

Frondel, Manuel; Janßen-Timmen, Ronald; Ritter, Nolan

Research Report

Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft: Monitoringbericht 2011 und 2012 .Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge

RWI Projektberichte

Provided in Cooperation with:

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen

Suggested Citation: Frondel, Manuel; Janßen-Timmen, Ronald; Ritter, Nolan (2013) : Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft: Monitoringbericht 2011 und 2012 .Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge, RWI Projektberichte, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Essen

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/111435>

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.



Projektbericht

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft – Monitoringbericht 2011 und 2012

**Bericht zum Forschungsprojekt
des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie,
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit,
des Bundesministeriums der Finanzen
und des Bundesverbandes der Deutschen Industrie**

Impressum

Vorstand des RWI

Prof. Dr. Christoph M. Schmidt (Präsident)

Prof. Dr. Thomas K. Bauer (Vizepräsident)

Prof. Dr. Wim Kösters

Verwaltungsrat

Dr. Eberhard Heinke (Vorsitzender);

Manfred Breuer; Reinhold Schulte (stellv. Vorsitzende);

Dr. Hans Georg Fabritius; Prof. Dr. Justus Haucap; Hans Jürgen Kerkhoff; Dr. Thomas Köster; Dr. Thomas A. Lange; Martin Lehmann-Stanislawski; Hans Martz; Andreas Meyer-Lauber; Hermann Rappen; Reinhard Schulz; Dr. Michael N. Wappelhorst

Forschungsbeirat

Prof. Michael C. Burda, Ph.D.; Prof. Dr. Lars P. Feld; Prof. Dr. Stefan Felder; Prof. Nicola Fuchs-Schündeln, Ph.D.; Prof. Timo Goeschl, Ph.D.; Prof. Dr. Justus Haucap; Prof. Dr. Kai Konrad; Prof. Dr. Wolfgang Leininger; Prof. Regina T. Riphahn, Ph.D.

Ehrenmitglieder des RWI

Heinrich Frommknecht; Prof. Dr. Paul Klemmer †; Dr. Dietmar Kuhn

RWI Projektbericht

Herausgeber:

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

Hohenzollernstraße 1/3, 45128 Essen, Germany

Phone +49 201-81 49-0, Fax +49 201-81 49-200, e-mail: rwi@rwi-essen.de

Alle Rechte vorbehalten. Essen 2013

Schriftleitung: Prof. Dr. Christoph M. Schmidt

**Die Klimavorsorgepflichtung der deutschen Wirtschaft –
Monitoringbericht 2011 und 2012**

Bericht – Oktober 2013

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

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

**Die Klimavorsorgeverpflichtung
der deutschen Wirtschaft –
Monitoringbericht 2011 und 2012**

**Verifikation der Vereinbarung zwischen der
Regierung der Bundesrepublik Deutschland und
der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge**

Bericht – Oktober 2013

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

Projektbericht

Projektteam:

Prof. Dr. Manuel Frondel (Projektleiter), Ronald Janßen-Timmen und Nolan Ritter

Das Projektteam dankt den zahlreichen hilfreichen Händen, die für die Fertigstellung des vorliegenden Berichts ungemein wichtig waren. Besonderer Dank gilt Frau Christiane Brüggemann, Herrn Stephan Mertesacker und Herrn Stephan Sommer, die bei der technischen Redaktion eine großartige Geduld mit dem Projektteam bewiesen und die Arbeiten mit einer außergewöhnlichen Schnelligkeit und Zuverlässigkeit erledigten. Unser Dank gilt auch Daniela Schwindt, Julica Bracht und Ailine Lingnau für die Gestaltung des Layouts und die Erstellung der Graphiken. Nicht zuletzt sind wir Herrn Prof. Christoph M. Schmidt für wertvolle Anregungen, Korrekturen und hilfreiche Kommentare zu Dank verpflichtet.

Inhaltsverzeichnis

Die Klimaschutzklärung der deutschen Wirtschaft	9
Überblick über die seit 1990 erzielten Emissionsminderungen	15
1. Die Kaliindustrie	23
1.1 Datenbasis	23
1.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung	24
1.3 Beschreibung des Produktionsprozesses	27
1.4 Die Selbstverpflichtung	28
1.5 Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	28
1.6 Ursachenanalyse	30
1.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	33
1.8 Zusammenfassung und Bewertung	33
2. Die Zuckerindustrie	36
2.1 Datenbasis	37
2.2 Energieverbrauch und Produktion	40
2.3 Kurzbeschreibung des Produktionsprozesses	41
2.4 Selbstverpflichtung	42
2.5 Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	43
2.6 Ursachenanalyse	44
2.7 Maßnahmen im Einzelnen	49
2.8 Zusammenfassung und Bewertung	50
3. Die Textilindustrie	53
3.1 Datenbasis	53
3.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung	55
3.3 Beschreibung des Produktionsprozesses	56
3.4 Die Selbstverpflichtung	58
3.5 Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	59
3.6 Ursachenanalyse	60
3.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	61
3.8 Zusammenfassung und Bewertung	64
4. Die Zellstoff- und Papierindustrie	67
4.1 Datenbasis	68
4.2 Energieverbrauch und Produktion	69
4.3 Beschreibung des Produktionsprozesses	71
4.4 Die Selbstverpflichtung	73
4.5 Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	74
4.6 Ursachenanalyse	74
4.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	76
4.8 Zusammenfassung und Bewertung	77

5.	Die Chemische Industrie	79
5.1	Datenbasis	80
5.2	Energieverbrauch und Produktion	83
5.3	Ausgewählte Produktionsprozesse	84
5.4	Die Selbstverpflichtungserklärung	84
5.5	Bis 2012 erreichte Energieverbrauchs- und Treibhausgasminderungen	86
5.6	Ursachenanalyse	87
5.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	89
5.8	Zusammenfassung und Bewertung	89
6.	Die Glasindustrie	91
6.1	Datenbasis	92
6.2	Energieverbrauch und Produktion	93
6.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	95
6.4	Die Selbstverpflichtungserklärung	97
6.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	98
6.6	Ursachenanalyse	99
6.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	103
6.8	Zusammenfassung und Bewertung	105
7.	Die Feuerfest-Industrie	107
7.1	Datenbasis	108
7.2	Energieverbrauch und Produktion	109
7.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	111
7.4	Die Selbstverpflichtung	111
7.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	112
7.6	Ursachenanalyse	114
7.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	116
7.8	Bewertung	116
8.	Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten	119
8.1	Datenbasis	119
8.2	Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung	120
8.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	122
8.4	Die Selbstverpflichtung	123
8.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	123
8.6	Ursachenanalyse	124
8.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	126
8.8	Bewertung	127
9.	Die Ziegelindustrie	129
9.1	Datenbasis	129
9.2	Energieverbrauch, Umsatz und Beschäftigung	130
9.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	131
9.4	Die Selbstverpflichtung	132

