2005c:7).

Der Beitrag, den KWK zur Klimavorsorge leisten kann, wird aus Schaubild 18.1 deutlich. Der Wirkungsgrad für KWK-Anlagen wird vom Statistischen Bundesamt für 2004 mit 77,9 % angegeben. Er lag damit leicht unterhalb der Werte von 2002 (80,4 %) und 2003 (81 %). Der Wirkungsgrad hat sich somit gegenüber den beiden vorherigen Jahren deutlich verschlechtert, was auf einen ungünstigeren Anlagenmix 2004 schließen lässt. Gleichzeitig

ist eine verbesserte Plausibilitätsprüfung bei der Datenerfassung durch die Unternehmen anzunehmen.

Der Wert übertraf 2004 den berechneten mittleren Wirkungsgrad für den gesamten industriell betriebenen Anlagenbestand um 14 Prozentpunkte. 2002 betrug die Differenz 12 Prozentpunkte und 2003 15 Prozentpunkte. Relativ zum gesamten Anlagenbestand ist die Entwicklung des KWK-Wirkungsgrades damit eher als leicht positiv zu betrachten.

Schaubild 18.1
Wirkungsgrade der industriell betriebenen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen
2002 bis 2004, Wirkungsgrade in %



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 6.4.

2003 erhob der VIK durch eine Mitgliederbefragung die Modernisierungsvorhaben im Rahmen des KWK-Gesetzes. Der VIK beziffert den möglichen Ausbau an KWK-Leistung auf rund 900 MW elektrische Energie insgesamt (Tabelle 18.1; VIK 2005c: 7). Es sind jedoch auch Stilllegungen in Höhe von etwa 300 MW geplant. Es ergibt sich damit ein Zuwachs von knapp 600 MW. Nahezu die Hälfte des Ausbauvolumens entfällt auf eine Anlage bei der BASF in Ludwigshafen. Bemerkenswert ist, dass auch ein marktgetriebener Ausbau erfolgt. Hier kann beispielhaft auf die Zuckerfabrik Jülich (21 MW Braunkohle), die Papierfabrik Stendal (100 MW Erdgas), die Chipfabrik AMD Dresden (23 MW Erdgas Motor-BHKW) und Cordis Walsrode (7 MW) verwiesen werden (VIK 2005c: 7).

Nach Angaben des VIK ist die industrielle Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen seit 1997 zurückgegangen (Tabelle 18.2). Wurden 1997 noch 36,2 Mrd. kWh Strom erzeugt, waren es im Jahr 2002 insgesamt nur noch 23,0 Mrd. kWh. Bis 2004 gelang in etwa eine Stabilisierung auf diesem Ni-

veau. Die Höhe des Rückgangs bezogen auf 1997 kann nur als ungefähre Angabe gelten, da der Wert für die Stromerzeugung von 1997 auf einer Erhebung des VIK beruht, bei der nicht alle Anlagen erfasst werden konnten, andererseits aber auch Anlagen der öffentlichen Versorgung mit erfasst wurden. Ein wichtiger Grund für die geringere Erzeugung war die rückläufige Wärmenachfrage der Industrie. Infolge einer sinkenden Produktionsmenge in der Grundstoffindustrie sank der dortige Wärmebedarf. Zudem konnte durch Maßnahmen der rationellen Energieverwendung der Prozesswärmeeinsatz reduziert werden.

Zwischen 2002 und 2004 ging die Summe der industrielle Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen um 2,4 % zurück, wohingegen die industrielle Strom- und Wärmeerzeugung insgesamt nahezu konstant blieb (Tabelle 18.3).

Tabelle 18.1
Ausgewählte Modernisierungsvorhaben der Industrie im Rahmen des KWK-Gesetzes
Ausbau und Stilllegung an elektrischer Leistung

Unternehmen	Bau/Modernisierung	Stilllegung	Jahr
Freudenberg Service	14 MW	4 MW	2004/2005
Infraserv GmbH	40 MW	-	2004
Roche Vitamine	40 MW	24 MW	2004
MAN Nürnberg	2,1 MW	-	2004
Celanese	31 MW	25 MW	geplant
Thyssen-Krupp	225 MW	132 MW	2003
BASF Ludwigshafen	440 MW	80 MW	2005
DK-Recycling	15 MW	-	Geplant
BWK	5 MW	-	2005
Alcan	5 MW	4 MW	Geplant
Voith	4 MW	-	2004/2005
Eisenhütte/Stahlwerk	50 MW	30 MW	k.A.
Zuckerfabrik Ost	25 MW	-	2005/2006

Nach Angaben des VIK (2005c).

Die Struktur im KWK-Anlagenpark hat sich im Zeitraum 1997 bis 2004 verändert. Der Anteil der Dampfturbinen zur Stromerzeugung lag 1997 noch bei 79 %; er sank bis 2004 zu Gunsten von Gasturbinen auf 55,3 %. Der Anteil der Gasturbinen konnte sich somit von 20 % auf 40 % steigern. Die Bedeutung von Verbrennungsmotoren und sonstigen Anlagen hat ebenfalls zugenommen. Ihr Anteil am KWK-Anlagenpark stieg von 1,4 % im Jahr 1997 auf immerhin 4,7 % 2004 (Tabelle 18.2).

Tabelle 18.2
Industrielle Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen
1997 bis 2004; in Mrd. kWh

	1997 (VIK)	1999 (ISI)	2002	2003	2004
			Stromerzeugung		
Dampfturbinen	28,5	21,7	13,7	13,8	13,0
Gasturbinen	7,2	0,8	8,9	9,3	9,4
Sonstige	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4
Insgesamt	36,2	22,7	23,0	23,5	22,8
			Wärmeerzeugung		
Dampfturbinen	75,6	40,4	62,3	63,7	62,0
Gasturbinen	6,9	3,1	16,9	17,5	14,5
Sonstige	0,5	0,2	0,7	0,7	1,0
Insgesamt	83,0	43,7	79,9	81,9	77,5

Nach Angaben des VIK (2005c: 10) sowie StaBuA.

Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich bei der Wärmeerzeugung. Der Anteil von Dampfturbinen sank zwischen 1997 und 2002 von 91 % auf 78 %, stieg bis 2004 jedoch wieder leicht auf 80,4 % an. Der Anteil der Gasturbinen stieg demgegenüber zwischen 1997 und 2002 von gut 8 % auf 21,2 % (Tabelle 18.2) und sank bis 2004 wieder auf 18,8 %. Wärmeerzeugung durch Verbrennungsmotoren und sonstige Anlagen ist hier vernachlässigbar gering. Grund für den Bedeutungsgewinn der Gasturbinen ist der höhere Wirkungsgrad im gekoppelten Gas-und-Dampf Prozess (GuD), der für neuere Anlagen mit etwa 60 % bei reiner Stromerzeugung angegeben wird. Dieser Wert liegt etwa 12 Prozentpunkte über dem Wirkungsgrad, der für reine Dampfkraftwerke als erreichbar angesehen wird (VGB 2004). Eine Gasturbine als Vorschaltanlage wird somit attraktiver. Jedoch sind auch die Nutzungsmöglichkeiten für die Wärmenutzung aus GuD-Anlagen begrenzt, da dem Wärmeangebot eine entsprechende Nachfrage durch nachgelagerte Anwendungsprozesse gegenüberstehen muss.

Tabelle 18.3
Industrielle Eigenerzeugung von Strom und Wärme, anteilig KWK in GWh
1998 bis 2004; in Mrd. kWh

	1998	2002	2003	2004
Stromerzeugung	52 906	43 009	44 127	44 222
davon KWK-Strom	29 604	22 974	23 513	22 937
Wärmeerzeugung	Keine Daten vorhanden	89 239	89 743	88 098
davon KWK-Wärme	87 000	79 918	81 916	77 431

Nach Angaben des VIK (2007b: 4) und StaBuA/FS4/R6.4.

Der Rückgang der industriellen Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen seit der Jahrhundertwende steht nach Aussagen des VIK im Zu-

sammenhang mit der Strompreisentwicklung für Industriekunden. Sinkende Bezugskosten für Strom bei gleichzeitig steigenden Preisen für Erdgas führten zu einer spürbaren Zurückhaltung beim Betrieb von Anlagen zur Eigenstromerzeugung. Zwischen 1999 und 2002 sank die gesamte industrielle Netto-Stromerzeugung um rund 14 %. Demgegenüber ging die Stromerzeugung aus KWK überproportional um fast 36 % zurück (VIK 2005b: 96). Der VIK führt als Argument für diese Entwicklung eine unangemessene Vergütungsabhängigkeit von den Stromnetzbetreibern sowie Widersprüche in der KWK-Gesetzgebung hinsichtlich der Einspeisevergütung an (VIK 2005c: 4). Zudem ist der hohe Prozentsatz von 36 % zum Teil auch auf Änderungen in der statistischen Erfassung zurückzuführen, infolge derer von der Kategorie „Strom aus KWK-Anlagen“ zu „KWK-Stromerzeugung“ umgestellt wurde (StaBuA 2004). Zwischen 2002 und 2004 ist ein leichter Anstieg der gesamten Nettostromerzeugung um 1,8 % zu verzeichnen bei einem nur noch minimalen Rückgang der Stromerzeugung aus KWK um 0,2 %. Die Schere in den Entwicklungen hat sich damit deutlich geschlossen. Der Rückbau ist zu einem Halt gekommen.

18.5 Zusammenfassung und Bewertung

Aufgrund seiner Sonderstellung als Querschnittsverband hat der VIK keine quantitative Selbstverpflichtung im Rahmen der Klimaschutzvorsorge der deutschen Industrie abgegeben. Dies dient vor dem Hintergrund des Problems erheblicher Doppelzählungen einer widerspruchsfreien Bilanzierung der CO_2-Emissionsminderungen im Industriebereich.

Der VIK hat in der Berichtsperiode 2000 bis 2004 besondere Anstrengungen unternommen, um die Rahmenbedingungen für klimaförderliche KWK-Anlagen zu verbessern. Auch wenn Pläne zum Ausbau der in der Industrie installierten KWK-Kapazität vorliegen, ist dies nach eigenen Angaben nicht zufrieden stellend gelungen (VIK 2005c: 4). Mit dazu beigetragen hat sicherlich, dass die KWK sich in starkem Wettbewerb mit anderen umweltfreundlichen Formen der Energiebereitstellung befindet. Es ist daher positiv zu bewerten, dass die Ausbaupläne angesichts ungünstiger Rahmenbedingungen nicht revidiert wurden.

19. Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft

Deutschland hält innerhalb Europas den national größten Kraftwerkspark vor. Insgesamt war im Jahr 2004 eine inländische Kraftwerksleistung von 113 GW installiert. Davon gehörten allein 105 GW der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft (StaBuA 2005).

Unter dem Begriff der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft werden die nichtindustriellen Stromerzeuger, die Netzbetreiber sowie die Endversorgungsunternehmen für Elektrizität zusammengefasst. Im Strommarkt sind gegenwärtig rund 1 100 Unternehmen aktiv (BMWA 2007). Zusammen mit der industriellen Kraftwerkswirtschaft, der Stromerzeugung der Deutschen Bahn AG und den privaten Erzeugern bildet dieser Sektor die gesamte Elektrizitätsversorgung. Dabei hat die allgemeine Elektrizitätsversorgung die mit Abstand größte Bedeutung. Sie zeichnete im Jahr 2004 für rund 30 % der in Deutschland insgesamt emittierten Menge an treibhausgasrelevantem CO_2 verantwortlich (VDEW 2007, UBA 2007b).

19.1 Datenbasis

Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft wird vertreten durch den Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW), der im Rahmen seiner Fortschrittsberichte Angaben hinsichtlich der *Netto*stromerzeugung von 1991 bis 2004 und der CO_2-Emissionsmenge für 1990 bis 2004 macht (VDEW 2005 und 2007). Der VDEW errechnet aus beiden Datenreihen einen spezifischen CO_2-Emissionswert je netto erzeugter Kilowattstunde Strom. Dieser Wert wird ausgewiesen, einmal bezogen auf den gesamten Energiemix – einschließlich Kernenergie und regenerative Energien – zum andern allein für fossile Brennstoffe.

Zur Ermittlung der Nettostromerzeugung für 1990 werden die CO_2-Emissionen sowie ein vom VDEW für dieses Jahr geschätzter spezifischer Emissionswert von 0,67 kg CO_2/Nettokilowattstunde herangezogen. Durch eine Division der absoluten Emissionsmenge durch den spezifischen Wert ergibt sich eine Nettostromerzeugung von rund 431 Mrd. kWh. 1 Mrd. kWh entspricht einer Terawattstunde (TWh). Beide Datenreihen des VDEW stellen die Grundlage des Monitoringberichts dar.

Im Rahmen der Veröffentlichung der Bruttostromerzeugung der Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) publiziert das Statistische Bundesamt monatlich den für die Bruttostromerzeugung erforderlichen Verbrauch an CO_2-relevanten fossilen Brennstoffen (StaBuA, Ausgewählte Zahlen zur Energiewirtschaft, verschiedene Jahrgänge). Bis 2002 erfolgte dieser Aus-

weis des Verbrauchs ausschließlich für die Strom-, ohne die Wärmeerzeugung. Mittels der für das Monitoring vereinbarten CO_2-Faktoren ließ sich hieraus ein Emissionsvolumen für die allgemeine Elektrizitätswirtschaft ermitteln. Bei einer Gegenüberstellung mit den VDEW-Angaben im Monitoringbericht 2000-2002 zu den Emissionen (RWI 2005) ergaben sich lediglich geringfügige Abweichungen der StaBuA-Daten nach unten. Dies ist wahrscheinlich auf die Einbeziehung von Kraftwerken zurückzuführen, die dem Bereich der industriellen Eigenerzeugung und nicht der allgemeinen Stromversorgung zuzuordnen sind.

Die für die Berechnung der spezifischen Emissionen je netto erzeugter Kilowattstunde erforderliche Nettostromerzeugung ergibt sich aus der Differenz der Bruttostromerzeugung aus Kraftwerken der EVU (einschließlich Bahn) und des Eigenverbrauchs (StaBuA 2000). Abweichungen gegenüber den Werten des VDEW lagen hier im Jahr 2000 bei rund 5 %.

Im Jahr 2000 wurde die Berichterstattung zur Stromerzeugung sowohl vom VDEW als auch vom Statistischen Bundesamt umgestellt. Die Produktionsmenge der Deutschen Bahn AG wird seitdem nicht mehr getrennt ausgewiesen, sondern der allgemeinen Stromerzeugung zugerechnet. Der Anteil der Bahn an der Bruttoerzeugung der allgemeinen Versorgung ist jedoch vergleichsweise gering und betrug 2002 etwa 1,4 %. Zudem sind einige Industriekraftwerke in den neunziger Jahren umgruppiert worden. Um die Daten für die Nettostromerzeugung und die Emissionen mit denen des Basisjahres vergleichen zu können, wurde eine entsprechende Bereinigung analog den vorangegangenen Fortschrittsberichten vorgenommen. Bei den Emissionen konnten die Umbuchungen weitgehend auf Basis messtechnisch ermittelter bzw. im Rahmen der Emissionsberichterstattung für das Europäische Schadstoffemissionsregister EPER berichteter Werte erfolgen. Die Werte der Nettostromerzeugung sind entweder von den entsprechenden Unternehmen berichtet oder auf Basis der Werte von 1999 geschätzt (VDEW 2007).

Ausführungen zu ergriffenen CO_2-Minderungsmaßnahmen der EVU sind dem Fortschrittsbericht des VDEW (2007) entnommen. Ferner veröffentlicht das Statistische Bundesamt in der Fachserie 4, Reihe 6.1, detailliertes Zahlenmaterial hinsichtlich der Investitionstätigkeit der allgemeinen Elektrizitätsversorgung.

19.2 Energieverbrauch und Produktion

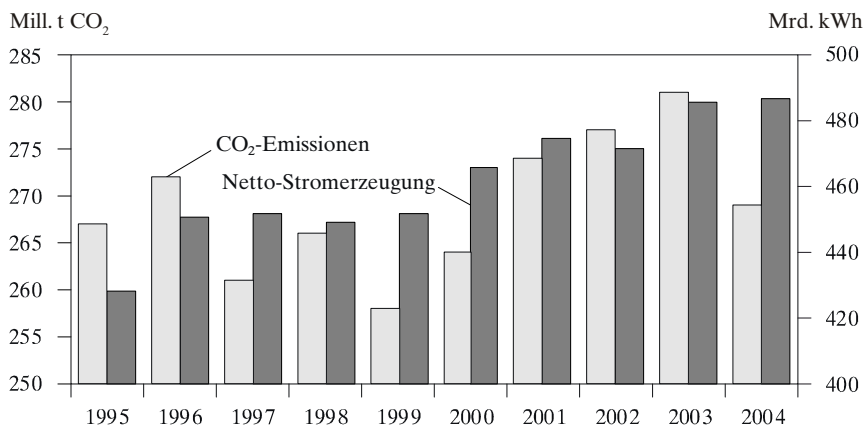
In den insgesamt mehr als 1 200 betriebenen Kraftwerken der EVU wurden 2004 rund 533 Mrd. kWh Strom brutto und – nach Abzug des Eigenverbrauchs – 499 Mrd. kWh netto erzeugt (VDEW 2005, StaBuA 2005).

31,3 % der Bruttostromerzeugung wurden aus Kernenergie gewonnen, Braunkohle trug mit einem Anteil von 29,1 %, Steinkohle mit 23,7 % und Erdgas mit 8,7 % dazu bei. Der Beitrag der Wind- und Wasserkraft lag zusammengenommen bei 4,8 %.

Deutschland weist im Berichtszeitraum einen verhältnismäßig ausgeglichenen Stromaußenhandel auf. Einschließlich industrieller Erzeugung wurden 2003 und 2004 nach vorläufigen Schätzungen brutto rund 610 Mrd. kWh Strom produziert (AGEB 2007). Davon wurden durchschnittlich 52,5 Mrd. kWh an Nachbarländer abgegeben, während 46 Mrd. kWh aus dem Ausland importiert wurden.

Die den EVU nach statistischer Bereinigung zuzuordnende Nettostromerzeugung ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. 1995 wurden netto 428 Mrd. kWh von der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft erzeugt. Dieser Wert stieg bis 2002 auf 472 Mrd. kWh. 2004 ist eine weitere Zunahme um rund 3 % auf 487 Mrd. kWh festzuhalten (Schaubild 19.1).

Schaubild 19.1
CO_2-Emissionen und Netto-Stromerzeugung der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft
1995 bis 2004; ohne umgruppierte Industriekraftwerke und Deutsche Bahn



Nach Angaben des VDEW (2007).

19.3 Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen

Das deutsche Energierecht hat im vergangenen Jahrzehnt bedeutende Novellierungen und Ergänzungen erfahren. Zu den bedeutendsten zählen neben dem durch Brüssel forcierten Liberalisierungsprozess der Energieversorgung, die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und des Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetzes (KWK).

Die Liberalisierung auf europäischer Ebene wurde im Juli 1996 mit der Verabschiedung der EU-Richtlinie 96/92/EG eingeleitet, die die Mitgliedstaaten zur schrittweisen Öffnung der nationalen Strommärkte verpflichtete. Eine Möglichkeit der nationalen Umsetzung bestand im „Verhandelten Netzzugang", die die Spitzenverbände der deutschen Stromwirtschaft zur Vereinbarung der „Freiwilligen Verbändevereinbarung" im April 1998 nutzten. Diese umfasst die Durchleitungsregeln für Strom durch Fremdnetze. Im Dezember 1999 trat deren zweite Fassung in Kraft, welche wiederum im Januar 2002 durch die „Freiwillige Verbändevereinbarung II plus" abgelöst wurde.

Mit der europäischen Richtlinie 2003/54/EG vom Juli 2003 erfolgte eine grundlegende Reformierung des Binnenmarktes für Strom (Wiedmann, Lagerfeldt 2004). Die EU-Mitgliedstaaten sind demnach verpflichtet, durch nationale Rechtsetzung eine Trennung von Stromerzeugung und Netzbetrieb zu bewerkstelligen. Zudem ist die Einrichtung einer Regulierungsbehörde verpflichtend, deren Aufgabe in der Sicherung eines diskriminierungsfreien Zugangs zu den Stromnetzen besteht.

Die Umsetzung der Richtline 2003/54/EG in deutsches Recht erfolgte im Juli 2005 durch ein neues Energiewirtschaftsgesetz (EnWG). Der Netzzugang wird seitdem durch dieses Gesetz geregelt, das die „Freiwillige Verbändevereinbarung" ablöst.

Neben der Liberalisierung der Strommärkte ist die Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien Ziel der Europäischen Union. Der Anteil innerhalb der EU-15 sollte um 8 % auf 22 % am Bruttostromverbrauch erhöht werden (EU 2001b:11). Mit der EU-Erweiterung um 10 Staaten wurde das Ziel um einen Prozentpunkt auf insgesamt 21 % abgesenkt.

Die Umsetzung in nationales Recht erfolgte durch das Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Jahr 2000. Es verpflichtet Stromnetzbetreiber Anlagen zur regenerativen Energiegewinnung an ihr Netz anzuschließen, deren gesamte Stromerzeugung abzunehmen und zu vergüten. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz schreibt für einen Zeitraum von 20 Jahren eine gestaffelte Vergütung der Erzeugung vor, die über eine bundesweite Umlageregelung auf alle Netzbetreiber verteilt wird. Eine im Jahr 2004 erfolgte Novellierung schreibt Anteile für Erneuerbare Energien von 12,5 % bis 2010 und 20 % bis 2020 fest. Gleichzeitig erfolgte eine Anpassung der Vergütungssätze. Insbesondere für Strom aus Windkraftanlagen wurde ein Mindestertragskriterium festgelegt.

Die Auswirkung der Förderung Erneuerbarer Energien mittels des EEG kann insbesondere am Beispiel der Windkraftanlagen nachvollzogen werden. Tabelle 19.1 beschreibt sowohl den Zubau von Anlagen als auch an

Leistung für den Zeitraum von 1995 bis 2006. Zwischen 1995 und 2002 nahm sowohl der Zubau an Anlagen als auch an Leistung zu, ab 2003 war sie rückläufig. Insgesamt stieg die installierte Leistung von knapp 1 100 MW in 1995 auf knapp über 20 600 MW im Jahr 2006 an.

Tabelle 19.1
Zubau und kumulierte Leistung von Windenergieanlagen in Deutschland
1995 bis 2006; Leistung in MW

	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Zubau Anzahl	1 070	1 676	1 495	2 079	2 328	1 703	1 201	1 049	1 208
Zubau Leistung	505	1 568	1 665	2 659	3 247	2 645	2 037	1 808	2 233
Installierte Leistung	1 137	4 445	6 095	8 754	12 001	14 609	16 629	18 428	20 622

Nach Angaben des Bundesverbands Windenergie e.V. (2007).

Neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien wurde im April 2002 mit der Neufassung des „Gesetzes über die friedliche Verwendung der Kernenergie und dem Schutz gegen ihre Gefahren“ (AtG) der geordnete Ausstieg aus der Kernenergienutzung rechtlich festgeschrieben. Die zwischen der Bundesregierung und den Elektrizitätsversorgungsunternehmen vereinbarten Reststrommengen für bereits existierende Kernkraftwerke sind Teil des Gesetzes. Insgesamt betrug die verabredete Reststrommenge ab dem 1. Januar 2000 gut 2 500 Mrd. kWh für alle betriebenen Kernkraftwerke. Für das fertig gestellte, aber nicht in Betrieb befindliche Kraftwerk Mühlheim-Kärlich erfolgte eine Sondergutschrift von etwa 107 Mrd. kWh, so dass sich die gesamte verbliebene Strommenge auf über 2 600 Mrd. kWh summiert. Am 14. November 2003 ging im niedersächsischen Stade das erste deutsche Kernkraftwerk vom Netz. Am 11. Mai 2005 folgte die Stilllegung des Kernkraftwerks Obrigheim in Baden-Württemberg.

19.4 Die Selbstverpflichtung

Die Unternehmen der deutschen Elektrizitätswirtschaft haben in ihrer aktualisierten Selbstverpflichtungserklärung vom März 1996 eine Minderung der CO_2-Emissionen bis 2015 um bundesweit 12 % im Vergleich zu 1990 zugesagt (Übersicht 19.1). Bestandteil der Erklärung sind jedoch einschränkende Annahmen hinsichtlich der erwarteten Energiepolitik Deutschlands.

Übersicht 19.1
Vorbehaltliche Minderungszusage der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft

Ziel bis 2015	Minderung der CO_2-Emissionen um 12 % gegenüber 1990, vorbehaltlich der angenommenen Rahmenbedingungen.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des VDEW (2005).

Ausdrücklich wird in der Minderungszusage ein Reduktionsvolumen in Höhe von 10 Mill. t CO_2 an die Wiederinbetriebnahme des Kernkraftwerks Mühlheim-Kärlich geknüpft. Ferner geht der VDEW in seiner Erklärung zur Klimavorsorge davon aus, dass die Stromerzeuger in der Wahl des Energiemixes frei entscheiden können, ein ungestörter Betrieb der Kernkraftwerke möglich ist und die Nutzungsdauer und Leistung der bestehenden Kernkraftwerke erhöht werden kann.

Übersicht 19.2
Selbstverpflichtung der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft

Ziel bis 2015	Minderung der CO_2-Emissionen um 25 Mill. t gegenüber 1990 auf 264 Mill. t CO_2.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des VDEW (2005).

1990 wurden insgesamt 289 Mill. t CO_2 emittiert. Unter den vom VDEW gemachten Annahmen würde demnach eine CO_2-Minderung von rund 35 Mill. t angestrebt. Mit Beendigung des Rechtstreits um das Kraftwerk Mühlheim-Kärlich im Jahr 2001 und dem beantragten Rückbau der Anlage vermindert sich diese Reduktionszusage nun um 10 Mill. t. Demnach verpflichten sich die Unternehmen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft – trotz Stromverbrauchszuwachs, jedoch vorbehaltlich weiterer Einschränkungen nach 2002, die den Betrieb der Kernkraftwerke berühren - ihre CO_2-Emissionen bis 2015 um insgesamt 25 Mill. t auf 264 Mill. t CO_2 zu reduzieren (Übersicht 19.2).

19.5 Bis 2004 erreichte CO_2-Minderungen

Die Unternehmen der allgemeinen Elektrizitätsversorgung haben 2004 der Stromerzeugung zuzuordnende CO_2-Emissionen in Höhe von etwa 269 Mill. t CO_2 emittiert. Dies ist im Vergleich zu 2002 ein Rückgang von 8 Mill. t CO_2, bzw. 2,9 % bei einem gleichzeitigen Anstieg der Nettostromerzeugung um 15 Mrd. kWh oder 3,2 %. In Bezug auf 1990 wurden 20 Mill. t CO_2, d.h. 6,9 % weniger ausgestoßen, wohingegen die Nettostromerzeugung um 15 Mrd. kWh bzw. 13 % anstieg (Tabelle 19.2).

Tabelle 19.2
Nettostromerzeugung und CO_2-Emissionen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft
1990 bis 2004; Ziel: Reduktion der CO_2-Emissionen um 25 Mill. t auf 264 Mill. t bis 2015

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion, Mrd. kWh	431	428	452	466	475	472	486	487
Emissionen, Mill. t	289	267	258	264	274	277	281	269

Nach Angaben des VDEW (2005 und 2007).

Für die spezifischen Emissionen ergab sich folgendes Bild: Nach Angaben des VDEW (2007) betrugen die CO_2-Emissionen je erzeugter Nettokilowattstunde 2003 rund 0,58 kg CO_2 und 2004 rund 0,56 kg CO_2. Zwischen 2002 und 2004 ist damit ein Rückgang um 0,03 kg CO_2/kWh bzw. 5,1 % erfolgt (Tabelle 19.3). Ähnlich niedrige Werte wie in den Berichtsjahren waren schon einmal 1999 und 2000 erreicht. Im Vergleich zu 1990 bedeutet der Wert von 2004 eine Reduktion um rund 0,11 kg/kWh bzw. 16,4 %.

Tabelle 19.3
Spezifische CO_2-Emissionen
1990 bis 2002; in kg CO_2 je kWh gesamte Nettoerzeugung bzw. fossile Nettoerzeugung

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
insgesamt, kg CO_2 / kWh	0,67	0,62	0,57	0,58	0,59	0,59	0,58	0,56
Minderung in %	-	7,5	14,9	13,4	11,9	11,9	13,4	16,4
Fossil, kg CO_2 / kWh	1,08	1,03	0,99	0,98	0,98	0,97	0,93	0,92
Minderung in %	-	4,6	8,3	9,3	9,3	10,2	13,9	14,8

Nach Angaben des VDEW (2005 und 2007).

Neben dem spezifischen Emissionswert, der sich auf den gesamten Energiemix bezieht, hat der VDEW auch Angaben zu spezifischen Emissionen veröffentlicht, in denen berücksichtigt wird, dass mit Kernenergie und Erneuerbaren Energien kein CO_2-Ausstoß verbunden ist. Das Emissionsvolumen wird dadurch verursachergerecht zur fossilen Nettostromerzeugung in Verhältnis gesetzt. Diese spezifischen Werte liegen bedeutend höher (Tabelle 19.3). Auch hier ist zwischen 2002 und 2004 eine Verbesserung zu verzeichnen, um insgesamt 0,05 kg/kWh bzw. 5,2 %. Im Vergleich zu 1990 sank der Wert bis 2004 um 0,16 kg CO_2 je fossiler Nettokilowattstunde bzw. um 14,8 %. Die Änderungsrate lag damit leicht unter der Änderung des spezifischen Werts, der Kernkraft und Erneuerbare Energien einschließt (16,4 %).

19.6 Ursachenanalyse

Zur Erfüllung ihrer Minderungszusage stehen den EVU mehrere Wege offen, beispielsweise der vermehrte Einsatz CO_2-freier Techniken zur Stromerzeugung. Hier sind in erster Linie die betriebenen Kernkraftwerke zu nennen. Die mit 31 Mill. t CO_2 im Vergleich zu 1990 deutlich niedrigeren CO_2-Emissionen des Jahres 1999 wurden nach Angaben des VDEW (2005) zum großen Teil durch eine höhere Stromproduktion der Kernkraftwerke ermöglicht. In weitaus geringerer Größenordnung stehen auch regenerative Energietechnologien zur Verfügung. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch eine effizientere Ausnutzung des fossilen Energiemixes, z. B. durch

Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades, durch Kraft-Wärme-Kopplung sowie durch Substitution von kohlenstoffreichen Energieträgern.