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

9.5	Bis 2012 erreichte Minderungen	132
9.6	Ursachenanalyse	134
9.7	Ausgewählte Minderungsmaßnahmen	136
9.8	Zusammenfassung und Bewertung	138
10.	Die Zementindustrie	141
10.1	Datenbasis.....	141
10.2	Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung.....	142
10.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	144
10.4	Die Selbstverpflichtung.....	147
10.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	148
10.6	Ursachenanalyse	150
10.7	Bedeutende Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung und Bewertung	155
11.	Die Kalkindustrie	158
11.1	Datenbasis.....	158
11.2	Energieverbrauch und Produktion	159
11.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	159
11.4	Die Selbstverpflichtung.....	160
11.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	161
11.6	Ursachenanalyse	161
11.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung.....	164
11.8	Zusammenfassung und Bewertung	166
12.	Die Eisenschaffende Industrie.....	167
12.1	Datenbasis.....	167
12.2	Energieverbrauch und Produktion	169
12.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	170
12.4	Die Selbstverpflichtung.....	173
12.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	175
12.6	Ursachenanalyse	176
12.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung.....	178
12.8	Zusammenfassung und Bewertung	178
13.	Die Nichteisen-Metallindustrie	181
13.1	Datenbasis.....	181
13.2	Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung.....	182
13.3	Beschreibung des Produktionsprozesses	184
13.4	Die Selbstverpflichtungserklärung	185
13.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	185
13.6	Ursachenanalyse	188
13.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung.....	190
13.8	Zusammenfassung und Bewertung	192
14.	Die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie.....	194
14.1	Datenbasis.....	195
14.2	Energieverbrauch und Produktion	197

14.3	Beschreibung der Produktionsprozesse	198
14.4	Die Selbstverpflichtung	199
14.5	Bis 2012 erzielte CO ₂ -Minderungen	200
14.6	Ursachenanalyse	201
14.7	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	205
14.8	Zusammenfassung und Bewertung	206
15.	Der Steinkohlenbergbau	208
15.1	Datenbasis	209
15.2	Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung	209
15.3	Kurzbeschreibung des Produktionsprozesses	211
15.4	Die Selbstverpflichtung	213
15.5	Bis 2012 realisierte CO ₂ - und Methangasminderungen	214
15.6	Ursachenanalyse der CO ₂ -Minderung	215
15.7	Ursachenanalyse der Minderung der Methanemissionen	219
15.8	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung	221
15.9	Zusammenfassung und Bewertung	224
16.	Das Gasfach	226
16.1	Datenbasis	226
16.2	Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung	228
16.3	Die Selbstverpflichtung	228
16.4	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	230
16.5	Ursachenanalyse	232
16.6	Zusammenfassung und Bewertung	236
17.	Die Mineralölwirtschaft	238
17.1	Datenbasis	238
17.2	Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung	240
17.3	Die Selbstverpflichtung	243
17.4	Bis 2012 erreichte Verbesserungen des Jahresnutzungsgrades für Ölheizungen und CO ₂ -Minderungen	245
17.5	Ursachenanalyse	247
17.6	Ausgewählte Maßnahmen	250
17.7	Zusammenfassung und Bewertung	253
18.	Industrielle Kraft-Wärme-Wirtschaft	257
18.1	Datenbasis	257
18.2	Produktion, Umsatz und Beschäftigung	258
18.3	Die Selbstverpflichtung	259
18.4	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung bei KWK-Anlagen	259
18.5	Zusammenfassung und Bewertung	264
19.	Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft	266
19.1	Datenbasis	266
19.2	Energieverbrauch und Produktion	267
19.3	Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen	269

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

19.4	Die Selbstverpflichtung	271
19.5	Bis 2012 erreichte CO ₂ -Minderungen	272
19.6	Ursachenanalyse	274
19.7	Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung.....	280
19.8	Ausgewählte Maßnahmen zur CO ₂ -Minderung.....	285
19.9	Zusammenfassung	287
Anhang	290
A.	Wirtschaftliche Entwicklung der an der Klimavereinbarung beteiligten Sektoren	290
B.	Die Entwicklung der Energiepreise	293
C.	Datengrundlagen.....	301
Literatur	306

Die Klimaschutzerklärung der deutschen Wirtschaft

Auf der ersten internationalen Klimaschutzkonferenz, die 1995 in Berlin stattfand, verpflichtete sich Deutschland, den Ausstoß an Treibhausgasen bis 2012 um 21 % zu reduzieren. Zu den Treibhausgasen zählen neben Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) das klimapotente Lachgas (N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW).

Die deutsche Wirtschaft beteiligt sich aktiv an der Erfüllung dieser Minderungszusage. Im März 1995 wurde zwischen der damaligen Bundesregierung und dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) sowie 16 Unternehmensverbänden eine freiwillige Vereinbarung geschlossen, die vorsah, die spezifischen CO₂-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 diese Selbstverpflichtung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft aktualisiert, präzisiert und erweitert. Als neues Bezugsjahr wurde 1990 gewählt und die Vereinbarung wurde von zwei weiteren Verbänden unterstützt. 12 der insgesamt 18 Verbände legten sich auf eine Minderung der absoluten CO₂-Emissionen fest. Im Gegenzug sagte die Bundesregierung zu, dieser privatwirtschaftlichen Initiative Vorrang vor ordnungsrechtlichen Maßnahmen zu geben.

Im Vorfeld der in Den Haag stattfindenden Klimaschutzkonferenz schlossen die Bundesregierung und die deutsche Wirtschaft die „*Erweiterte Vereinbarung zur Klimavorsorge*“. Diese vom 9. November 2000 stammende Vereinbarung wurde außer vom BDI vom Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW), dem Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW)¹ und dem Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK) unterzeichnet und von weiteren 14 Verbänden des Produzierenden Gewerbes getragen. Zusätzlich hinzu kamen am 27. Juni 2001 und am 30. Mai 2002 die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie sowie der Steinkohlenbergbau, vertreten durch den Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) bzw. den Gesamtverband Steinkohle (GVSt). Zudem hat der Mineralölwirtschaftsverband (MWV) im September 2001 eine die Raffinerien betreffende Klimaschutzerklärung ausgesprochen. Zuvor hatte der MWV bereits eine Klimaschutzerklärung für den Wärmemarkt abgegeben.

Die „*Erweiterte Vereinbarung zur Klimavorsorge*“ hat bis heute Gültigkeit. Darin verpflichtete sich die deutsche Wirtschaft, die spezifischen CO₂-Emissionen bis 2005

¹ VDEW und BGW haben sich im Herbst 2007 zu einem gemeinsamen Verband, dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), zusammengeschlossen.

um 28 % gegenüber 1990 zu senken. Darüber hinaus wurde bis 2012 eine Reduzierung der spezifischen Emissionen der sechs Kiotogase – gemessen in CO₂-Äquivalenten – um 35 % zugesagt, ebenfalls gegenüber dem Basisjahr 1990 (Übersicht 1, BDI 2000). Die Bundesregierung und die deutsche Wirtschaft streben an, damit die Emissionsvolumina im Jahre 2005 um zusätzlich 10 Mill. t CO₂ und im Jahr 2012 nochmals um zusätzlich 10 Mill. t CO₂-Äquivalente gegenüber der bisherigen Selbstverpflichtungserklärung zu senken.

In Ergänzung dazu ist am 25. Juni 2001 eine spezielle Vereinbarung zur Förderung der CO₂-Minderungen durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung getroffen worden, mit der von 1998 bis 2005 eine Emissionsminderung von 10 Mill. t, bis 2010 sogar von bis zu 23 Mill. t erreicht werden soll. Durch dieses Maßnahmenbündel, nämlich die Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO₂-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 9.11.2000, sollen bis 2012 mindestens 43 Mill. t CO₂ vermieden werden.