Tabelle 19.4 gibt die jährliche Nettostromerzeugung der deutschen Kernkraftwerke sowie die dadurch vermiedenen CO_2-Emissionen wieder. Diese nahmen zwischen 1990 und 1999 um 12 Mill. t bzw. 7,7 % auf 167 Mill. t zu und entsprachen knapp 40 % der gesamten Emissionsminderungen in diesem Jahr. Nach 1999 sank die Nettostromerzeugung der Kernkraftwerke auf 157 Mrd. kWh, wodurch die Menge der vermiedenen CO_2-Emissionen bis 2004 um 11 Mill. t zurückging. 2004 wurde durch Kernenergie nur 1 Mill. t mehr an CO_2 vermieden als 1990, während die Stromabgabe um 12 % bzw. 17 Mrd. kWh anstieg. Der Grund für diese Diskrepanz lautet: Die Höhe der durch Kernkraftstrom vermiedenen Emissionen wird nicht allein durch das Niveau der Nettostromerzeugung bestimmt, sondern auch durch die spezifischen Emissionen, die bei der Erzeugung des durch Kernkraftwerke verdrängten Stroms in den jeweiligen Kohlekraftwerken aufgetreten wären.

Dabei wird unterstellt, dass Kernkraft gleichermaßen Strom aus Braun- wie aus Steinkohlekraftwerken substituiert. Da die Effizienz des Kohlekraftwerksparks sich mit der Zeit durch Ertüchtigungen, Stilllegungen und die Inbetriebnahme von Neuanlagen verbessert, verringert sich der für Kernkraftstrom anzusetzende fiktive CO_2-Emissionskoeffizient allmählich. Vom VDEW wurde für die Jahre 1990 bis 1997 eine kontinuierliche Senkung des Emissionskoeffizienten von 1,1 auf 1,05 kg CO_2/kWh angegeben. Nachdem dieser Wert bis 2002 stabil blieb, wurde er 2003 mit 0,99 kg CO_2/kWh und 2004 mit 1,00 kg CO_2/kWh beziffert. Hätte 1999 noch der Emissionskoeffizient von 1990 gegolten, hätte die Menge der vermiedenen Emissionen bei 21 Mill. t gelegen, mithin um 10 Mill. t höher als angegeben. 2004 wären bei Konstanz des Koeffizienten 19 Mill. t mehr vermieden worden. Der gegenüber 2002 deutliche Rückgang der in den Jahren 2003 und 2004 durch Kernkraft vermiedenen Emissionen ist zum Teil auf die sprunghafte Veränderung des Emissionskoeffizienten zurückzuführen.

Es erscheint wenig wahrscheinlich, dass Kernkraft zukünftig einen deutlich höheren Anteil an der Stromerzeugung haben wird, da bestehende Kernkraftwerke nach und nach abgeschaltet werden und der Bau neuer Kernkraftwerke gegenwärtig keine Option darstellt. Das würde bedeuten, dass auf lange Sicht beträchtliche Mengen an CO_2-Emissionen anfallen werden, die bislang durch Kernkraft vermieden wurden.

Ein substantieller Beitrag zur Senkung der Emissionen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft, der sich nicht in den durch die Nettostromerzeugung vermiedenen Emissionen der Tabelle 19.4 widerspiegelt, ergibt sich laut Verband durch die Stilllegung des Kernkraftwerks Stade am 14. November 2003. Der VDEW geht davon aus, dass im Jahr 2004 bei einem Weiterbe-

trieb dieses Kraftwerks netto 4,6 Mrd. kWh erzeugt worden wären, was dem Durchschnitt der Stromerzeugung in Stade in den Jahren 2000 bis 2002 entspricht. Der politisch gewollte Rückgang der Kernkraft wird vom Verband dadurch berücksichtigt, dass der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft unter Zugrundelegung eines Emissionskoeffizienten von 1 kg CO_2/kWh eine Einsparung von 4,6 Mill. t CO_2 angerechnet wird.

Tabelle 19.4
Inländische Kernkraftwerke: Nettoerzeugung, Nutzungsdauer und vermiedene CO_2-Mengen
1995 bis 2004

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nettoerzeugung, Mrd. kWh	141	145	160	161	162	156	157	158
CO_2 Einsparung, Mill.	155	152	167	164	167	161	154	156

Nach Angaben des VDEW (2007).

Als eine der Ursachen der starken Schwankungen des CO_2-Ausstoßes werden Wettereinflüsse angeführt. Beispielsweise muss in besonders heißen Sommern die Leistung der Kernkraftwerke herabgesetzt werden und Wasserkraftwerke liefern durch niedrigere Pegelstände weniger Strom. Windkraftwerke erzeugen bei windarmer Witterung keine elektrische Energie. Die durch solche Einflüsse entstehenden Versorgungslücken müssen durch fossil betriebene Kraftwerke geschlossen werden. Als Konsequenz steigen die CO_2-Emissionen an. Besonders bemerkbar machte sich der heiße Sommer des Jahres 2003 bei der Kernkraft. Wegen eines Mangels an Kühlwasser mussten die Kernkraftwerke zum Teil in ihrer Leistung heruntergefahren werden. Dadurch sank der Anteil des Stroms aus Kernenergie von 34,1 % auf 32,3 %, die CO_2-Einsparungen durch Kernkraft erreichten ihren geringsten Wert seit 1995.

Tabelle 19.5
Erneuerbare Energien: Stromerzeugung und vermiedene CO_2-Emmissionsmengen
1990 bis 2004; Erzeugungsmengen in Mrd. kWh; gerundet

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Nettostromerzeugung	15	19	21	24	22	23	18	21
CO_2, vermieden, Mill. t	17	21	22	25	23	24	18	20

Nach Angaben des VDEW (2007).

Die Stromerzeugung der EVU mittels regenerativer Energietechnologien stieg zwischen 1990 und 2000 von 15 auf 24 Mrd. kWh (Tabelle 19.5). Dieser Wert wurde bis 2004 nicht wieder erreicht. Entsprechend nahm die Menge der CO_2-Emissionen, die durch diese Art der Stromerzeugung vermieden werden konnte, um 8 Mill. t auf 25 Mill. t im Jahr 2000 zu. Der Beitrag der regenerativen Energietechnologien an der gesamten Emissionsminderung der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft lag damit bei 38 %. Die Menge der

vermiedenen Emissionen lag 2004 mit etwa 20 Mill. t CO_2 nur 3 Mill. t über dem Wert von 1990.

Bei der Berechnung der Höhe der vermiedenen Emissionen wurden dieselben Emissionskoeffizienten wie bei Kernkraft herangezogen. Auch hier werden sich in den nächsten Jahren Wirkungsgradsteigerungen der Kohlekraftwerke negativ auf die vermiedenen Emissionen auswirken. Der Einfluss des heißen Sommers 2003, der für eine beträchtliche Änderung des Energiemixes zu Lasten der CO_2-freien Energieträger sorgte, wird auch aus Tabelle 19.5 deutlich: Mit nur etwa 18 Mill. t fiel die CO_2-Vermeidung durch den Einsatz „Regenerativer Energien" vergleichsweise gering aus.

Die vom VDEW genannte Vermeidungsmenge veranschaulicht, dass Regenerative Energien durchaus einen Beitrag zur Zielerfüllung der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft leisten können. Andererseits wird beim Vergleich der durch beide Technologiearten vermiedenen Emissionen auch deutlich, dass diese Techniken nicht in der Lage sein werden, die Kernkraft zu ersetzen.

Tabelle 19.6 stellt für den Zeitraum 2002 bis 2004 die Stromerzeugung dem Brennstoffverbrauch für ausgewählte Energieträger gegenüber und weist den Brennstoffeinsatz in Petajoule pro Terawattstunde (PJ/TWh) aus. Gegenüber 2002 scheint es in den Jahren 2003 und 2004 bei Stein- und Braunkohle eine beträchtliche Effizienzverbesserung gegeben zu haben. Dies dürfte zum Teil allerdings auf die Verwendung unterschiedlicher Datenquellen zurückzuführen sein. So wurde für die Jahre 2003 und 2004 auf Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen, davor auf Werte der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB). Laut VDEW wurde speziell die Wärmeauskopplung durch das Statistische Bundesamt besser erfasst als von der AGEB, da die der AGEB von der Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft (AGFW e.V.) zur Verfügung gestellten Daten nur die Mitgliedsunternehmen betreffen.

Tabelle 19.6
Umwandlung fossiler Energieträger
2002 bis 2004; Bruttoerzeugung, Brennstoffverbrauch und Energieeffizienz, gerundete Werte

	Erzeugung, Mrd. kWh			Verbrauch, PJ			PJ/ Mrd. kWh		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004
Steinkohle	121,1	132,1	126,6	1 081,1	1 110	1 058	8,93	8,40	8,36
Braunkohle	154,9	155,2	155,0	1 509,4	1 476	1 467	9,74	9,51	9,47
Erdgas	41,7	46,8	46,5	277,0	312	305	6,64	6,66	6,54

Berechnungen des VDEW nach Angaben der AGEB für 2002 und des Statistischen Bundesamts für 2003 und 2004 (VDEW 2007).

Die Auswirkungen des Wandels im Energiemix insgesamt sowie der Veränderungen der Energieeffizienz aller Kraftwerke auf die CO_2-Emissionen

lassen sich von den Auswirkungen des Anstiegs der Stromerzeugung isolieren. (Tabelle 19.7) Multipliziert man die spezifischen CO_2-Emissionen für 1990 mit der Stromerzeugung des Jahres 2004, erhält man fiktive Emissionen dieses Jahres mit der Technologie und der Energieträgerstruktur von 1990. Stellt man diese fiktiven Emissionen den tatsächlichen gegenüber, so erhält man einen Eindruck von den durch die Veränderung der Energieeffizienz und des Energiemixes erzielten CO_2-Minderungen (Tabelle 19.7). Ohne diese Änderungen wären 57 Mill. t CO_2 im Jahr 2004 zusätzlich ausgestoßen worden.

Tabelle 19.7
Nettostromerzeugung und CO_2-Emissionen der EVU
1990 bis 2004; Ziel: Reduktion der CO_2-Emissionen um 25 Mill. t bis 2015

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Produktion, Mrd. kWh	431	428	452	466	475	472	486	487
Spezifische CO_2, gesamt	0,67	0,62	0,57	0,58	0,59	0,59	0,58	0,56
Fiktive Emissionen		287	303	312	318	316	326	326
Emissionen, Mill. t	289	267	258	264	274	277	281	269
Differenz		20	45	48	44	39	45	57

Nach Angaben des VDEW (2005 und 2007).

19.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO_2-Minderung

Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft gehört mit zu den größten Investoren in Deutschland. In den Jahren 2003 und 2004 haben die EVU jährlich etwa 3 Mrd. € investiert. Im Vergleich zu den Vorjahren ist eine sinkende Tendenz festzustellen (Tabelle 19.8). Ein gutes Drittel wurde für den Erhalt und den Ausbau der Stromnetze verwendet. Neu- und Umbauten von Stromerzeugungsanlagen führten 2003 und 2004 zu einem Investitionsaufkommen von 830 bzw. 753 Mill. €.

Tabelle 19.8
Investitionen der allgemeinen Elektrizitätsversorgung
2000 bis 2004; in Mill. €

	2000	2001	2002	2003	2004
Stromerzeugung	707	818	976	830	753
Leitungsnetz	1 368	1 464	1 361	1 030	1 125
Insgesamt	3 052	3 213	3 353	3 073	2 943

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts, Fachserie 4, Reihe 6.1.

Im Fortschrittsbericht des VDEW (2007) werden für die Jahre 1998 bis 2003 insgesamt und für 2004 CO_2-Minderungen aus Investitionen in Erneuerbare Energien, Effizienzsteigerungen im Anlagenpark sowie Kraftwerksstillle-

gungen genannt (Tabelle 19.9). Hierfür wurden beispielhaft Ergebnisse aus einer Befragung zusammengestellt.

Tabelle 19.9
Emissionseinsparungen aufgrund von CO_2-Minderungsmaßnahmen
1998 bis 2004; in Mill. t

	1998/2003	2000	2001	2002	2004
Investitionen in Erneuerbare Energien	1,12	0,39	0,41	0,72	0,20
Konv. Kraftwerke, Effizienzsteigerung	10,42	4,92	0,94	0,59	0,34
Konv. Kraftwerke, Stilllegungen	8,27	0,6	3,23	4,76	-
Kernkraftwerke, Effizienzsteigerung[1]	0,81	1,18	-	0,01	0,26
Insgesamt	20,61	7,09	4,58	6,08	0,80

Nach Angaben des VDEW (2005 und 2007). [1] Für 1998/2004 Berechnung der vermiedenen Emissionen mit fossilem Energiemix von 1998.

Die für die Jahre 1998 bis 2003 ausgewiesenen Maßnahmen summierten sich zu einer Emissionseinsparung in diesem Zeitraum von 20 Mill. t CO_2. Die CO_2-Minderungen lassen sich schwerpunktmäßig auf die Stilllegung von Blöcken oder ganzer konventioneller Kraftwerke (8,27 Mill. t) sowie auf Effizienzsteigerungen konventioneller Kraftwerke (10,42 Mill. t) zurückführen. Durch Investitionen in die Effizienzsteigerung von Kernkraftwerken konnten 0,8 Mill. t und durch solche in Erneuerbare Energien 1,12 Mill. t eingespart werden.

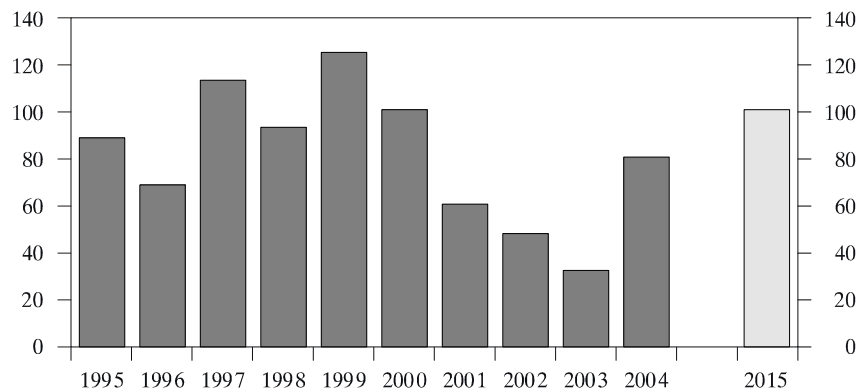
Im Jahr 2004 wurden nach Angaben des VDEW insgesamt CO_2-Emissionen in Höhe von 0,8 Mill. t durch Minderungsmaßnahmen eingespart. Im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre zuvor war das bedeutend weniger (Tabelle 19.9). Dies lag vor allem daran, dass Stilllegungen konventioneller Kraftwerke fehlten und nur geringe Effizienzsteigerungen dieser Kraftwerke ausgewiesen wurden. In den Jahren 1998 bis 2003 handelte es sich bei gut 50 % der CO_2-Minderungen um Ergebnisse von KWK-Maßnahmen, im Jahr 2004 lag der Anteil bei knapp 68 %.

19.8 Zusammenfassung

Vorbehaltlich der Wiederinbetriebnahme des Kernkraftwerks Mühlheim-Kärlich hat die allgemeine Elektrizitätswirtschaft im Rahmen der Klimaschutzerklärung der deutschen Wirtschaft bis 2015 eine CO_2-Emissionsreduktion von 12 % bzw. rund 35 Mill. t gegenüber 1990 zugesagt. Zwischenzeitlich ist entschieden, dass dieses Kernkraftwerk nicht wieder ans Netz genommen wird. Die zugesagte CO_2-Reduktion vermindert sich damit auf insgesamt 25 Mill. t, so dass 2015 maximal 264 Mill. t CO_2 emittiert werden sollen.

Das angestrebte Ziel konnte bereits 1997 und 1999 deutlich übertroffen werden (Schaubild 19.2). Bis 2003 ist jedoch ein deutlicher Rückgang im Zielerreichungsgrad auf 32 % festzustellen. Grund hierfür war u.a. der heiße Sommer des Jahres 2003. Der Anteil von Strom aus Kernenergie und Erneuerbaren Energien ging 2003 auf 36 % zurück und lag im Vergleich zum Vorjahr um knapp 2 % niedriger. 2004 wurde eine sprunghafte Verbesserung des Zielerreichungsgrades auf 80 % erreicht. Der wesentliche Grund dafür ist im Anstieg der Stromerzeugung durch CO_2-freie Energietechnologien zu sehen.

Schaubild 19.2
Zielerreichungsgrade
1995 bis 2004; in %



Eigene Berechnungen nach Angaben des VDEW (2007).

Die Stromwirtschaft hat damit im achten Jahr vor Ablauf der Minderungsverpflichtung den größten Teil ihrer Zusage realisiert. Maßnahmen zur Effizienzverbesserung, insbesondere eine Vielzahl von Neubauprojekten sowie ein Anstieg der Bedeutung Erneuerbarer Energien werden den Zielerreichungsgrad künftig weiterhin erhöhen. Der Erreichung des Ziels der Selbstverpflichtung im Wege steht allerdings der sukzessive Ausstieg aus der Kernkraft, der erst nach der Abgabe der Verpflichtung gesetzlich festgelegt wurde. Um weiterhin Aussicht auf die Erreichung des Ziels der Selbstverpflichtung zu haben, muss die allgemeine Elektrizitätswirtschaft zukünftig die durch Kernkraft hypothetisch vermeidbaren Emissionen berechnen und von den tatsächlichen abziehen, so wie dies hier bereits für das bereits stillgelegte Kernkraftwerk Stade geschehen ist.

Zukünftig steht der Verzicht auf Kernkraft aber den für den Klimaschutz erforderlichen CO_2-Reduktionen im Wege. Das Auslaufen dieser CO_2–freien Stromerzeugungstechnik wird den Bau neuer Kraftwerke erfordern, die auf Basis fossiler Brennstoffe arbeiten und damit zusätzliche CO_2–

Emissionen generieren werden. Als eine Alternative zur CO_2–freien Stromerzeugung durch Kernkraft werden Erneuerbare Energien genannt. Hier schreibt das novellierte EEG eine Quote von 12,5 % am bundesweiten Bruttostromverbrauch bis 2010 vor. Europaweit wird ein Anteil von 21 % angestrebt. Selbst wenn es den EVU gelingen sollte, diesen Anteil deutlich zu erhöhen, werden Erneuerbare Energien die Lücke, die die stillzulegenden Kernkraftwerke in der Energieversorgung hinterlassen werden, nicht schließen können.

Anhang

A. Wirtschaftliche Entwicklung der an der Klimavereinbarung beteiligten Sektoren

Die am Monitoring beteiligten Industriebereiche vereinigten 2004 mehr als ein Drittel der Produktion des Verarbeitenden Gewerbes auf sich (StaBuA 2006). Bezogen auf die gesamtwirtschaftliche Produktion lag ihr Anteil bei rund 10 % (StaBuA 2007a). Während das Bruttoinlandsprodukt (BIP) zwischen 1991 und 2004 um 19,9 % zunahm (Tabelle A.2), verzeichneten die hier betrachteten Sektoren lediglich einen Produktionszuwachs von 16,5 % (Tabelle A.1). Dennoch lag deren Wachstum über dem des Verarbeitenden Gewerbes, das in diesem Zeitraum um 13,2 % betrug (Tabelle A.2).

Tabelle A.1
Entwicklung des Produktionsindex
2000 = 100; Veränderung der Indizes in %

	1991-2004	1991-2002	2003-2004
Chemische Industrie	29,6	24,8	3,5
Eisenschaffende Industrie	0,4	1,9	3,2
Elektrotechnik- und Elektronikindustrie	35,4	22,8	7,6
Feuerfest-Industrie	-0,1	-7,9	6,5
Glasindustrie	7,5	8,6	2,3
Kaliindustrie (Rohsalzverarbeitung in t)	-4,7	-8,4	0,8
Kalkindustrie	-14,6	-20,9	9,8
Keramische Fliesen und Platten	-42,8	-45,1	1,7
Mineralölverarbeitung	20,5	9,4	10,7
Nichteisen-Metallindustrie	12,6	6,5	5,8
Steinkohlenbergbau	-62,0	-60,8	-0,9
Textilindustrie	-57,3	-53,5	-1,8
Zellstoff- und Papierindustrie	39,8	26,3	6,5
Zementindustrie	-24,5	-19,3	3,8
Ziegelindustrie	-8,5	-12,0	5,8
Zuckerindustrie	42,8	17,7	25,1
Insgesamt	16,5	9,5	5,6

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 2.1.

Die Produktionsentwicklung in den einzelnen Industriebereichen verlief sehr unterschiedlich. So sank die Produktion der Textilindustrie zwischen 1991 und 2004 um mehr als 57 %. Aufgrund der zunehmenden Konkurrenz aus Niedriglohnländern sind zukünftig weitere Kapazitätsstilllegungen zu

erwarten. Die Produzenten aus dem Bereich der Steine und Erden, zu denen die Kalk-, Zement-, Ziegel- und Feuerfest-Industrie sowie die Industrie der keramischen Fliesen und Platten gehören, leiden seit Jahren unter der Talfahrt des Baugewerbes. In der Folge verringerte sich beispielsweise die Produktion der Industrie der keramischen Fliesen und Platten zwischen 1991 und 2004 um fast 43 %, die der Zementindustrie um ca. 25 % und die der Kalkindustrie um fast 15 % (Tabelle A.1). Diese Entwicklung wird verschärft durch die wachsende Konkurrenz aus Osteuropa.

Tabelle A.2
Produktionsindex des Verarbeitenden Gewerbes und reales Bruttoinlandsprodukt
2000 = 100; Veränderung in %

	1991-2004	1991-2002	2003-2004
Produktionsindex Verarbeitendes Gewerbe	13,2	8,2	4,4
Bruttoinlandsprodukt	19,9	18,6	1,2

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 2.1.

Einige Branchen konnten hingegen ihre Produktion kräftig steigern. Dazu zählen beispielsweise die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, die Chemische Industrie sowie die Zellstoff- und Papierindustrie.

Im Berichtszeitraum 2003 bis 2004 stagnierte die Inlandsnachfrage. Die Exporte nahmen dagegen wieder stärker zu. Bei den Bauinvestitionen beschleunigte sich der Rückgang (Tabelle A.3). Trotz der schwachen Konsumnachfrage entwickelte sich die Produktion in den am Monitoring beteiligten Verbrauchsgütersektoren recht unterschiedlich. Während die Textilproduktion um 1,8 % abnahm, stieg die Herstellung von Zucker um 25,1 % (Tabelle A.1). Entgegen dem langfristigen Trend in der Bauwirtschaft stieg die Produktion bei den Bauzulieferern 2003 und 2004: In der Zementherstellung betrug der Zuwachs 3,8 %, die Produktion von keramischen Fliesen und Platten nahm um 1,7 % zu und die Kalkproduktion wuchs sogar um 9,8 %.

Produktionszuwächse wurden 2003 und 2004 vor allem in jenen Sektoren verzeichnet, die in wesentlichem Umfang Auslandsmärkte bedienen. So konnten die Nichteisen-Metallerzeuger dank der regen Nachfrage aus dem asiatischen Raum und Osteuropa ihre Produktion trotz der schwachen Konjunktur im Berichtszeitraum um 5,8 % steigern. Die Roheisenerzeugung nahm um 3,2 % zu. Die Chemische Industrie, die seit Mitte der 1990er Jahre ihre Exportquote um mehr als 10 Prozentpunkte auf über 50 % verbesserte, erzielte einen Zuwachs von 3,5 %. Insgesamt wuchs die Produktion der in Tabelle A.1 aufgelisteten Sektoren 2003 und 2004 um 5,6 % und damit stärker als das Verarbeitende Gewerbe mit 4,4 % (Tabelle A.2). Im Vergleich

zur Gesamtwirtschaft, die in diesem Zeitraum 1,2 % zulegte, fiel der Zuwachs sogar noch deutlicher aus.

Tabelle A.3
Veränderung des realen Bruttoinlandsprodukts und dessen Verwendung
2003 bis 2004; 2000=100; Veränderungen der Indizes gegenüber dem Vorjahr in %

	2003	2004
Inlandsnachfrage	0,6	0,0
Konsumausgaben	-0,1	0,1
Anlageinvestitionen	-0,8	-0,4
- Ausrüstungen	-0,1	4,2
- Bauinvestitionen	-1,6	-3,8
- Sonstige	2,5	1,2
Ausfuhr	2,4	9,6
Einfuhr	5,4	6,9
Bruttoinlandsprodukt	-0,2	1,2

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 18, Reihe 1.4.

B. Die Entwicklung der Energiepreise zwischen 1990 und 2004

Das hohe Wachstum der Weltwirtschaft führte 2004 zur höchsten Zuwachsrate beim weltweiten Primärenergieverbrauch seit 1984. Dies wirkte sich entsprechend auf die Energiepreise aus (BP 2005: 2). Vor allem der Preis für Rohöl stieg 2004 massiv an (Tabelle B.1).

Tabelle B.1
Nominale Weltmarktpreise für Rohöl und deren Veränderungen gegenüber 1990
1990 bis 2004; in US $/bbl

	1990	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Mittel
Brent	23,73	17,97	28,50	24,44	25,02	28,83	38,27	21,89
Seit 1990	-	-24,3 %	20,1 %	3,0 %	5,4 %	21,5 %	61,3 %	
Dubai	20,45	17,25	26,20	22,81	23,74	26,78	33,64	19,96
Seit 1990	-	-15,6 %	28,1 %	11,5 %	16,1 %	31,0 %	64,5 %	
WTI	24,50	19,31	30,37	25,93	26,16	31,07	41,49	23,48
Seit 1990	-	-21,2 %	24,0 %	5,8 %	6,8 %	26,8 %	69,3 %	

WTI: West Texas Intermediate. –BP (2006: 16).

Brent kostete im Jahresdurchschnitt 38,27 US $/bbl, fast ein Drittel mehr als 2003. Sein Preis lag damit mehr als 16 US $ über dem langfristigen Mittel der Jahre 1990 bis 2004. Der drastische Preisanstieg erreichte im Oktober mit mehr als 52 US $/bbl seinen Höchststand. Ein wesentlicher Grund für diese Entwicklung war der starke Verbrauchsanstieg: Mit einem Zuwachs von 2,5 Mill. Barrel pro Tag stieg der Rohölbedarf 2004 so stark wie seit 1976 nicht mehr. Den größten Anteil hieran hatte die um fast 16 % auf 0,9 Mill. Barrel pro Tag gestiegene Nachfrage Chinas, die überwiegend durch Importe gedeckt werden musste. Neben dem Nachfragewachstum trugen auch die anhaltenden Konflikte im Mittleren Osten sowie die politische Instabilität in einigen Förderländern zu steigenden Preisen bei (BP 2005: 2).

Tabelle B.2
Wechselkursentwicklung des Euros zum US-Dollar
1990 bis 2004; in US $/€

	1990	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Dollar/Euro	1,2102	1,0658	0,9236	0,8956	0,9456	1,1312	1,2439

Deutsche Bundesbank (2006).

Die Einfuhrpreise für schweres und leichtes Heizöl reagierten unmittelbar auf die Ausschläge bei den Rohölpreisnotierungen. Dabei wurden die Preisbewegungen durch Wechselkursschwankungen überlagert. Während der

Wert des Euro gegenüber dem Dollar zwischen 1999 und 2001 um 16 % sank, nahm sein Wert bis 2004 um fast 17 % zu (Tabelle B.2). Dadurch stiegen die Importpreise in Euro bis 2001 stärker, danach jedoch langsamer als die Weltmarktpreise.

Bis 2004 stieg der Einfuhrpreis für Rohöl gegenüber 1990 um rund 56 % (Tabelle B.3), die Weltmarktpreise lagen dagegen je nach Sorte um etwa 60 % bis 70 % höher. Der Einfuhrpreis für schweres Heizöl nahm im selben Zeitraum um etwa 90 % zu, der für leichtes Heizöl lag 74 % höher.

Tabelle B.3
Grenzübergangspreise (cif) für Rohöl, schweres und leichtes Heizöl und Erdgas
1990 bis 2004; in €/t SKE

	1990	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Mittel
Rohöl	98	84	156	139	131	131	153	100
Seit 1990	-	-14,0 %	59,1 %	41,3 %	39,9 %	33,2 %	55,6 %	
Schweres Heizöl	65	66	144	141	123	119	123	84
Seit 1990	-	1,7 %	121,9 %	116,9 %	89,0 %	82,4 %	89,5 %	
Leichtes Heizöl	116	90	203	179	158	162	202	127
Seit 1990	-	-22,4 %	74,6 %	54,4 %	35,9 %	39,4 %	73,9 %	
Erdgas	61	47	85	111	95	100	96	74
Seit 1990	-	-22,5 %	38,2 %	81,4 %	55,2 %	64,0 %	57,4 %	

Öl: MWV (2006: 42); Erdgas: BMWA (2006).

Die Einfuhrpreise für leichtes und schweres Heizöl folgen dem Rohölpreis unmittelbar. Der Erdgaspreis reagiert dagegen mit einer gewissen Verzögerung. Während der durchschnittliche Erdgaspreis von 2003 auf 2004 sank, stiegen die Einfuhrpreise für Heizöl bereits wieder deutlich an. Eine der Ursachen dafür ist die informelle Ölpreisbindung für Erdgas. In den üblicherweise sehr langfristig angelegten Erdgasverträgen ist in der Regel vorgesehen, den Erdgaspreis mit einer etwa halbjährlichen Verzögerung an die Entwicklung der Rohölpreise anzupassen. Seit Jahrzehnten bilden die Rohölpreise daher die Basis für die Entwicklung des Erdgaspreises.

Der Einfuhrpreis für Kraftwerkskohle schwankte in den letzten Jahren erheblich und lag 2004 knapp 14 % über dem Niveau von 1990 (Tabelle B.4). Noch prononcierter war der Anstieg der Einfuhrpreise für Kokskohlen und vor allem für Koks. Der Importpreis für Kokskohle stieg bis 2002 um mehr als 30 %. Nach einem Rückgang um 10 € im Jahre 2003 lag er 2004 bei 61 € und damit fast 26 % über dem Preis von 1990. Auch hier hat die Wechselkursentwicklung die Importpreise zunächst zusätzlich erhöht, ab 2002 jedoch einer noch stärkeren Preissteigerung entgegen gewirkt.

Tabelle B.4
Grenzübergangspreise (cif) für Kraftwerks- und Kokskohle sowie für Koks
1990 bis 2004; in €/t SKE

	1990	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Mittel
Kraftwerkskohle	49	34	42	53	45	40	55	42
Seit 1990	-	-29,5 %	-13,7 %	9,1 %	-8,6 %	-18,2 %	13,5 %	
Kokskohle	49	47	51	60	63	53	61	51
Seit 1990	-	-4,2 %	5,3 %	23,5 %	30,2 %	9,1 %	25,6 %	
Koks (€/t)	k.A.	72	78	91	87	102	214	100
Seit 1997	-	-7,8 %	-0,8 %	16,4 %	11,2 %	30,1 %	173,0 %	

Kraftwerkskohle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, BAFA (2007). Koks: Verein der Kohlenimporteure e.V., VDKI (2004, 2007). Kokskohle: Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., Kohlenstatistik (2007).