Im Gegenzug bekräftigte die Bundesregierung bei erfolgreicher Umsetzung und gemeinsamer Weiterentwicklung der Vereinbarung ihren Verzicht auf ordnungsrechtliche Maßnahmen, wie die Einführung eines Energieaudits. Davon unberührt bleibt die Umsetzung von EU-Recht. So wurde im Jahr 2004 die EU-Emissionshandelsrichtlinie 2003/87/EG zu nationalem Recht. Die Bundesregierung wird sich dafür einsetzen, dass der an der Vereinbarung teilnehmenden Wirtschaft auch bei der Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform im internationalen Vergleich keine Wettbewerbsnachteile entstehen und u.a. auch angesichts der ausstehenden europäischen Harmonisierung der Energiebesteuerung die Nettobelastung der Unternehmen einen tragbaren Selbstbehalt nicht übersteigt. Bei einer EU-weiten Harmonisierung der Energiebesteuerung wird sich die Bundesregierung für wettbewerbskonforme Lösungen einsetzen. Dies gilt im Hinblick auf ein möglichst einheitliches Niveau der Steuersätze, auf 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 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 verwirklichen, wie dies mit der Erweiterten Vereinbarung zur Klimavorsorge aus dem Jahr 2000

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

beabsichtigt ist. Die dabei erzielten Fortschritte müssen von einem unabhängigen Institut überwacht werden (EU 2002: 13).

Die europäischen Leitlinien zur Steuerbefreiung werden durch das deutsche Stromsteuergesetz (StromStG) und das deutsche Energiesteuergesetz (EnergieStG) konkretisiert. So konnten die Steuerentlastungen nach § 10 StromStG und § 55 EnergieStG für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes (sog. Spitzenausgleich) über den 31.12.2011 hinaus bis zum 31.12.2012 nur gewährt werden, weil die Bundesregierung im Jahr 2011 festgestellt hat, dass zu erwarten ist, dass die in der Klimaschutzvereinbarung genannten Emissionsminderungsziele bis zum 31.12.2012 in Höhe von 100 % erreicht werden. Zusätzlich durfte der Spitzenausgleich für das Jahr 2012 zunächst nur in Höhe von 80 % des vollen Betrags ausgezahlt werden. Der verbleibende Restbetrag in Höhe von 20 % kann nach den gesetzlichen Vorgaben erst dann an die Unternehmen gezahlt werden, wenn die Bundesregierung im Jahr 2013 feststellt, dass die Emissionsminderungsziele der Klimaschutzvereinbarung bis zum 31.12.2012 zu 100 % erfüllt worden sind.

Die Bundesregierung hat ihre Feststellung zur Erreichung der in der Klimaschutzvereinbarung genannten Emissionsminderungsziele jeweils auf der Grundlage eines von einem unabhängigen wissenschaftlichen Instituts erstellten Berichts zu treffen.

Getragen wird die erweiterte Klimavereinbarung nunmehr von 19 Einzelverpflichtungen (Übersicht 1). Basisjahr für alle Selbstverpflichtungen ist 1990. Mit Ausnahme der Erklärung der Allgemeinen Elektrizitätswirtschaft beziehen sich die Minderungszusagen auf das Jahr 2012. Deren Spektrum ist vielfältig: Die Reduktionsziele beziehen sich nicht immer unmittelbar auf die Höhe der *absoluten*, in CO₂-Äquivalenten ausgedrückten Treibhausgasemissionen, sondern häufig in mittelbarer Weise auf die Minderung der *spezifischen* Treibhausgasemissionen oder auf die des *spezifischen* Energieverbrauchs. So haben sich einige Industriebranchen, wie etwa die Allgemeine Stromwirtschaft oder das Gasfach, zu absoluten Emissionsminderungen verpflichtet, während die Mehrheit der Industriesektoren spezifische Emissionsminderungen zugesagt hat. In der weit überwiegenden Zahl aller beteiligten Industriesektoren sind dabei lediglich CO₂-Emissionen relevant.

Die an der Klimavereinbarung beteiligten Sektoren haben einen Anteil von fast vier Fünftel am Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes. Fast 75 % der nationalen CO₂-Emissionen von 1990 sind durch die Klimavereinbarung berücksichtigt. Im Basisjahr 1990 wurden 792,3 Mill. t von den beteiligten Wirtschaftszweigen emittiert, während nach Angaben des Umweltbundesamtes deutschlandweit rund 1 032 Mill. t an CO₂ freigesetzt wurden (UBA 2008: 44).

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 Allgemeinen Elektrizitätswirtschaft, bei der die weitaus größte Menge an CO₂-Emissionen anfällt, der Mineralölwirtschaft sowie des Gasfachs wird auch ein großer Teil des Energieverbrauchs der privaten Haushalte in die Betrachtung einbezogen. Da sich die Klimaschutzzerklärung der Raffinerien auf die gesamte Erzeugung bezieht, werden indirekt auch Mineralölprodukte wie z.B. Dieselkraftstoff erfasst. Auf diese Weise ist teils auch der Verkehrssektor berücksichtigt.

Übersicht 1

Klimaschutzzerklärungen der deutschen Wirtschaft

Minderungszusagen gegenüber 1990

Industriesektor	Minderungsziele	Zieljahr
Allg. Elektrizitätswirtschaft	Absolute CO ₂ -Emissionen um 25 Mill. t bis 2015 auf 264 Mill. t CO ₂	2015
Chemische Industrie	35 bis 40 % des spezifischen Energieverbrauchs	2012
	45 bis 50 % der CO ₂ -Äquivalente der energiebedingten CO ₂ - und N ₂ O-Emissionen	2012
Eisenschaffende Industrie	22 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen pro t Rohstahl	2012
Elektrotechnik- und Elektronikindustrie	40 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen pro Mill. €	2012
Feuerfestindustrie	35 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen	2012
Gasfach	45 Mill. t CO ₂ -Äquivalente pro Jahr an klimarelevanten Gasen	2012
Glasindustrie	Bis zu 20 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen pro t Glas	2012
Industrielle Kraft-Wärme-Wirtschaft	Kein konkretes Klimaschutzziel (zur Vermeidung von Doppelzählungen)	2012
Kaliindustrie	69 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen pro t verarbeitetem Rohsalz	2012
	79 % der absoluten CO ₂ -Emissionen	
Kalkindustrie	15 % der brennstoffbedingten spezifischen CO ₂ -Emissionen pro t Kalk	2012
Keramische Fliesen und Platten	30 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen pro t Fliesen und Platten	2012
Mineralölwirtschaft	10 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen der Raffinerien pro t Bruttorefinerierzeugung	2012

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Industriesektor	Minderungsziele	Ziel-jahr
	Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades der Ölheizungsanlagen um 27 bis 30 %	
Nichteisen-Metallindustrie	24 % des spezifischen Energieverbrauchs pro t NE-Metalle	2012
Steinkohlenbergbau	75 % der absoluten CO ₂ -Emissionen 70 % der Methan-Emissionen	2012
Textilindustrie	59 % der absoluten CO ₂ -Emissionen	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	28 bis 30 % der spezifischen CO ₂ -Emissionen pro t Ziegel	2012
Zuckerindustrie	Verringerung der spezifischen CO ₂ -Emissionen auf 79 bis 85 kg/t Rüben (Minderung von 44,1 % bis 48,0 %)	2012

Nach Angaben der Verbände.

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, wurde vom VIK auf eine Spezifizierung eines Klimaschutzziels verzichtet.

Wie von der Europäischen Kommission gefordert und in § 55 EnergieStG und § 10 StromStG in nationales Recht umgesetzt, soll die Bundesregierung ihre Feststellung bzgl. der Erreichung der in der Klimaschutzvereinbarung genannten Emissionsminderungsziele in den Jahren 2009, 2010, 2011 und 2012 auf der Grundlage eines von einem unabhängigen wirtschaftswissenschaftlichen Institut erstellten Berichts treffen. Für den Bericht zur Feststellung der Zielerreichung im Jahr 2012 wurde das Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) mit dieser Aufgabe betraut. Mit dem vorliegenden Monitoringbericht wird diese Aufgabe auftragsge-

mäß für die Berichtsjahre 2011 und 2012 wahrgenommen. Ein Überblick über die Ergebnisse wird im folgenden Abschnitt dargestellt. Der letzte Bericht zur Verifikation der Vereinbarung zur Minderung der CO₂-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung zur Klimavereinbarung 2000 wurde für das Berichtsjahr 2010 erstellt (RWI 2012).

Überblick über die seit 1990 erzielten Emissionsminderungen

Die an der Vereinbarung zur Klimavorsorge beteiligten Sektoren konnten die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2012 um 192,4 Mill. t bzw. um 24,3 % gegenüber 1990 verringern (Tabelle 1). Die einzelnen Sektoren konnten mehrheitlich ihren CO₂-Ausstoß auf niedrigem Niveau stabilisieren oder gar weiter absenken. Zu den Sektoren mit den umfangreichsten prozentualen Emissionsminderungen gegenüber 1990 zählen der Steinkohlenbergbau (-90,3 %), die Kaliindustrie (-79,2 %) und die Textilindustrie (-72,4 %). Die höchsten absoluten CO₂-Einsparungen erzielte mit 49,0 Mill. t das Gasfach, gefolgt von der Allgemeinen Stromwirtschaft mit 30,0 Mill. t. Die Elektroindustrie wies zwar höhere Emissionen als im Basisjahr auf, die im gleichen Zeitraum um knapp 180 % gestiegene Produktion (Tabelle 3) zeigt aber auch hier deutlich die gelungene Entkopplung von Produktion und CO₂-Ausstoß.

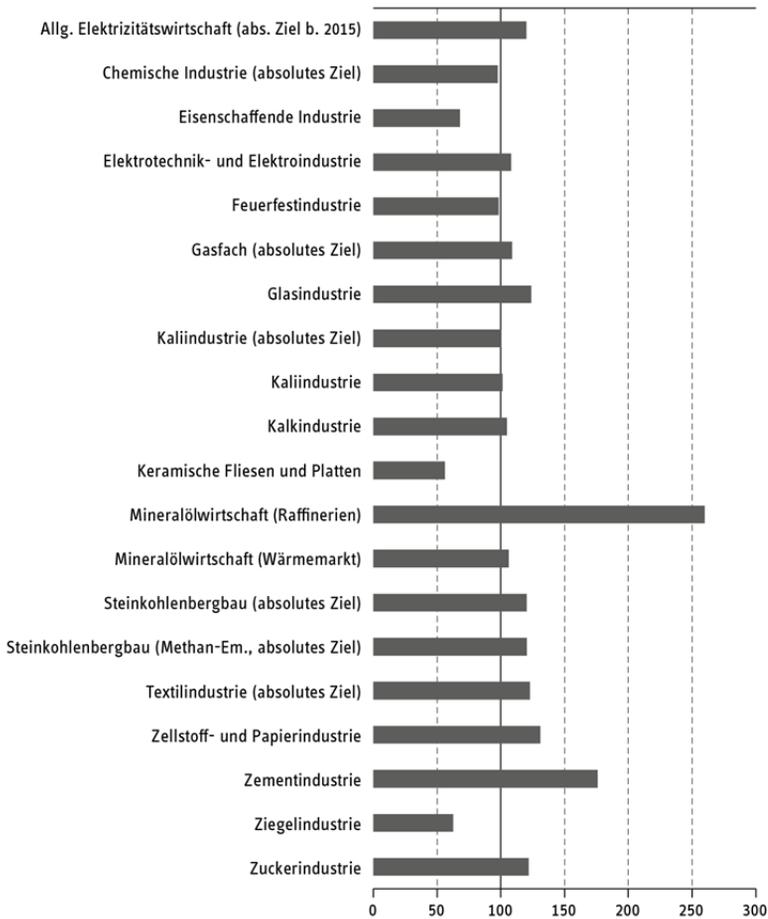
Die individuellen Reduktionszusagen der an der Klimaschutzvereinbarung beteiligten Sektoren dienen dem übergeordneten Ziel, die spezifischen Emissionen gegenüber 1990 um 35 % zu reduzieren. Im Jahr 2012 lag der aus sämtlichen Emissionsminderungszielen mit Hilfe des arithmetischen Mittels berechnete mittlere Zielerreichungsgrad bei 117,0 % (Übersicht 2). Demnach wurde das in der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom 9. November 2000 (Klimaschutzvereinbarung) genannte Emissionsminderungsziel zum 31. Dezember 2012 zu weit mehr als 100 % erfüllt.

Letztlich wurden 18 der 22 individuellen Emissionsminderungsziele erreicht, einige Zielmarken wurden sogar erheblich überschritten (Schaubild 1). Lediglich die Ziegelindustrie und der Sektor der keramischen Fliesen und Platten sind deutlich unter ihren Zielen für 2012 geblieben. In der Ziegelindustrie und im Sektor der keramischen Fliesen und Platten führen gestiegene Qualitätsanforderungen seitens der Kunden zu steigenden spezifischen Emissionen. So besteht eine zunehmende Nachfrage nach dickeren oder witterungsbeständigeren Produkten, deren Herstellung einen höheren Energieaufwand erfordert.

Für die Eisenschaffende Industrie gestaltet sich die Bewertung des Gesamtergebnisses für 2012 schwieriger: Zum einen führten in diesem Bereich Veränderungen, die zum Zeitpunkt der Abgabe der Reduktionsverpflichtung nicht erkennbar waren, zu einer teilweisen Kompensation der erreichten Fortschritte. Hierzu gehören beispielsweise Verschlechterungen der Qualität der Einsatzstoffe, gestiegene Anforderungen an die Produktqualität, eine zunehmende Verarbeitungstiefe sowie einige Maßnahmen zum Umweltschutz. Zum anderen gab es durch die im Mai 2001 abgegebene erweiterte Klimaschutzerklärung einen Wechsel in der Bezugsgröße für die

Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen von der Walzstahlerzeugung auf die Erzeugung von Rohstahl.