Beim Koks stieg der jahresdurchschnittliche Importpreis von rund 87 €/t im Jahr 2002 auf über 214 € im Jahr 2004. Die wesentlichen Gründe dafür waren die gestiegene Nachfrage aus wachstumsstarken Entwicklungs- und Schwellenländern, insbesondere aus China, die weltweite Angebotsverknappung an Koks, die das Resultat von Kokereisschließungen in Europa in den vergangenen Jahren war, sowie begrenzte Frachtkapazitäten und Verladeprobleme in manchen Exporthäfen (Matthes und Ziesing 2005: 58). Das Zusammenwirken all dieser Faktoren führte zu Preisexplosionen bei Koks wie zu Beginn der 80er Jahre – mit einer Preisspitze von 277,5 € im Juni 2004.

Im Zuge dieser Preissteigerungen begannen jedoch viele Exportländer, ihre Förderkapazitäten an Kokskohlen zu erweitern. Zudem ist in China eine massive Erweiterung der Kokereikapazitäten im Gange. Das traditionelle Muster, dass Preissteigerungen zu einer Ausweitung des Angebots führen, wird nach Auffassung der Internationalen Energie Agentur Angebotsüberschüsse auf den Kohle- und Koksmärkten zur Folge haben, womit entsprechende Preissenkungen verbunden sein werden (IEA 2004).

Letztlich entscheidend für die Höhe des Endenergieverbrauchs in den Sektoren Industrie, Haushalte und Kleinverbraucher sowie Verkehr sind indessen nicht die Weltmarkt- bzw. Einfuhrpreise, sondern die Verbraucherpreise. Neben Importpreisen und Erzeugerkosten spielen Steuern und Abgaben eine wachsende Rolle bei der Höhe der Endverbraucherpreise. So werden Kraftstoffe mit der Mineralöl- und Ökosteuer belastet, Strom mit der Ökosteuer, der KWK-Abgabe, der Einspeisevergütung für erneuerbare Energien sowie der Konzessionsabgabe und Heizstoffe mit der Konzessionsabgabe, der Mineralöl- sowie der Ökosteuer.

Tabelle B.5 zeigt, dass die Mineralölsteuern seit 1999 deutlich und kontinuierlich erhöht wurden. Dies geht auf das Gesetz zum Einstieg in die Ökologische Steuerreform vom 1. April 1999 zurück. Zwischen 1990 und 2004 haben sich die Steuersätze auf Ottokraftstoffe und leichtes Heizöl für private Haushalte jeweils mehr als verdoppelt, für Erdgas sogar mehr als verdreifacht. Die Steuererhöhungen für die anderen Mineralölprodukte wie etwa Diesel fielen deutlich geringer aus.

Tabelle B.5
Mineralölsteuersätze und deren Anstieg in Deutschland
1990 bis 2004; in €/1000 l

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Veränd. geg. 1990
Ottokraftstoff verbleit	332	552	575	614	644	690	721	721	117 %
Ottokraftstoff bleifrei	291	501	524	562	593	624	655	655	125 %
Diesel	272	317	340	378	409	440	470	470	73 %
Leichtes Heizöl (Haushalte)	29	41	56	61	61	61	61	61	110 %
Erdgas (Haushalte) (€/MWh)	1,33	1,84	3,07	3,48	3,48	3,48	5,50	5,50	314 %

MWV (2006: 44).

Mit dem Einstieg sowie der Fortführung der Ökologischen Steuerreform folgte Deutschland den Empfehlungen der Europäischen Kommission und der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD). Die schrittweise Verteuerung von Energie sollte den Energieverbrauch reduzieren und zugleich die Rentenversicherungsbeiträge mit Hilfe des zusätzlich erzielten Steueraufkommens senken.

Die sukzessive Erhöhung der Mineralölsteuer führte einerseits zu einem beinahe durchgehenden Anstieg der Verbraucherpreise (Matthes und Ziesing 2005: 52). Andererseits können drastische Preisausschläge auf den Rohölweltmärkten durch einen hohen Mineralölsteueranteil gedämpft werden: Bei einem Steueranteil von etwa 40 % führt eine Verdopplung des Rohölpreises nicht notwendigerweise zu einer Verdopplung der Verbraucherpreise für Mineralölprodukte, sondern ceteris paribus lediglich zu einem Aufschlag von 60 %.

Im Zuge der Ökologischen Steuerreform wurde 1999 auch eine Stromsteuer in Höhe von 2 Pfennigen (1,02 Cent) je Kilowattstunde (kWh) eingeführt und bis einschließlich 2003 jährlich um 0,26 Cent erhöht (Tabelle B.6). Vor Einführung der Stromsteuer musste bis einschließlich 1995 eine Ausgleichs-

abgabe auf Strom bezahlt werden, die besser unter dem Namen „Kohlepfennig“ bekannt ist. Der Kohlepfennig stellte eine prozentuale Abgabe der Stromverbraucher auf den Strompreis dar, mit dessen Hilfe der „Ausgleichsfonds zur Sicherung des Steinkohleeinsatzes“ gespeist und somit der deutsche Steinkohlenbergbau subventioniert wurde. Bemessungsgrundlage des Kohlepfennigs waren die Erlöse aus der Lieferung von Elektrizität an Endverbraucher ausschließlich der Umsatzsteuer. Der Kohlepfennig wurde im Oktober 1994 vom Bundesverfassungsgericht für verfassungswidrig erklärt und daraufhin abgeschafft.

Tabelle B.6
Ausgleichsabgabe, Strom- und Mehrwertsteuer auf den Verbrauch von Energie in Deutschland
1990 bis 2004

	1990	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Stromsteuer (Cent/kWh)	-	-	-	1,02	1,28	1,53	1,79	2,05	2,05
Mehrwertsteuersatz	14 %	15 %	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %
„Kohlepfennig“	8 %	9 %	-	-	-	-	-	-	-

MWV (2006: 44). Kohlepfennig: Bleuel, Hillebrand, Oberheitmann (2004: 42).

Verglichen mit den Mineralölpreisen sind die Preise für Strom weit weniger volatil. Trotz Einführung der Stromsteuer lagen die Strompreise für die Industrie bis 2004 sogar niedriger als 1990 (Tabelle B.7). Ein entscheidender Grund dafür war die EU-weite Liberalisierung der Strommärkte, die in Deutschland mit dem am 28. April 1998 verabschiedeten Energiewirtschaftsgesetz zur Abschaffung der ehemaligen Gebietsmonopole zu mehr Wettbewerb geführt hat.

Tabelle B.7
Nominale Verbraucherpreise für Heizöl, Erdgas und Strom
1990 bis 2004; ct/kWh.

	1990	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Mittel
Schweres Heizöl	1,1	1,0	1,5	1,3	1,4	1,5	1,4	1,2
Seit 1990	-	-10,1 %	44,7 %	25,3 %	33,2 %	43,3 %	35,7 %	
Leichtes Heizöl	1,8	1,9	2,9	2,7	2,5	2,5	2,8	2,3
Seit 1990	-	6,4 %	63,5 %	54,1 %	40,8 %	45,0 %	61,6 %	
Erdgas (Haushalte)	4,0	3,4	3,9	4,8	4,5	4,8	4,8	4,0
Seit 1990	-	31,5 %	53,1 %	88,5 %	76,4 %	85,4 %	87,4 %	
Strom (Haushalte)	12,8	16,0	14,9	15,4	16,1	16,9	17,5	15,6
Seit 1990	-	24,7 %	16,5 %	20,6 %	25,5 %	31,6 %	36,7 %	
Strom (Industrie)[1]	7,0	5,3	4,4	4,9	5,2	5,8	6,2	6,1
Seit 1990	-	-23,3 %	-36,9 %	-29,8 %	-26,0 %	-16,9 %	-11,1 %	

[1]Ohne Mehrwertsteuer. – Heizöl: MWV (2006: 43). Erdgas, Strom: BMWA (2006). – Bezogen auf den unteren Heizwert.

Die verschiedenen Endverbrauchergruppen haben von der Liberalisierung indessen in unterschiedlichem Maße profitiert. In den ersten zwei Jahren nach der Liberalisierung, 1999 und 2000, sind vor allem die Strompreise der Sondervertragskunden (Industrie) gesunken, bis 2000 um 36,9 % gegenüber 1990 (Tabelle B.7). Tarifkunden, insbesondere private Haushalte, konnten in weit geringerem Umfang von der Liberalisierung profitieren. Der Durchschnittspreis sank für Tarifkunden lediglich im Jahr 2000 und stieg danach wieder an.

Im Gegensatz zu den Strompreisen stiegen die Verbraucherpreise für fossile Energieträger, die mehr oder weniger unmittelbar vom Rohöl abhängen, zwischen 1999 und 2004 sehr kräftig an: Schweres Heizöl verteuerte sich bis 2004 um 51 %, leichtes Heizöl um 52 % und Erdgas um 43 %. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass der Rohölpreis im Jahr 1999 sehr niedrig lag, was sich entsprechend auf die Preise von Heizöl und Erdgas ausgewirkte.

C. Datengrundlagen

Der Berichtszeitraum des vorliegenden Monitoringberichts umfasst die Jahre 2003 und 2004. Soweit entsprechendes Datenmaterial vorhanden ist, werden jedoch Zeitreihen ab 1995 betrachtet, dem Beginn der freiwilligen Selbstverpflichtung zur Klimaschutzvorsorge. Weiter zurück reichende Zeitreihen sind in den meisten Fällen nicht vorhanden. Für das Basisjahr, das bei allen Minderungszusagen nunmehr ausschließlich das Jahr 1990 ist, wurden die üblicherweise nur für Westdeutschland zur Verfügung stehenden Daten des Statistischen Bundesamtes im Einzelfall auf unterschiedlichste Arten um die ostdeutschen Werte ergänzt. Dies ist im jeweiligen Abschnitt für die einzelnen Sektoren beschrieben.

An erster Stelle der Berechnung des CO_2-Ausstoßes der jeweiligen Sektoren steht die Ermittlung des Verbrauchs an fossilen Brennstoffen sowie von nicht selbst erzeugtem Strom. Strom aus Eigenerzeugung wird durch den Verbrauch an Primärenergieträgern berücksichtigt. Abgegebener Strom wird mit dem Fremdstrombezug verrechnet. Diese Größen werden mittels vereinbarter Heizwerte in Energieäquivalente, gemessen in Joule, umgerechnet und können somit addiert werden. Die so ermittelten Werte stellen die in den Einzelsektoren aufgeführten Energieverbräuche dar.

Zur Berechnung der CO_2-Emissionen werden die Energieäquivalente der Brennstoffe mittels der in Tabelle C.1 aufgeführten CO_2-Faktoren umgerechnet. Die so errechneten gesamten Emissionsmengen bilden die Grundlage für die Berichterstattung. Zu beachten ist dabei: Sekundärbrennstoffe, beispielsweise nicht mehr zur Papierproduktion verwendbares Altpapier oder alte Reifen, die in einigen Sektoren wie der Zement- und der Papierindustrie vermehrt eingesetzt werden, werden von diesen Sektoren bei der Berechnung der Emissionen als CO_2-neutral behandelt.

Eine spezielle Problematik stellt sich bei der Bilanzierung der CO_2-Emissionen durch den Verbrauch von Strom (Hillebrand et *al.*, 1997: 23), da die Emissionen bei der Erzeugung und nicht beim Verbrauch anfallen. Entsprechend des Verursacherprinzips werden die Emissionen jedoch dem Verbraucher angelastet. Um zu vermeiden, dass CO_2-Minderungen bei der Umwandlung, beispielsweise durch Effizienzsteigerungen oder Wandel im Brennstoffmix, sowohl den Kraftwerksbetreibern als auch den Verbrauchern gutgeschrieben wird, wurde der CO_2-Emissionsfaktor von Strom als intertemporal konstant festgelegt. Der Wert beträgt 0,67 t CO_2/MWh und entspricht dem CO_2-Emissionsfaktor von Strom aus der öffentlichen Stromerzeugung für das Basisjahr 1990.

Unter Berücksichtigung des verwendeten Brennwerts für Strom von 10,434 GJ/MWh lässt sich ein CO_2-Faktor auf Basis der Energieeinheit GJ errechnen. Dividiert man 0,67 t CO_2/MWh durch den Brennwert 10,434 GJ/MWh, so lautet der resultierende CO_2-Faktor 0,0642 t CO_2/GJ.

Tabelle C.1
CO_2-Emissionsfaktoren im Monitoring
in t CO_2/GJ

Braunkohlenbriketts	0,098	Heizöl, schwer	0,078
Braunkohlenkoks	0,106	Kokereigas	0,044
Braunkohlenstaub	0,098	Petrolkoks	0,101
Erdgas	0,056	Raffineriegas	0,060
Erdölgas	0,059	Rohbraunkohlen	0,112
Flüssiggas	0,065	Sonstige Brennstoffe	0,093
Gichtgas	0,105	Steinkohlen	0,093
Grubengas	0,054	Steinkohlenbriketts	0,093
Hartbraunkohlen	0,097	Steinkohlenkoks	0,105
Heizöl, leicht	0,074	Strom	0,064

Nach Angaben des BMU (1994).

Das Statistische Bundesamt teilt seit 1995 das Produzierende Gewerbe anhand der *Klassifikation der Wirtschaftszweige* (StaBuA 1993) in Untergruppen ein. Bei nicht wenigen an der Klimaschutzvereinbarung beteiligten Industriesektoren stimmen indessen die Branchenabgrenzungen des Statistischen Bundesamts und die der jeweiligen Verbände nicht vollständig überein. Als Datenquelle der für das Monitoring unabdingbaren Brennstoff- und Stromverbrauchsmengen wurde daher entweder auf die vom Statistischen Bundesamt jährlich publizierten sektoralen Energieverbrauchsdaten zurückgegriffen oder auf Erhebungsergebnisse, die ein Teil der Branchenverbände durch entsprechende jährliche Erhebungen unter ihren Mitgliedsunternehmen ermittelt hat.

Bis 2002 hat das Statistische Bundesamt den Verbrauch von ausgewählten Brennstoffen sowie von Strom in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1 veröffentlicht. Die entsprechenden Daten wurden im Rahmen der monatlichen Produktionserhebung[12] erhoben. Ab dem Berichtsjahr 2003 wurde die Datenerhebung auf eine eigenständige Jahreserhebung umgestellt. Hierdurch wurde eine stärkere inhaltliche Differenzierung der erhobenen Merkmale erreicht (StaBuA 2007b: 4). Die Ergebnisse der neuen Energieverwendungserhebung werden nicht mehr im Rahmen der Reihe 4.1.1, sondern als eigenstän-

[12]Monatsberichte für Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden.

dige Statistik publiziert und sind auf Anfrage beim Statistischen Bundesamt erhältlich.