Schaubild 1
Zielerreichungsgrade für die CO₂-Emissionsminderungszusagen
 Stand 2012; in %



Eigene Berechnungen.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 1
Absolute CO₂-Emissionen der an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten Branchen

1990 bis 2012; gerundete Werte in Mill. t

	1990	2000	2005	2010	2011	2012	1990 -2012
Allg. Stromwirtschaft	289,0	270,0	267,0	247,0	247,0	259,0	-10,4 %
Chemische Industrie ¹	89,3	56,8	53,6	47,6	49,7	50,2	-43,8 %
Eisenschaff. Industrie	70,0	65,5	60,2	60,8	59,2	57,8	-17,4 %
Elektroindustrie	9,3	7,7	8,0	10,6	9,8	9,5	+2,2 %
Feuerfestindustrie	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-50,0 %
Fliesen und Platten	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	-42,9 %
Gasfach	127,7	94,4	87,2	80,9	80,4	78,7	-38,3 %
Glasindustrie	6,3	6,4	5,9	5,7	5,9	5,7	-9,5 %
Kaliindustrie	4,8	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	-79,2 %
Kalkindustrie	3,2	2,8	2,5	2,5	2,5	2,3	-28,1 %
Mineralölwirtschaft (Raffinerien)	22,8	20,6	21,3	18,0	17,3	16,6	-27,2 %
Mineralölwirtschaft (Wärmemarkt)	104,5	88,9	84,2	81,6	81,4	81,2	-22,3 %
NE-Metallindustrie	14,6	14,3	14,3	10,9	10,8	11,0	-24,7 %
Papierindustrie	14,4	14,4	17,0	16,4	14,8	13,8	-4,2 %
Steinkohlenbergbau	9,3	3,4	2,4	1,6	1,2	0,9	-90,3 %
Textilindustrie	5,8	3,6	3,0	2,1	2,1	1,6	-72,4 %
Zementindustrie	12,0	9,2	6,4	5,4	5,9	5,8	-41,7 %
Ziegelindustrie	2,4	2,4	1,5	1,4	1,5	1,4	-41,7 %
Zuckerindustrie	4,6	2,4	2,1	1,8	2,0	2,0	-56,5 %
Insgesamt	791,4	664,7	638,7	599,0	593,2	599,0	-24,3 %
Minderung (in %)	-	16,0 %	19,3 %	24,3 %	25,0 %	24,3 %	

Nach Angaben der beteiligten Verbände. - ¹ Im Gegensatz zur Eisenschaffenden Industrie spiegeln die Werte für die Chemische Industrie allein die energetisch bedingten CO₂-Emissionen wider, ohne Berücksichtigung der rohstoffbedingten Emissionen.

Übersicht 2

Zielerreichungsgrade für die Emissions- und Energieminderungsziele

Verbände	Zielerreichungsgrad
Emissionsminderungsziele	2012
Allgemeine Elektrizitätswirtschaft (absolutes Ziel bis 2015)	120,0 %
Chemische Industrie (absolutes Ziel)	97,2 %
Eisenschaffende Industrie	68,2 %
Elektrotechnik- und Elektroindustrie	108,1 %
Feuerfestindustrie	98,4 %
Gasfach (absolutes Ziel)	108,9 %
Glasindustrie	123,8 %
Kaliindustrie (absolutes Ziel)	100,0 %
Kaliindustrie	101,4 %
Kalkindustrie	104,6 %
Keramische Fliesen und Platten	56,1 %
Mineralölwirtschaft (Raffinerien)	260,0 %
Mineralölwirtschaft (Wärmemarkt) ¹	106,3 %
Steinkohlenbergbau (CO ₂ -Emissionen, absolutes Ziel)	120,3 %
Steinkohlenbergbau (Methan-Emissionen, absolutes Ziel)	120,4 %
Textilindustrie (absolutes Ziel)	122,9 %
Zellstoff- und Papierindustrie	130,9 %
Zementindustrie	176,0 %
Ziegelindustrie	62,7 %
Zuckerindustrie	121,9 %
Energieminderungsziele	
NE-Metallindustrie	132,6 %
Chemische Industrie	133,3 %
Mittlerer Zielerreichungsgrad für alle Emissionsminderungsziele:	117,0 %
<i>Eigene Berechnungen. - ¹ Zielerreichungsgrad bezogen auf Verbesserung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades von Ölheizungen.</i>	

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

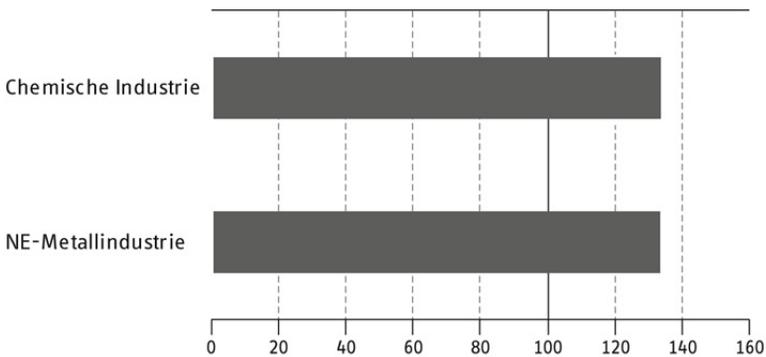
In der erweiterten Klimaschutzklärung wurde zugesagt, die auf die Rohstahlerzeugung bezogenen spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um 22 % im Vergleich zu 1990 zu senken. Dieses Ziel wurde zu rund 68 % erreicht (Schaubild 1).

Das Stahlinstitut VDEh hat in seinen Fortschrittsberichten jedoch wiederholt darauf hingewiesen, dass die Bezugsgröße Rohstahlerzeugung problematisch sei, weil sie nur einen Teilausschnitt der energieintensiven Produktion darstellt und die erzielten Minderungen in der Stahlindustrie – wie z.B. Effizienzsteigerungen für den Bereich der Weiterverarbeitung – nicht vollständig erfasst. Tatsächlich bilden beispielsweise warmgewalzte Stahlfertigprodukte das Endresultat der Produktion. Der Energieverbrauch für das Warmwalzen und die somit in den Walzwerken anfallenden CO₂-Emissionen schlagen bei der Berechnung der spezifischen Emissionen pro Tonne Rohstahl erhöhend zu Buche.

Eine alternative Betrachtung der Ergebnisse auf Basis der Stahlfertigprodukte kommt für 2012 zu dem Ergebnis, dass die spezifischen CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um 21 % verringert wurden. So berechnet wäre das Ziel, die spezifischen Emissionen bis zum Jahr 2012 um 22 % zu senken, zu gut 95% erreicht.

Schaubild 2 Zielerreichungsgrade der Zusagen zur Minderung des spezifischen Energieverbrauchs für 2012

Stand 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Einige Verbände haben mehrere Ziele formuliert. So besitzt die Mineralölwirtschaft zwei Zielvereinbarungen, eine für den Bereich der Raffinerien und eine Vereinbarung für den Wärmemarkt, während die Chemieindustrie sowohl eine

absolute Treibhausgas-Reduktion als auch eine Senkung des spezifischen Energieverbrauchs anstrebt (Schaubild 2). Die Nichteisenmetall-Industrie hat hingegen lediglich die Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs zum Ziel.

Einen Überblick über die CO₂-Emissionsreduktionen der einzelnen Sektoren gibt Tabelle 2. Die Emissionen der Zuckerindustrie betragen beispielsweise im Jahr 2012 noch 43,5 % des Wertes des Jahres 1990. Die Allgemeine Stromwirtschaft konnte ihre absoluten CO₂-Emissionen im selben Zeitraum um 10,4 % senken.