Methodische und konzeptionelle Änderungen sowohl bei der Erhebung als auch bei der Zuordnung der Ergebnisse auf die Viersteller (Klassen) im Zuge der Umstellung auf die Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2003 (WZ 2003), haben dazu geführt, dass die Energieverbrauchsdaten bis 2002 mit denen ab 2003 zum großen Teil nicht mehr vergleichbar sind. Dies gilt sowohl auf der Ebene der einzelnen Wirtschaftszweige als auch für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt. Nach Auskunft des Statistischen Bundesamtes beruhen die Abweichungen weniger auf Problemen mit der neuen Erhebung als vielmehr auf fehlerhafte Angaben bei den bisherigen Erhebungen, die sich möglicherweise durch die geringere inhaltliche Differenzierung bei den erhobenen Energieträgern ergeben haben.

Als Folge dieser Probleme mit den amtlichen Energieverbrauchsdaten sind die meisten Verbände dazu übergegangen, eigene Erhebungen zum Energieverbrauch bei ihren Mitgliedern durchzuführen. Auf eine Gegenüberstellung der von den Verbänden erhobenen Verbrauchsdaten mit den amtlichen Daten wird aus den oben genannten Gründen verzichtet. Welche Quelle im Einzelnen herangezogen wurde, ist im jeweiligen Abschnitt zur Beschreibung der einzelnen Sektoren dargelegt.

Aufgrund der Umstellung des Klassifikationssystems durch das Statistische Bundesamt im Jahr 1993 und der damit verbundenen Abgrenzungsproblematik liegen für einige Sektoren keine amtlichen Daten für 1990 vor. In solchen Fällen muss auf eine Plausibilitätsprüfung für das Jahr 1990 verzichtet werden.

Neben dem Energieverbrauch werden in der *Fachserie 4, Reihe 4.1.1* Angaben zur Beschäftigung, der Anzahl der Betriebe sowie dem Umsatz gemacht. Die *Fachserie 4, Reihe 4.3*, enthält die jährlichen Produktionszahlen und den Wert der zum Absatz bestimmten Produkte. Im Gegensatz zum Umsatz ist im Wert der zum Absatz bestimmten Produktion auch der Eigenverbrauch des Sektors enthalten. Werte hinsichtlich der Investitionstätigkeit können der *Fachserie 4, Reihe 4.2.1,* entnommen werden.

Zur Umrechnung des Brennstoffverbrauchs in Energieeinheiten werden die Heizwerte des Statistischen Bundesamts, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, herangezogen. Heizwerte für Primärenergieträger die nicht vom Statistischen Bundesamt berücksichtigt wurden, sind durch die Angaben der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen* (AGEB 2003) ergänzt worden. Direkt von den Industrieverbänden gemeldete Brennstoffverbräuche werden ausschließlich anhand der AGEB-Heizwerte in Energieäquivalente umgerechnet.

Kohleerzeugnisse des Basisjahrs 1990 werden gemäß der publizierten Heizwerte des Monatshefts 1/1987 in Energieäquivalente umgerechnet (StaBuA 1987). Per Jahresheft 1995 wurden die Heizwerte für Kohleerzeugnisse angepasst (StaBuA 1995). *Gasförmige Brennstoffe* werden seitens des Statistischen Bundesamts standardisiert in Form von Normkubikmetern (Nm^3) mit einem oberen Heizwert von 35,16912 MJ/Nm^3 behandelt. Seit 1995 werden Gase in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, in Kilowattstunden ausgewiesen. Im Rahmen des Monitoring werden alle gasförmigen Brennstoffe außer Flüssiggas mit einem unteren Heizwert von 31,736 MJ/Nm^3 bewertet.

Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft wird vom Statistischen Bundesamt gesondert behandelt. Monatlich werden für diesen Sektor die „*Ausgewählten Zahlen zur Energiewirtschaft*" publiziert. Hieraus können Angaben zum Brennstoffverbrauch, der Brutto- und Nettostromerzeugung sowie zu Umsatz und Beschäftigung für die gewerblichen Elektrizitätserzeuger entnommen werden. Bis 1999 wurde die Stromerzeugung der Bahn gesondert aufgeführt. Seit 2000 ist dies nicht mehr der Fall. Die *industrielle Stromerzeugung* wird seitens des Statistischen Bundesamts in der Fachserie 4, Reihe 6.4., Nationale Stromerzeugungsmengen, der Stromaußenhandel sowie der Stromverbrauch wird von der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen* auf Jahresbasis publiziert (AGEB 2005). Ausgewählte Leistungsdaten der Energiewirtschaft werden der *Statistik der Energiewirtschaft* (VIK 2005a) entnommen.

Der Brennstoffverbrauch der *Eisenschaffenden Industrie* kann der Eisen- und Stahlstatistik des Statistischen Bundesamts entnommen werden. Die für diesen Wirtschaftszweig bedeutsamen Gase – Hochofengas, Kokereigas, Erdgas und Konvertergas – werden ebenso wie Erdgas auf den oberen Heizwert 35,16912 MJ/Nm^3 standardisiert und in Normkubikmetern publiziert (BGS 1984).

Die für die einzelnen Sektoren geschilderten CO_2-Minderungsmaßnahmen entstammen grundsätzlich den jeweiligen Fortschrittsberichten für die Berichtsperiode, denn es ist Aufgabe der beteiligten Industrieverbände, ihre CO_2-Reduktionserfolge für die jeweilige Berichtsperiode regelmäßig zu dokumentieren. Die einzelnen Berichte werden dem RWI Essen zur Verfügung gestellt und können im Internet unter der Adresse http://www.rwi-essen.de/co2monitoring eingesehen werden.

Literaturverzeichnis

AGEB (verschiedene Jahrgänge), Endenergieverbrauch nach Energieträgern in Deutschland. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Internet: www.ag-energiebilanzen.de/daten/eev_energietraeger.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

AGEB (2003), Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeeinheiten zur Energiebilanz 2001, Stand Juli 2003, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Berlin, Bonn, Internet: http://www.ag-energiebilanzen.de. Abrufdatum: 06.07.2005.

AGEB (2004), Einsatz von Energieträgern zur Stromerzeugung, Stand Oktober 2004, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Berlin, Bonn, Internet: http://www.ag-energiebilanzen.de. Abrufdatum: 06.07.2005.

AGEB (2005), Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2004 nach Energieträgern, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Berlin, Internet: http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/str0205w1.pdf. Abrufdatum; 06.07.2005.

AGEB (2007), Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2006 nach Energieträgern. Stand 25. Januar 2007. Berlin: AG Energiebilanzen e.V., Internet: http://www.ag-energiebilanzen.de/, abgerufen am 1.8.2007.

Aichinger, H.M., G.W Hoffmann und M. Seeger (1991), Rationelle und umweltverträgliche Energienutzung in der Stahlindustrie der Bundesrepublik Deutschland, *Stahl und Eisen*, Vol. 111 (4): 43-51.

Ameling, D. (2004), Stahlindustrie im Aufschwung, *Stahl und Eisen*, Vol. 124 (5): 74-81.

Ameling, D, H.M. Aichinger (2001), Beitrag von Wirtschaft und Stahlindustrie zur Minderung klimawirksamer Emissionen in Deutschland im Kontext der Klimavorsorgepolitik, *Stahl und Eisen*, Vol. 121 (7): 61-69.

Ameling, D., H.B. Lüngen (2004), The Coke Scenario of the German and EU15 Steel Industry, *Stahl und Eisen*, Vol. 124 (9): 25-34.

BAFA (2006), Durchschnittliche Importkohlepreise und -mengen. Entwicklung der Inlandslieferungen 1980-2006. Eschborn. http://www.bafa.de/1/de/download/xls/statistiken/energie_1980_2006_drittlandskohle.xls; Abgerufen: 27.09.2006.

BAFA (2007), Drittlandssteinkohlenpreise. Historische Preise von 1980 bis heute. Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Internet: www.bafa.de/bafa/de/energie/steinkohle/statistiken/preise.xls. Abrufdatum: 02.07.2007.

Baumgärtner, S. und R. Winkler (2005), Preisambivalenz von Altpapier. Eine ökonomische Konsequenz der deutschen Abfallgesetzgebung 1985–2000. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung*, erscheint demnächst.

Baupraxis (2005), Die Ziegelherstellung – Von der Rohstoffgewinnung bis zum Mauerziegel. Baupraxis Redaktion, Internet: www.baupraxis.de/magazin/ bauoekologie/ziegelproduktion1.html, Abrufdatum: 25.07.2005.

BDI (2000), Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Bundesverband der Deutschen Industrie e.V., Internet: www.rwi-essen.de/co2monitoring, http://www.bundesregierung.de/top/dokumente/Artikel/ix_23637.htm, Abruf: 25.07.2005.

BDZ (verschiedene Jahrgänge), Daten und Zahlen. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e. V. (Hrsg.), Köln.

BGS (1984), *Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Preß und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokerei): Jahr 1984*, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Zweigstelle Düsseldorf.

BGS (2000), *Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Preß und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokereien): Jahr 2000*, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Zweigstelle Bonn.

BGS (2001), *Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Preß und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokereien): Jahr 2001*, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Zweigstelle Bonn.

BGS (2002), *Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Preß und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokereien): Jahr 2002*, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Zweigstelle Bonn.

BGS (2003), *Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Preß und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokereien): Jahr 2003*, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Eisen- und Stahlstatistik, Zweigstelle Bonn.

BGS (2004), *Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Preß und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokereien): Jahr 2004*, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Eisen- und Stahlstatistik, Zweigstelle Bonn.

BGW (2001): Klimaschutz des deutschen Gasfachs 1990 – 2012. Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Berlin.

Birnbaum, K.U. und H.-J. Wagner (1991), Einheitliche Berechnung von CO_2-Emissionen. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 42 (1/2): 78-80.

Bleuel, M., B. Hillebrand und A. Oberheitmann (2004), Energiemix der Zukunft unter besonderer Berücksichtigung regenerativer Energien in Nordrhein-Westfalen. RWI Materialien, 12. RWI, Essen.

BMF (2005), Entwicklung der Mineralöl- und Stromsteuersätze in der Bundesrepublik Deutschland. Berlin: Bundesministerium der Finanzen.

BMU (1994): Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der vereinten Nationen über Klimaänderungen, Bundesministerium für Umwelt (Hrsg.), Bonn.

BMU (2004), Nationaler Allokationsplan für die Bundesrepublik Deutschland 2005-2007. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Internet: www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ nap_kabinettsbeschluss.pdf , Abrufdatum: 25.07.2005.

BMWA (2003), Der Bergbau in der Bundesrepublik Deutschland – Bergwirtschaft und Statistik, 54. Jahrgang, Berlin: 15.

BMWA (2005a), Branchenfokus Glasindustrie- und Gewerbe. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.), Berlin, Internet: www.bmwa.bund.de/

Navigation/Wirtschaft/Branchenfokus/Industrie/glasindustrie-und-gewerbe.html, Abrufdatum: 25.07.2005.

BMWA (2005b), Branchenfokus Textil und Bekleidung. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.), Berlin, Internet: www.bmwa.bund.de/Navigation/Wirtschaft/Branchenfokus/Industrie/textil-und-bekleidung,did=31598,render=renderPrint.html, Abrufdatum: 27.05.2005.

BMWA (2005c), Branchenfokus Energieversorgung. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.), Berlin, Internet: www.bmwa.bund.de/Navigation/Wirtschaft/Branchenfokus/Bergbau-und-Energie/energieversorgung.html, Abrufdatum: 25.07.2005.

BMWA (2005d), Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung, Berlin, Internet: www.bmwa.bund.de/Navigation/Technologie-und-Energie/ Energiepolitik/energiedaten,did=51884.html, Abrufdatum: 25.07.2005.

BMWA (2006) Entwicklung von Energiepreisen und Preisindizes. Internet: www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/bestellservice,did=51848.html; Abgerufen: 25.09.2006.

BMWA (2006), Zahlen und Fakten: Energiedaten. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Internet: www.bmwi.de/bmwi/navigation/energie/ energiestatistiken.html, Abrufdatum: 02.07.2007.

BMWA (2007), Branchenfokus Energieversorgung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.). Internet: http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/branchenfokus,did=171612.html, abgerufen am 31.7.2007

BMWi (2007), Zahlen und Fakten: Energiedaten. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

BNI (2004), Bericht der Geschäftsführung. Bundesverband Naturstein-Industrie e.V. (Hrsg.), Köln.

BP (2005), Putting energy in the spotlight. BP Statistical Review of World Energy June 2005. London: BP p.l.c.

BP (2006), Quantifying energy. BP Statistical Review of World Energy June 2006, London: BP p.l.c.

Bundesverband Windenergie e.V. (2007), Die Entwicklung der Windenergie in Deutschland. Osnabrück. Internet: http://www.wind-energie.de/de/statistiken/, abgerufen am 26.7.2007.

Buttermann, H.G., und B. Hillebrand (2002), Die Klimaschutzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 - eine abschließende Bilanz. Monitoring-Bericht 2000, Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Institutes für Wirtschaftsforschung, Essen, Heft 40.

Buttermann, H.G. (2003/04), Die zukünftige Energie- und Rohstoffeffizienz in der Papierindustrie – Möglichkeiten und Grenzen. RWI Mitteilungen Quarterly 54/55: 31-50.

BVB (2004), Konjunkturperspektiven 2004, Rückblick und Ausblick auf die Konjunkturentwicklung in der Baustoff-, Steine- und Erden-Industrie und im Bausektor. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (Hrsg.), Berlin.

BV Glas (2001), Erklärung der deutschen Glas- und Mineralfaserindustrie zur Reduzierung der spezifischen CO_2-Emissionen. Bundesverband Glasindustrie e.V. (Hrsg.), Düsseldorf.

BV Glas (2004a), Jahresbericht 2003, Bundesverband Glasindustrie e.V. (Hrsg.), Düsseldorf.

BV Glas (2004b), GlasNews, Ausgabe 1. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V.

BV Glas (2005), Jahresbericht 2003. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V.

BV Glas (2007), Selbstverpflichtung der deutschen Glasindustrie. Hier: Besondere Maßnahmen in den Jahren 2003 bis 2004. Düsseldorf: Bundesverband der Glasindustrie e.V.

BV-Kalk (1998), Kalkforum 6- Kalk und Klimaschutz- Neue Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung. Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie, Internet: www.kalk.de/publi/d/Klima_kl.pdf, Abrufdatum: 25.07. 2005.

BV-Kalk (2005) Fortschrittsbericht des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie, Internet: www.rwi-essen.de/co2monitoring, Abrufdatum: 25.07. 2005.

BV-Kalk (2006) Fortschrittsbericht des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie 2003, Köln: Bundesverband der deutschen Kalkindustrie.

BV-Kalk (2006a) Fortschrittsbericht des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie 2004, Köln: Bundesverband der deutschen Kalkindustrie.

DBU (2002), Presseinformation der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Nr. 24/2002 vom 11.4.2002, Massive Umweltentlastung bei der Herstellung von Winkelriemchen, Osnabrück 2002.

DEHST (2004), *Zum Anwendungsbereich des Treibhausgasemissionsghandelsgesetz – TEHG*. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt, Dessau, Internet: www.dehst.de, Abrufdatum: 25.07.2005.

DEHST (2005), *Emissionshandel in Deutschland: Verteilung der Emissionsberechtigungen für die erste Handelsperiode 2005 – 2007*. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt, Dessau, Internet: http://www.dehst.de, Abrufdatum: 25.07.2005.

Deutsche Bundesbank (2006), Zeitreihenservice. Frankfurt. Internet: www.bundesbank.de/statistik/statistik_zeitreihen.php, Abrufdatum: 28.09.2006.