Tabelle 2
Index der CO₂-Emissionen der an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten Branchen

1990 bis 2012; 1990 = 100

	1990	2000	2005	2010	2011	2012
Allgemeine Stromwirtschaft	100,0	93,4	92,4	85,5	85,5	89,6
Chemische Industrie	100,0	63,6	60,0	55,8	55,7	56,2
Eisenschaffende Industrie	100,0	93,6	86,0	86,9	84,6	82,6
Elektroindustrie	100,0	81,7	86,0	114,0	105,4	102,2
Feuerfestindustrie	100,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Fliesen und Platten	100,0	71,4	71,4	57,1	57,1	57,1
Glasindustrie	100,0	101,6	93,7	90,5	93,7	90,5
Kaliindustrie	100,0	20,8	25,0	20,8	20,8	20,8
Kalkindustrie	100,0	87,5	78,1	78,1	78,1	71,9
Mineralölwirtschaft (Raffinerien)	100,0	90,4	93,4	78,9	75,9	72,8
NE-Metallindustrie	100,0	97,9	97,9	79,5	72,6	73,3
Papierindustrie	100,0	100,0	118,1	113,9	102,8	95,8
Steinkohlenbergbau	100,0	36,6	25,8	17,2	12,9	9,7
Textilindustrie	100,0	62,1	50,0	36,2	36,2	27,6
Zementindustrie	100,0	78,0	54,2	45,8	50,0	49,2
Ziegelindustrie	100,0	100,0	62,5	58,3	62,5	58,3
Zuckerindustrie	100,0	52,2	45,7	39,1	43,5	43,5
Insgesamt	100,0	75,3	70,0	65,2	64,0	61,8

Eigene Berechnungen nach Angaben der am Monitoring beteiligten Branchen.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 3
Produktionsmessenzen der an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten
Branchen
 1990 bis 2012

	Gewicht	1990	2000	2005	2010	2011	2012
Allg. Stromwirtschaft	15,5 %	100,0	108,1	112,1	105,8	98,1	98,8
Chemische Industrie	22,7 %	100,0	119,8	132,1	142,6	144,8	141,2
Eisenschaffende Industrie	4,3 %	100,0	105,6	101,4	99,8	100,8	97,1
Elektroindustrie	36,5 %	100,0	137,7	153,3	175,5	188,8	180,9
Feuerfestindustrie	0,3 %	100,0	80,8	76,5	77,9	82,6	74,7
Fliesen und Platten	0,1 %	100,0	79,9	80,8	64,7	70,9	72,0
Glasindustrie	2,2 %	100,0	129,7	118,2	121,9	124,9	119,8
Kaliindustrie	0,03 %	100,0	68,8	73,3	66,4	70,3	70,0
Kalkindustrie	0,1 %	100,0	95,4	92,2	88,7	91,7	86,2
Mineralölwirtschaft (Raffinerien)	3,5 %	100,0	109,4	116,6	99,0	97,5	98,5
NE-Metallindustrie	3,4 %	100,0	128,4	127,1	124,1	125,9	121,3
Papierindustrie	2,4 %	100,0	142,3	169,7	180,6	177,8	177,1
Steinkohlenbergbau	1,7 %	100,0	47,7	35,4	18,5	17,3	15,4
Textilindustrie	3,1 %	100,0	66,0	54,9	47,5	48,2	44,7
Zementindustrie	0,7 %	100,0	102,5	93,2	89,7	100,2	95,8
Ziegelindustrie	0,5 %	100,0	115,0	79,2	67,0	73,5	71,6
Zuckerindustrie	0,5 %	100,0	91,4	82,9	81,3	92,3	94,3
Produktionsindex		100,0	121,2	130,1	138,8	143,3	139,1

Eigene Berechnungen nach Angaben der am Monitoring beteiligten Branchen.

Ergänzend zur Berechnung des arithmetischen Mittels der Zielerreichungsgrade wird im Folgenden eine weitere Berechnungsmethode aufgeführt, die jedoch nicht Grundlage für die Verhandlungen zwischen der Bundesregierung und der Europäischen Kommission war und daher nicht für die Anwendung der §§ 55 EnergieStG und 10 StromStG maßgeblich ist. Um die spezifischen Emissionswerte zu ermitteln,

werden bei dieser Berechnungsmethode der in Tabelle 2 dargestellte Gesamtindex der absoluten Emissionen durch einen Produktionsindex dividiert, mit dem der großen Heterogenität der Produkte der beteiligten Sektoren Rechnung getragen wird. Mit Hilfe eines Produktionsindex wird die Veränderung des Produktionsausstoßes unterschiedlicher Sektoren in einem bestimmten Zeitraum gemessen (Tabelle 3). Formal ist ein Produktionsindex ein gewogenes arithmetisches Mittel der Veränderungen des Outputs der einzelnen Sektoren.

Als Gewichte dienen die Anteile der einzelnen Sektoren an der Bruttowertschöpfung des Jahres 2000 aller an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten Sektoren. Diese Gewichte können aus den Angaben des Statistischen Bundesamtes berechnet werden (StaBuA 2009) und sind zusammen mit den Veränderungen der Produktion der einzelnen Sektoren in Tabelle 3 wiedergegeben. Nach dem in Tabelle 3 angegebenen Index lag die Produktion der an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten Sektoren im Jahr 2012 um 39,1 % höher als 1990.

Tabelle 4
Spezifische CO₂-Emissionen der an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten Sektoren
 1990 bis 2012; Reduktionsziel 35%

	1990	2000	2005	2010	2011	2012
Produktionsindex	100,0	121,2	130,1	138,8	143,3	139,1
CO ₂ -Emissionen	100,0	75,3	70,0	65,2	64,0	61,8
Spezifische Emissionen	100,0	61,1	53,8	47,0	44,7	44,4
Reduktion	-	38,9 %	46,2 %	53,0 %	55,3 %	55,6 %
Zielerreichungsgrad	-	111,1 %	132,0 %	151,4 %	158,0 %	158,9 %

Eigene Berechnungen nach Angaben der am Monitoring beteiligten Branchen.

Gleichzeitig sanken die CO₂-Emissionen aller an der Klimavorsorgevereinbarung beteiligten Sektoren zwischen 1990 und 2012 von 791,4 auf 599,0 Mill. t, mithin um 24,3 % (Tabelle 1). Die Division der in Tabelle 4 angegebenen Reihe der Messzahlen der CO₂-Emissionen durch die Werte des Produktionsindex ergibt die Entwicklung der spezifischen Emissionen relativ zum Jahr 1990. 2012 lagen die spezifischen Emissionen demnach bei 44,4 % des Wertes für das Jahr 1990 (Tabelle 4). Dies entspricht einer Reduktion von 55,6 %. Für das spezifische Reduktionsziel von 35 % für 2012 läge der Zielerreichungsgrad nach dieser Berechnungsmethode bei 158,9 %.

1. Die Kaliindustrie

Das Kerngeschäft der Kaliindustrie besteht aus 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. Die stark gestiegene weltweite Nachfrage nach Kaliprodukten – insbesondere aus Schwellenländern wie China – hat dazu geführt, dass die Produktionskapazitäten der Kaliindustrie national und international bis weit in das Jahr 2008 weitgehend ausgelastet waren (K+S 2008b: II, 86). Erst in den letzten Monaten des Jahres 2008 kam es im Zuge der Finanz- und Wirtschaftskrise zu einem erheblichen Rückgang der Nachfrage (K+S 2009a). Nachdem sich der weltweite Kaliabsatz 2009 fast halbierte und die Rohsalzverarbeitung der deutschen Kaliindustrie um 44 % sank (K+S 2010: 3), war 2010 eine deutliche Erholung zu verzeichnen. Die Rohsalzverarbeitung in Deutschland stieg um fast 70 % auf 34,6 Mill. t. Rund die Hälfte des Umsatzes wird im europäischen Raum erzielt (K+S 2011b: 82). 2011 und 2012 hat sich die Nachfrage nach Kaliprodukten weiter stabilisiert, so dass die Rohsalzverarbeitung 2011 um 5,9 % auf 36,6 Mill. t stieg; dieses Niveau wurde auch 2012 gehalten.

1.1 Datenbasis

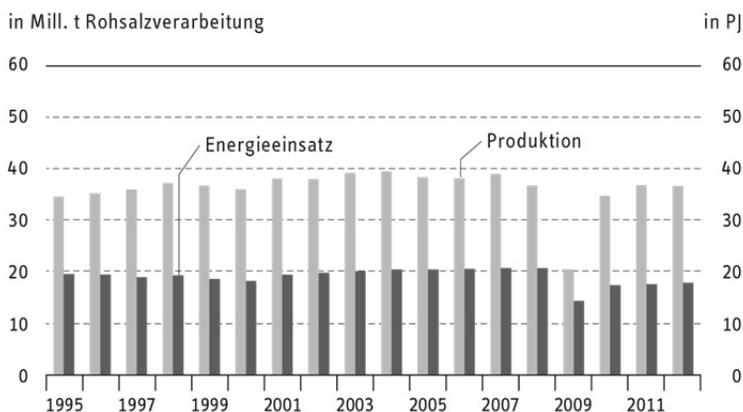
Verbandsaufgaben für den deutschen Kali- und Steinsalzbergbau werden vom Verband der Kali- und Salzindustrie – VKS e.V. mit Sitz in Berlin (früher Kaliverein, Kassel) wahrgenommen. Dieser stellt für das Monitoring auch die maßgebliche Datenbasis zur Verfügung. Zudem publiziert das Statistische Bundesamt (StaBuA) in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, Werte zum jährlichen Verbrauch verschiedener Energieträger und zum Stromeinsatz. Die Kaliindustrie wird in der *Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008)* unter der Kennziffer 08.91 („Bergbau auf chemische und Düngemittelminerale“) geführt (StaBuA 2007a).

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 Produk-

tionsstufe in den Verbandsdaten enthalten (Buttermann, Hillebrand 2002: 41). Die Meldungen des VKS liegen daher erheblich über den Angaben des Statistischen Bundesamtes. Die folgenden Ausführungen stützen sich deshalb wie bislang ausschließlich auf die Angaben des Verbandes.

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 sind die im folgenden Abschnitt dargestellten Werte zur Beschäftigung ab 2003 mit früheren Jahren nur bedingt vergleichbar. Die im Bericht verwendeten Daten basieren auf Angaben der Kali und Salz AG, die mittlerweile in K+S AG umbenannt wurde.

Schaubild 1.1
Produktion und Energieeinsatz der Kaliindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben des Verbandes der Kali- und Salzindustrie e.V. im Rahmen des Monitoring.

1.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Die Kaliindustrie befand sich Anfang der 1990er Jahre in einer Krise und sah sich mit hohen Überkapazitäten konfrontiert. Daraufhin wurde zwischen 1990 und 1992 eine Reihe von Bergwerken in Thüringen und Niedersachsen stillgelegt und die Produktion deutlich eingeschränkt (WV Bergbau 1994: 238). Als Folge fiel die Produktionsmenge – gemessen in Mill. t Kalirohsalzverarbeitung – zwischen 1990 und 1995 um knapp 34 % von 52,1 auf 34,4 Mill. t (Tabelle 1.3). Bis 2007 wuchs die verarbeitete Rohsalzmenge um 12,7 % auf 38,8 Mill. t (RWI 2009: 29). Im Zuge der

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Finanz- und Wirtschaftskrise sank die Verarbeitung 2009 um 44,3 % auf 20,4 Mill. t Rohsalz und lag damit um fast 61 % unter der Kalirohsalzverarbeitung des Jahres 1990 (RWI 2011: 30). Nach Auskunft des Verbandes konnte dieser Rückgang seitdem wieder weitgehend aufgeholt werden. Die verarbeitete Rohsalzmenge erreichte mit 36,6 Mill. t im Jahr 2011 und 36,5 Mill. t im Jahr 2012 wieder das Niveau des Jahres vor der Finanz- und Wirtschaftskrise (2008).

Während die Produktion zwischen 1995 und 2008 durchschnittlich um 0,5 % pro Jahr wuchs, blieb der Energieverbrauch seither auf etwa demselben Niveau von rund 20 PJ (Schaubild 1.1). Dennoch zeigt die Darstellung, dass sich die Relation von Produktion und Energieeinsatz – also die Energieeffizienz – zwischen 1990 und 2007 verbessert hat. Der Verband weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass der abnehmende Wertstoffgehalt im Rohsalz eine höhere Rohsalzförderung mit entsprechendem Energieeinsatz erfordert, um die gleiche Menge an Kaliprodukten zu erhalten. Während die Produktion im Zuge der Wirtschaftskrise 2009 deutlich stärker zurückging als der Energieverbrauch, fiel 2010 das Produktionswachstum stärker aus. Der Energieverbrauch stieg in dem Jahr um 20,6 %, die Produktion dagegen um 44,3 %. 2010 wurde in großem Umfang Strom und Prozesswärme CO₂-neutral erzeugt. Hierdurch wurden 3,3 PJ aus fossilen Brennstoffen bzw. Fremdstrom ersetzt (K+S 2011a: 3), die durch das CO₂-Monitoring nicht erfasst werden. Zusammen mit dieser Energie hat die Kaliindustrie 2010 etwa 20,6 PJ für die Rohsalzverarbeitung eingesetzt.

Tabelle 1.1
Spezifischer Energieverbrauch der Kaliindustrie
1990 bis 2012

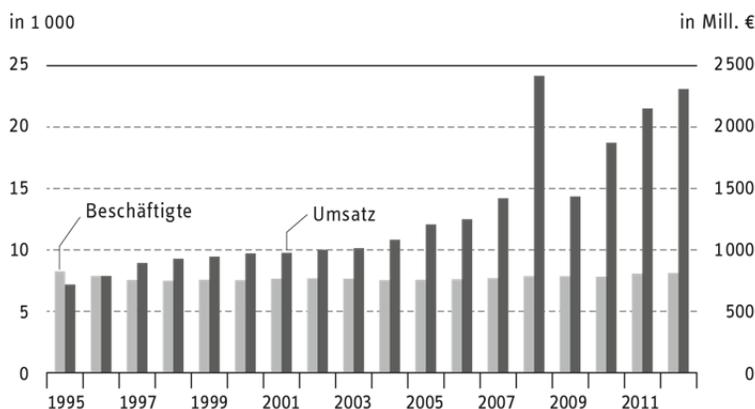
	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Energieverbrauch, (PJ)	56,1	19,5	18,1	20,3	17,3	17,5	17,8
Spez. Energieverbrauch, (MJ/t)	1 077,5	565,3	505,9	532,8	499,2	478,3	487,7

Nach Angaben des Verbandes der Kali- und Salzindustrie.

Zur Gewinnung und Herstellung marktfähiger Kaliprodukte wurden 2011 insgesamt 17,5 PJ und 2012 insgesamt 17,8 PJ Energie aus fossilen Brennstoffen und Strom eingesetzt (Tabelle 1.1). Während der Anstieg des Energieverbrauches im Jahr 2011 mit 1,4 % noch unter dem Produktionsanstieg im gleichen Zeitraum lag, stieg der Energieverbrauch 2012 trotz leichten Produktionsrückgangs um 1,5 % an.