Deutsche Steinzeug Cremer und Breuer AG (2002), Geschäftsbericht 2002, Alfter-Witterschlick, Internet: www.deutsche-steinzeug.de/download/download/30_gb 2002voll.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

Deutsche Steinzeug Cremer und Breuer AG (2005), Geschäftsbericht 2004. Alfter-Witterschlick, Internet: http://www.deutsche-steinzeug.de.

Deutsche Steinzeug Cremer und Breuer AG (2006), Zwischenbericht zum 30.06.2006. Alfter-Witterschlick, Internet: http://www.deutsche-steinzeug.de.

Drasdo, P., und F. Starrmann (2000), Analyse und Prognose des Energieeinsatzes des Energieaufkommens und der CO_2-Emissionen der Papierindustrie in Deutschland. *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 24 (3): 169–189.

DSK (2005), Lexikon. Deutsche Steinkohle AG. Internet: www.deutsche-steinkohle.de/lexikon.php?letter=a&id=30&?id=30, Abrufdatum: 25.07.2005.

EIA (2004), Country Analysis Briefs – Germany, Internet: www.eia.doe.gov/emeu/cabs/germany.html, Abrufdatum: 25.07.2005.

Energiewelten (2005), Steinkohlenbergwerk, Internet: www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm, Abrufdatum: 25.07.2005.

EU (2000), Vorschlag für eine Überarbeitung der Zuckermarktordnung. Newsletter Nr. 27 Europäische Kommission Generaldirektion Landwirtschaft. Europäische Kommission (Hrsg.), Oktober 2000.

EU (2001a), EG Verordnung Nr. 1260/2001 des Rates vom 19. Juni 2001 über die gemeinsame Marktorganisation für Zucker, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L178/1.

EU (2001b), Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt, Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001, Brüssel.

EU (2002), Staatliche Beihilfe – N449/2001 Deutschland, Fortführung der ökologischen Steuerreform nach dem 31. März 2002, Europäische Kommission, Brüssel, Internet: europa.eu.int/comm/secretariat_general/sgb/state_aids/comp-2001/n449-01.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

EU (2003), Richtlinie 2003/96EG des Rates zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom. Amtsblatt der Europäischen Union, L283/51,Brüssel. Internet: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2003/l_283/l_28320031031de00510070.pdf Abrufdatum 19.07.2005.

EU (2006), EG Verordnung Nr. 318/2006 des Rates vom 20. Februar 2006 über die gemeinsame Marktorganisation für Zucker, Amtsblatt der Europäischen Union L58/1.

Eurofer (2005), *Report on the Economic and Steel Market Situation up to Q.III/2005 and preliminary forecast Year 2005*, European Confederation of Iron and Steel Industries, Brüssel, Internet: http://www.eurofer.org/marketReport/marketReport.pdf, Abrufdatum: 27.06. 2005.

EWI/Prognos (2005), *Energiereport IV: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030*. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (Hrsg.) sowie Prognos AG, Berlin, Vulkan Verlag.

Feuerfest (2000), Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Aktualisierte Erklärung für 2000 über die Selbstverpflichtung zur Einsparung von CO_2 bis 2012. Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V., Bonn.

Feuerfest (2003), Geschäftsbericht 2003. Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V., Bonn.

Feuerfest (2004), Geschäftsbericht 2004 (Auszug). Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V., Bonn.

Feuerfest (2005a), *Geschäftsbericht 2005 (Auszug)*. Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V., Bonn.

Feuerfest (2005b), Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Fortschrittsbericht für die Jahre 2000 - 2003, Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V., Bonn.

Feuerfest (2007), *Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Fortschrittsbericht für die Jahre 2003 und 2004*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Fliesenverband (2000), Weiterentwicklung der Selbstverpflichtung zum Klimaschutz. Selb.

Fliesenverband (2004), CO_2-Monitoring, Erklärung des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e.V. vom 9.11.2004, Selb.

Fliesenverband (2005), Fortschrittsbericht. Selb.

Freiherr von Landsberg, D. (2004), Auswirkungen des Emissionshandels auf die deutsche Kalkindustrie. *Zement-Kalk-Gips International* 57 (7).

Gagelmann, F. und M. Frondel (2005), The Impact of Emissions Trading on Innovation - Science Fiction or Reality? *European Environment*, forthcoming.

Gesamtverband textil+mode (2004), Zahlen zur Textil- und Bekleidungsindustrie, im Terminkalender stets zur Hand. Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie (Hrsg.), Eschborn, Internet: www.textil-online.de/deutsch/Publikationen/Bro-schueren/K145.htm, Abrufdatum: 25.07.2005.

Gesamtverband textil+mode (2005), Fortschrittsbericht im Rahmen der Klimaschutzerklärung: Erfolgreiche Energieeinsparmaßnahmen der Textilindustrie 2000 bis 2002. Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie (Hrsg.), Eschborn.

Gesamtverband textil+mode (2006), Zahlen zur Textil- und Bekleidungsindustrie, im Terminkalender stets zur Hand. Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie (Hrsg.), Eschborn. Internet: http://www.textil-online.de /deutsch/ Publikationen/Broschueren/K145.htm, Abrufdatum 19.03.2007.

Gesamtverband textil+mode (2007), Fortschrittsbericht im Rahmen der Klimaschutzerklärung: Erfolgreiche Energieeinsparmaßnahmen der Textilindustrie 2003 und 2004. Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie (Hrsg.), Eschborn.

GVSt (2002), Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Industrie zur Klimavorsorge vom 9. November 2000. Erklärung des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus vom 30. Mai 2002, Essen.

GVSt (2003a), Steinkohle Jahresbericht 2003. Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen.

GVSt (2003b), Steinkohle 2003. Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen.

GVSt (2004), Steinkohle Jahresbericht 2004. Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen.

GVSt (2005), Fortschrittspapier zur Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Industrie zur Klimavorsorge vom 9. November 2000. Erklärung des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus zu den Jahren 2000 bis 2002 vom 11. Februar 2005. Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen.

GVSt (2007), 2. Fortschrittspapier zur Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Industrie zur Klimavorsorge vom 9. November 2000. Erklärung des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus zu den Jahren 2003 und 2004 vom 15. Mai 2007-Essen.

Göttsching, L. (1993), Steigerung des Altpapiereinsatzes unter dem Einfluss von gesetzlichen Maßnahmen in Deutschland. *Wochenblatt für Papierfabrikation* 121: 149-156.

Göttsching, L. (1998), Altpapier im Wettbewerb mit Primärfaserstoffen. *Papier* 52: V68–V71.

Grefermann, K. (1988), Bestimmungsfaktoren des Fasereinsatzes in der Papierindustrie der Bundesrepublik Deutschland. Ifo-Studien zur Industriewirtschaft 36. ifo, München.

Hatzl, T. und P.L. Gehlken (2001), Mineralische Rohstoffe in der Ziegelindustrie – Wichtige Parameter in der täglichen Praxis des Geowissenschaftlers-, in: *Ziegelindustrie ZI - 11/2001*, Internet: www.mineral-consult.de/ziegelindustrie_teil1/ziegelindustrie_teil1.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

Heinrich, P. und M Schubert (1995), Ministahlwerke und neuere Entwicklungen bei Gleichstrom-Lichtbogenöfen, Stahl und Eisen, Vol. 115 (5): 47-53.

Hillebrand, B., H.G. Buttermann und A. Oberheitmann (1997), CO_2-Monitoring der deutschen Industrie – ökologische und ökonomische Verifikation", Band 1, Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung (Hrsg.), Essen, Heft 23/1.

Holcim (2004), *Kleine Zementgeschichte*, Version 1.2. Holcim (Schweiz) AG, Communications (Hrsg.), Zürich.

IEA (2004), Renewables Information. International Energy Agency, IEA Books, Paris.

IGBCE (2003), Multis im Glasgeschäft: Grenzenlos aktiv. IG Bergbau, Chemie und Energie, Hannover 2003.

IPPC (2001), Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, European Commission, Internet: www.eula.be/EULA/pixdyn00.nsf/0/6AB2523B438894CEC1256EC20032E009/$File/LIME%20BREF.pdf, Abruf: 25.07.2005.

IPPC-Richtlinie (1996), Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Rat der Europäischen Union, Internet: europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=de&numdoc=31996L0061&model=guichett, Abrufdatum: 25.07.2005.

IISI (2004), *Steel Statistical Yearbook 2004*, International Iron and Steel Institute, Brüssel. Internet: http://www.worldsteel.org/ssy.php, Abrufdatum: 02.07.2007.

IISI (2006), *Steel Statistical Yearbook 2006*, International Iron and Steel Institute, Brüssel. Internet: http://www.worldsteel.org/ssy.php, Abrufdatum: 02.07.2007.

ISI (1992), Methodenstudie zur Emittentenstruktur in der Bundesrepublik Deutschland, Verknüpfung von Wirtschaftsstruktur und Umweltbelastungsdaten. Forschungsbericht 92-101 05 014 des Umweltforschungsplans im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (Hrsg.), Karlsruhe.

K+S (2002), *Geschäftsbericht 2002*, Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

K+S (2004a), *Geschäftsbericht 2004*, Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

K+S (2004b), Nachhaltigkeitsbericht 2004, K+S Aktiengesellschaft, Kassel (Hrsg.), Internet: www.k-plus-s.com/pdf_de/2004/nachhaltigkeitsbericht.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

Käding, G., H. Bleilebens, F. Wolfdietrich, W. Dietrich und K. Wünneberg (1993), Innovationsprozesse in der Stahlindustrie, *Stahl und Eisen*, Vol. 113 (3): 39-47.

Kaliverein (2002), Positionspapier zum Emissionshandel, Internet: www.kaliverein.de/pdf/emissionshandel.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

KBA (2002) Statistische Mitteilungen – Reihe 2: Kraftfahrzeuge, Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2002, Jahresband 2002. Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.), Flensburg, Internet: www.kba.de/Abt3_neu/KraftfahrzeugStatistiken/Reihen/Reihe2_2002.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

KBA (2004) Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen – Reihe 2: Kraftfahrzeuge, Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2004, Jahresband 2004. Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.), Flensburg, Internet: www.kba.de/Abt3_neu/KraftfahrzeugStatistiken/Reihen/Reihe2_2004.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

KBA (2003) Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen – Reihe 2: Kraftfahrzeuge, Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2003, Jahresband 2003. Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.), Flensburg, Internet: www.kba.de/Abt3_neu/KraftfahrzeugStatistiken/Reihen/Reihe2_2003.pdf. Abrufdatum: 25.07.2005.

KBA (2006) Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen – Reihe 2: Kraftfahrzeuge, Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2005, Jahresband 2006. Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.), Flensburg, Internet: http://www.kba.de/Abt3_neu/KraftfahrzeugStatistiken/Reihen/Reihe2_2006.pdf

Kohlenstatistik (2006), Zahlen zur Kohlenwirtschaft. Essen und Köln: Statistik der Kohlenwirtschaft e.V.

Kohlenwirtschaft (2005), Tabelle Steinkohle im Überblick, Stand 31. Januar 2005. Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., Internet: www.kohlenstatistik.de/download/SteinkohleUebersicht.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

Kohlenwirtschaft (2007), Entwicklung ausgewählter Energiepreise. Essen, Köln: Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. Internet: www.kohlenstatistik.de/download, Abrufdatum: 02.07.2007.

Krukowski, S.T. (2004), Common factors in the lime industry provide obstacles to global market access. *Mining Engineering* 56 (11).

Kruska, M., J. Meyer, N. Elsasser, A.Trautmann, P. Weber und T. Mac (2001), *Rationelle Energienutzung in der Textilindustrie.* Leitfaden für die betriebliche Praxis. Braunschweig: Vieweg Verlagsgesellschaft.

Löbbe, K., J. Dehio, R. Graskamp, M. Halstrick-Schwenk, R. Janßen-Timmen, A.-R. Milton, W. Moos, M. Rothgang und M. Scheuer (2001), Die feinkeramische Industrie. Untersuchungen des RWI 38, RWI Essen.

Lohmann, D. (1999), Untersuchungen zur Vermeidung zu hoher pH-Werte in weichen Trinkwassern bei der Inbetriebnahme von Rohrleitungen mit einer Zementmörtelauskleidung, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung, Institut an der Gerhard-Mercator-Universität-GH Duisburg, Internet: www.ub.uni-duisburg.de/diss/diss0011, Abrufdatum: 25.07.2005.

Lüngen, H.B. und P. Schmöle (2004), Hochofenbetrieb ohne Koks und Kohlenstoff?, *Stahl und Eisen*, Vol. 124 (11): 63-72.

Matthes, F.Ch. und H.-J. Ziesing (2005), *Sicherheit der Rohstoffversorgung – eine politische Herausforderung?!* Kurzstudie für die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen. Berlin.

Meyer, J., M. Sturm, A. Trautmann, M. Kruska, P. Weber, N. Elsasser, und T. Mac (2000a), Branchen-Energiekonzept zur Senkung der Energiekosten in der Textilindustrie – Teil I. *Melliand Textilberichte* 81: 419-422.

Meyer, J., M. Sturm, A. Trautmann, M. Kruska, P. Weber, N. Elsasser, und T. Mac (2000b), Branchen-Energiekonzept zur Senkung der Energiekosten in der Textilindustrie – Teil II. *Melliand Textilberichte* 81: 532-535.

Meyer, A. (2001), Produktbezogene ökologische Wettbewerbsstrategien. Handlungsoptionen und Herausforderungen für die Textilbranche. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

MWV (2001), Zweite Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölwirtschaft für den Wärmemarkt.

MWV (2003a), Zweiter Forschrittsberichts zur Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband.

MWV (2004a), Dritter Forschrittsbericht zur Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien. Hamburg.

MWV (2004b), Sechster Fortschrittsbericht der deutschen Mineralölwirtschaft zur Klimaschutzerklärung für den Wärmemarkt. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband.

MWV (2006), Jahresbericht Mineralöl-Zahlen 2005. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband.

MWV (2007a), Jahresbericht Mineralölzahlen 2006. Hamburg. Internet: http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idart=2&idcat=9, abgerufen am 29.Mai 2007.

MWV (2007b), Vierter Forschrittsbericht zur Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien. Hamburg.

OECD (2001), CO_2 Emissions from Fuel Combustion, 1971 - 1999. IEA, OECD, Paris.

Piringer, H. und A. Loebner (2004), Investitionskostenoptimierung bei der Entwicklung einer neuen Generation von Maerz-GGR-Kalköfen. *Zement-Kalk-Gips International* 57 (2).

RAG (2005), Glossar, Geschäftsbericht 2002, Internet: http://www.rag.de/geschaeft/page_de/rag_allgemein_2002.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005

Reinefeld, E. und K. Thielecke (1984), Die Technologie des Zuckers. *Chemie in unserer Zeit* 18 (6): 181-190.

RWI (2001), Konjunktur in Nordrhein-Westfalen, Halbjahresbericht des RWI. Gutachten für das Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes NRW 1/2001:11, Essen:Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung.

RWI (2005), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringbericht 2000 bis 2002. RWI-Projektberichte. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung. Internet: www.rwi-essen.de/co2monitoring.

Routschka, G. (2001), *Taschenbuch Feuerfeste Werkstoffe*, 3. Auflage, Vulkan Verlag, Essen.

Schiffer, H.-W. (2003), Deutscher Energiemarkt 2002. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 53 (3): 168-179.

Schmitz (2005), Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzerklärung des deutschen Gasfachs 2002/2003. Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg.

Schmitz (2006a), Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzerklärung des deutschen Gasfachs 2004/ 2005. Ergänzende Daten. Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg.

Schmitz (2006b), Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzerklärung des deutschen Gasfachs 2004/ 2005. Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg.

Schmöle, P. und B. Lüngen (2004), Roheisenerzeugung im Hochofen unter ökologischer Betrachtungsweise, *Stahl und Eisen*, Vol. 124 (5): 27-34.

StaBuA (1987), *Beschäftigte, Umsatz und Energieversorgung der Unternehmen und Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe*, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, Monatsheft Januar 1987, Statistische Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.

StaBuA (verschiedene Jahrgänge), Ausgewählte Zahlen zur Energiewirtschaft. Monats- und Jahresberichte für 1995 bis 2003. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.

StaBuA (1991), Statistisches Jahrbuch für das vereinte Deutschland. Statistisches Bundesamt, Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA (1993), Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Internet: www.destatis.de/download/d/klassif/wz93.pdf, Abrufdatum: 25. Juli 2005.

StaBuA (2000), Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe, Fachserie 4 „Produzierendes Gewerbe“, Reihe 6.4, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Hrsg.).

StaBuA (2001), Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 6.4, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wiesbaden.

StaBuA (2005), Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe, Fachserie 4 „Produzierendes Gewerbe“, Reihe 6.4, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Hrsg.).

StaBuA (2006), Produktion im Produzierenden Gewerbe. Fachserie 4 „Produzierendes Gewerbe“, Reihe 3.1 Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA (2007a), Inlandsproduktberechnung 2006. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18 „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen“, Reihe 1.4. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA (2007b), Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Qualitätsbericht. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R2.1 (verschiedene Jahrgänge), Produzierendes Gewerbe. Indizes der Produktion und der Arbeitsproduktivität im Produzierenden Gewerbe. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS4/R3.1 (2004), Produzierendes Gewerbe. Produktion im Produzierenden Gewerbe. Statistisches Bundesamt, Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS4/R4.1.1 (verschiedene Jahrgänge), Produzierendes Gewerbe. Beschäftigung, Umsatz und Energieversorgung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS4/R4.1.1 (2003), Produzierendes Gewerbe. Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steine und Erden. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS4/R4.1.1 (2004), Produzierendes Gewerbe. Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steine und Erden. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS4/R4.2.1 (2003), Beschäftigte, Umsatz und Investitionen der Unternehmen und Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Statistisches Bundesamt, Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS4/R6.4 (2001), Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe. Statistisches Bundesamt, Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS4/R6.4 (2004), Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe. Statistisches Bundesamt, Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS5/R1 (verschiedene Jahrgänge), Bautätigkeit und Wohnungen. Bautätigkeit. Statistisches Bundesamt, Stuttgart: Metzler-Poeschel.

StaBuA/FS18/R1.3 (verschiedene Jahrgänge), Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Inlandsproduktsberechnung. Statistisches Bundesamt, Stuttgart: Metzler-Poeschel.

Steimle und Schikora (verschiedene Jahrgänge), Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Prof. Dr. Fritz. Steimle, Dr. Ing. Holger Schikora, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzerklärung des deutschen Gasfachs. Universität-Gesamthochschule, Essen.

Steimle und Schikora (2003), Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Prof. Dr. Fritz. Steimle, Dr. Ing. Holger Schikora, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzerklärung des deutschen Gasfachs. Universität-Gesamthochschule, Essen.

Taube, K. (1998), *Stahlerzeugung Kompakt*, Vieweg Verlag, Braunschweig.

Treppschuh, F., L. Bandusch, H. Fuchs, M. Schubert und K. Schaefers (2003), Neue Technologien bei der Elektrostahlerzeugung – Einsatz und Ergebnisse, *Stahl und Eisen*, Vol. 123 (2): 53-57.

UBA (2002), Emissionen nach Emittentengruppen in Deustchland 1990 bis 2000. Umweltbundesamt, Dessau, Internet: www.umweltdaten.de/luft/ed-2000.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

UBA (2005), *Deutsches Treibhausgasinventar 1990 – 2003, Nationaler Inventarbericht 2005*. Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, Internet: www.umweltbundesamt.de/luft/emissionen/bericht/aktuelle_daten/aktuelle_daten.htm, Abrufdatum: 25.07.2005.

UBA (2007a), Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2005. Berlin: Umweltbundesamt. Internet: www.uba.de, Abrufdatum: 30.08.2007.

UBA (2007b), Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 - 2005 (Version 1.05 vom 28.03.2007, Arbeitsstand). Berlin: Umweltbundesamt, Internet: http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/index.htm, abgerufen am 1.8.2007.

VCI (2001), Weiterentwickelte Selbstverpflichtungserklärung der chemischen Industrie im Rahmen der Klimaschutzvereinbarung der deutschen Wirtschaft vom November 2000. Verband der Chemischen Industrie (Hrsg.), Internet: www.rwi-essen.de/co2monitoring, Abrufdatum: 25.07.2005.

VCI (2007a), Chemiewirtschaft in Zahlen 2007, Verband der Chemischen Industrie e.V. (Hrsg.), Frankfurt. Internet: www.vci.de.

VCI (2007b), Die Chemische Industrie in Deutschland, Stand August 2007, Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt. Internet: www.vci.de.

VCI (2005), Dokumentation energiesparender bzw. CO_2emissionsmindernder Maßnahmen der chemischen Industrie 2000-2002. Fortschrittsbericht des Verbandes der Chemischen Industrie (Hrsg.), Internet: www.rwi-essen.de/co2monitoring, Abrufdatum: 25.07.2005.

VDEW (1999), Stromversorger 1991-1998. 104 Milliarden DM Strom-Investitionen. Verband der Elektrizitätswirtschaft, Internet: www.strom.de, Abrufdatum: 25.07.2005.

VDEW (2004), Leistungsbilanz 2002/2003. Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V., Berlin, Internet: www.strom.de, Abrufdatum: 25.07. 2005.

VDEW (2005), Bericht 2005 des VDEW zur Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge und zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, Teilbericht 1: Erklärung des VDEW zum Klimaschutz vom 10. März 1995/27. März 1996, Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V., Berlin, Internet: www.rwi-essen.de/co2monitoring, Abrufdatum: 25.07. 2005.

VDEW (2007), Bericht 2005 des VDEW zur Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge und zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, Teilberichte 1 und 2. Teilbericht 1: Erklärung des VDEW zum Klimaschutz vom 10. März 1995/27. März 1996, . Berlin: Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V., 29. Juni 2007, Berlin.

VDKI (2004), Jahresbericht 2003. Hamburg: Verein der Kohlenimporteure e.V. Internet: www.verein-kohlenimporteure.de, Abrufdatum: 27.09.2006.

VDKI (2005), Jahresbericht 2004, Verein der Kohlenimporteure e.V., Hamburg, Internet: http://www.verein-kohlenimporteure.de/.

VDKI (2007), Jahresbericht 2006. Hamburg: Verein der Kohlenimporteure e.V. Internet: www.verein-kohlenimporteure.de, Abrufdatum: 02.07.2007.

VDN (2007), Selbstverpflichtung zum SF6-Einsatz; http://www.vdn-berlin.de/akt_sf6_2005_06_20.asp, abgerufen am 5.7.2007.

VDP (mehrere Jahrgänge), Papierkompass. Verein Deutscher Papierfabriken e.V. (Hrsg.), Bonn.

VDP (2000), Papier 2000. Ein Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

VDP (2001), Erklärung der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie zur Reduzierung des spezifischen Kohlendioxidausstoßes aus fossilen Energieträgern. Aktualisierung 2000. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (PDF-File).

VDP (2002), Papier 2002 – Ein Leistungsbericht. Verein Deutscher Papierfabriken e.V. (Hrsg.), Bonn.

VDP (2005a), Monitoringbericht der deutschen Zellstoff und Papierindustrie zur Reduzierung des spezifischen Kohlendioxidausstoßes aus fossilen Energieträgern. Fünfter Zwischenbericht (2000-2002) der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie. Verein Deutscher Papierfabriken e.V. (Hrsg.), Bonn.

VDP (2005b), Papier Kompass 2005. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (PDF-File). VDP (2006), Papier Kompass 2006. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (PDF-File).

VDP (2007a), Monitoring-Bericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie zur Reduzierung des spezifischen Kohlendioxidausstoßes aus fossilen Energieträgern. Sechster Zwischenbericht (2003-2004) der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (PDF-File).

VDP (2007b), Papier 2007. Ein Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

VdZ (2000), Verbändeerklärung des Vereins der Zuckerindustrie zur „Vereinbarung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge“. Verein der Zuckerindustrie, Berlin, 19. Dezember 2000.

VdZ (2004), Monitoring zur Minderung des CO_2-Ausstoßes in der Zuckerindustrie - 5.-7. Verbändebericht für die Jahre 1999/2000 bis 2001/2002. Verein der Zuckerindustrie, Berlin, 25. Oktober 2004.

VdZ (2006), Monitoring zur Minderung des CO_2-Ausstoßes in der Zuckerindustrie - 8. und Verbändebericht für die Jahre 2003 und 2004 vom 13. Dezember 2006, Berlin: Verein der Zuckerindustrie.

VDZ (2000), Verminderung der CO_2-Emissionen – Beitrag der deutschen Zementindustrie. Fortschrittsbericht des Vereins Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf.

VDZ (2005), Verminderung der CO_2-Emissionen – Beitrag der deutschen Zementindustrie, Siebte aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge, Monitoring-Bericht 2000-2003. Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf, Internet:

http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/UmweltundRessourcen/co2monitoring/mon03.pdf, Abrufdatum: 25.07.2005.

VDZ (2007), Verminderung der CO2-Emissionen – Beitrag der deutschen Zementindustrie, Achte aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge, Monitoring-Bericht 2004-2006. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e. V.

VGB (2004), Referenzkraftwerk Nordrhein-Westfalen. VGB Powertech, Ausgabe 5/2004: 76-89.

VIK (1993), Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. - Ziele, Aufgaben, Dienstleistungen, Essen.

VIK (1998), Praxisleitfaden zur Förderung der rationellen Energieverwendung in der Industrie. Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (Hrsg.), Essen: Verlag Energieberatung GmbH.

VIK (2005a), Der VIK – Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. Internet: http://www.vik.de/index.php**,** abgerufen am 6.11.07.

VIK (2005b), *Statistik der Energiewirtschaft, Ausgabe 2005*. Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (Hrsg.), Verlag Energieberatung, Essen.

VIK (2005c), Fortschrittsbericht des VIK zum CO_2-Monitoring im Rahmen der Vereinbarungen zwischen der Bundesregierung und der Deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom November 2000 und zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung vom 19. Mai 2005, Essen.

VIK (2007a), *Statistik der Energiewirtschaft, Ausgabe 2007*, Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (Hrsg.), Verlag Energieberatung, Essen.

VIK (2007b), Bericht 2005 des VIK (Teilberichte für 2003 und 2004 sowie 2005) zur Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge und zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, Stand November 2007, Essen.

Villeroy & Boch AG (2002), Geschäftsbericht 2002, Mettlach, Internet: http://www.villeroy-boch.com/kkm/download/consumer/ir/berichte/geschaeft/Geschaeftsbericht_2002_de.pdf; Internet: www.villeroy-boch.com/, Abrufdatum: 25. Juli 2005.

Wiedmann, K.-P. und M. Langerfeldt (2004), Verschärftes Unbundeling in der deutschen Energiewirtschaft: Teil 1. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 54 (3): 158-165.

Wochenblatt für Papierfabrikation (1991), 119: 941–5.

WV Bergbau (1994), *Das Bergbau Handbuch*. Wirtschaftsvereinigung Bergbau e.V. (Hrsg.), Essen: Glückauf.

WV Bergbau (2003), Jahresbericht 2003. Wirtschaftsvereinigung Bergbau e.V., Berlin, Internet: www.wv-bergbau.de/medienangebote/pdf/bericht03.pdf, Abrufdatum 25.04.2005.

WV Bergbau (2005), Jahresbericht 2004. Wirtschaftsvereinigung Bergbau e.V., Berlin, Internet: www.wv-bergbau.de/medienangebote/pdf/bericht04.pdf, Abrufdatum 25.04.2005

WVM (1996), Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2001), Metallstatistik 2000. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2003a), Geschäftsbericht 2002/2003. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2003b), Metallstatistik 2002. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2004a), Die NE-Metalle. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf, Internet: www.wvmetalle.de/welcome.asp?page_id=25, Abrufdatum: 25.07.2005.

WVM (2004b), Metallstatistik 2003. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2005a), Geschäftsbericht 2004/2005. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2005b), Metallstatistik 2004. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2006a), Metallstatistik 2005. Wirtschaftsvereinigung Metalle (Hrsg.), Düsseldorf.

WVM (2006b), Erklärung der deutschen NE-Metallindustrie zum Klimaschutz für den Zeitraum 2008 bis 2012. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V.

WVM (2007), Klimaschutz-Monitoring: Fortschrittsbericht 2003 bis 2004. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V.

WV Stahl (2001), *Enlarged Voluntary Commitment of the German Steel Industry to Climate Protection up to the year 2012*, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, Internet: http://www.rwi-essen.de/co2monitoring.

WV Stahl (2004), Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2004/2005, Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hrsg.), Verlag Stahleisen, Düsseldorf.

WV Stahl (2005a), *Rohstahlerzeugung und durchhaltbare Kapazität in Deutschland*, Internet: www.stahl-online.de/wirtschafts_und_Politik/stahl_in_zahlen/2005.

WV Stahl (2005b), 5. CO_2-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie in Deutschland für die Berichtsjahre 2000 bis 2003, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, Internet: http://www.rwi-essen.de/co2monitoring.

WV Stahl (2006), Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2006/2007, Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hrsg.), Verlag Stahleisen, Düsseldorf.

WV Stahl (2007), 6. CO_2-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie in Deutschland - Beispiele von Maßnahmen der Stahlindustrie zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz mit CO_2-Minderungen in den Jahren 2003, 2004 und 2005, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Düsseldorf, Internet: http://www.rwi-essen.de/co2monitoring.

WVZ (2005), Zuckererzeugung. Wirtschaftliche Vereinigung Zucker (Hrsg.), www.Zuckerwirtschaft.de/3_3_4.html, Abrufdatum: 25.07.2005.

Ziegel (2000), Erweiterte Selbstverpflichtung der Ziegelindustrie zum Klimaschutz. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie (Hrsg.), Bonn.

Ziegel (2005a), Dokumentation energiesparender bzw. CO_2emissionsmindernder Maßnahmen der Ziegelindustrie 2000-2002. Fortschrittsbericht des Bundesver-

bandes der Deutschen Ziegelindustrie (Hrsg.), Internet: www.rwi-essen.de/co2monitoring, Abrufdatum: 25.07.2005.

Ziegel (2005b), Auflistung von Energiesparmaßnahmen und deren Ergebnisse aus einzelnen Ziegelwerken für die Jahre 2000 bis 2002. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie (Hrsg.), Bonn.

Ziegel (2007), Fortschrittsbericht für die Ziegelindustrie für die Jahre 2003 und 2004. Bonn: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (zwei PDF-Dateien).

ZVEI (2001), Beitritt der Deutschen Elektrotechnik- und Elektronikindustrie zur Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom 9. November 2000. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Frankfurt.

ZVEI (2005a), 1. Monitoring-Bericht für das Berichtsjahr 2001 zur Umsetzung des Beitritts der Deutschen Elektrotechnik- und Elektronikindustrie zur Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom 9. November 2000, Frankfurt: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.,.

ZVEI (2005b), Ausgewählte Beispiele zum Monitoringbericht 2002 aus der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie vom 6. April 2005, Frankfurt: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

ZVEI (2007), Monitoringbericht für die Jahre 2003 bis 2005 der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie vom 5.April 2007, Frankfurt: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V.