Die Wirtschaftskrise führte 2009 zu zahlreichen Produktionsstillständen, ineffizienten An- und Abfahrvorgängen sowie verminderten Durchsätzen (K+S 2010: 2). Hierdurch wurde die Energieeffizienz der Rohsalzgewinnung erheblich verringert. 2010 hat die Kaliindustrie ihren spezifischen Energieverbrauch je Produktionstonne mit 499 MJ/t auf weniger als die Hälfte des 1990er Wertes reduziert. Dieser Trend setzte sich auch im Berichtszeitraum fort. So sank der spezifische Energieverbrauch 2011 auf 478 MJ/t und stieg im Folgejahr leicht auf 488 MJ/t (2012) an.

Schaubild 1.2
Umsatz und Beschäftigung in der Kaliindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben des Verbands der Kali- und Salzindustrie e.V. im Rahmen des Monitoring.

Mit dem Anstieg der Produktion ging sowohl ein Zuwachs beim Umsatz als auch eine steigende Zahl der Beschäftigten einher. Nach Angaben der K+S AG wurde 2012 mit 8 043 Beschäftigten ein Umsatz von fast 2,3 Mrd. € erwirtschaftet (K+S 2013). Dank der gestiegenen Nachfrage konnte der Umsatz von 1995 bis 2008 mehr als verdreifacht werden. In den Jahren 2011 und 2012 wurde dieses Niveau erneut erreicht. Im Durchschnitt beschäftigte die Kaliindustrie zwischen 1995 und 2012 rund 7 700 Personen pro Jahr, wobei die Beschäftigung 1995 mit 8 176 Personen am höchsten ausfiel (Schaubild 1.2). 2011 wurde sie um 3,3 % auf 8 004 Beschäftigte ausgeweitet, 2012 stieg die Zahl der Beschäftigten um weitere 0,5 %. Insgesamt sank die Beschäftigung seit 1995 um 1,6 %.

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 sowie die Rohsalzaufbereitung und -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 zum Schacht und anschließend mittels Gefäßförderung nach 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 – sogenannte 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.

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. Das Unternehmen K+S AG ist weltweit das einzige, das dieses Verfahren einsetzt. Mittlerweile wird mehr als 60 % der Kaliproduktion mit diesem Trennverfahren aufbereitet (K+S 2009b: 46).

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 Granuliertrommeln oder -tellern (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 CO₂-Emissionen abgegeben und diese im Jahre 2001 ergänzt (K+S 2005a). Im April 2008 wurde die Erklärung bis 2012 erweitert. Die spezifischen CO₂-Emissionen sollen bis 2012 um 69 % gegenüber 1990 auf 28 kg CO₂ je Tonne verarbeitetes Rohsalz gesenkt und die absoluten CO₂-Emissionen um 79 % auf 1,0 Mill. t verringert werden (K+S 2008a).

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 (K₂O) im Rohsalz variiert je nach Abbaurevier (WV Bergbau 1994: 225), zudem nimmt er im Laufe der Jahre ab. Bergwerke mit geringem Kaligehalt müssen entsprechend mehr Rohsalz verarbeiten, um eine vergleichbare Menge des Endprodukts zu gewinnen.

Übersicht 1.1

Selbstverpflichtung der Kaliindustrie

Spezifisches Ziel	Bis 2012: Verringerung der spezifischen CO ₂ -Emissionen um 69 % auf 28 kg CO ₂ /t Rohsalzverarbeitung.
Absolutes Ziel	Bis 2012: Verringerung der absoluten CO ₂ -Emissionen um 79 % auf 1,0 Mill. t CO ₂ .
Basisjahr	1990

Nach Angaben des Verbandes der Kali- und Salzindustrie im Rahmen des Monitoring.

1.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Verglichen mit den Emissionen in Höhe von fast 4,8 Mill. t CO₂, die im Jahr 1990 ausgestoßen wurden, konnten vor allem bis 1995 erhebliche Einsparungen erzielt werden (Tabelle 1.2). Seit 2002 liegt der CO₂-Ausstoß wieder über dem Wert von 1995 (RWI 2007: 27). Bis 2008 stiegen die Emissionen auf 1,17 Mill. t. 2009 wurde mit

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

rund 0,8 Mill. t das bislang niedrigste Emissionsniveau erreicht und gleichzeitig das für 2012 gesetzte Ziel einer Minderung auf 1,0 Mill. t CO₂ übertroffen. Im aktuellen Berichtszeitraum haben die Emissionen zwar wieder etwas zugenommen, das Minderungsziel für 2012 wurde dennoch erreicht. Die Minderung gegenüber 1990 betrug 2011 sowie 2012 etwa 79 %. Der Zielerreichungsgrad für die absoluten Emissionen erreichte 100,3 % (2011) beziehungsweise 100,0 % (2012).

Tabelle 1.2

Entwicklung der absoluten CO₂-Emissionen der Kaliindustrie

1990 bis 2012; Minderungsziel bis 2012: -79 % auf 1,0 Mill. t CO₂

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Emissionen (in Mill. T)	4,76	1,11	1,02	1,15	0,97	0,99	1,00
Minderung (in %)	-	76,6	78,6	75,8	79,5	79,3	79,0
Zielerreichungsgrad (in %)	-	97,0	99,4	95,9	100,7	100,3	100,0

Nach Angaben des Verbandes der Kali- und Salzindustrie.

Der spezifische CO₂-Ausstoß ist bis 2008 um rund 65,1 % gesunken. Lag er 1995 noch bei 32,3 kg CO₂/t Rohsalzverarbeitung, waren es 2008 noch 31,9 kg CO₂/t (Tabelle 1.3). Die spezifischen CO₂-Emissionen hatten 2000 mit 28,5 kg CO₂/t das für 2012 gesetzte Ziel einer Minderung um 69 % fast erreicht. Seither sind die spezifischen Emissionen allerdings wieder gestiegen. Dieser Trend konnte jedoch 2010 gestoppt werden: Nach Auskunft des Verbandes wurden 2010 insgesamt rund 1,1 Mill. t CO₂-neutral erzeugter Fremddampf mit einem Energiegehalt von 909,9 GWh bezogen. In einer Dampfturbine wurden hieraus 236,5 GWh Strom erzeugt. Verglichen mit dem Bezug einer entsprechenden Menge Fremdstrom konnten auf diese Weise 158 468 t CO₂ vermieden werden. Die anschließende Nutzung des Dampfes für Prozesswärme hat die Emissionen weiter gesenkt. Diese Substitution fossiler Brennstoffe und von Fremdstrom hat die spezifischen Emissionen auf 28,2 kg CO₂/t reduziert. Das gesetzte Ziel einer Minderung um 69 % wurde dadurch erstmals erreicht; der Zielerreichungsgrad stieg auf 100,2 % (Tabelle 1.3). In den Berichtsjahren 2011 und 2012 konnten die spezifischen Emissionen weiter gesenkt werden. 2011 wurde mit 26,9 kg CO₂/t eine Minderung von 70,5 % und damit ein Zielerreichungsgrad von 102,2 % erreicht. Zwar sind die spezifischen Emissionen 2012 wieder leicht gestiegen, mit 27,4 kg CO₂/t lag der Zielerreichungsgrad aber immer noch bei 101,4 %.

1.6 Ursachenanalyse

Nachdem das Jahr 2009 in der Kaliindustrie durch einen deutlichen Rückgang der produzierten Rohsalzmenge und des Energieverbrauchs gekennzeichnet war, konnten die Auswirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise auf die Produktion 2010 zum großen Teil wieder ausgeglichen werden (Schaubild 1.1).

Tabelle 1.3
Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionen der Kaliindustrie
 1990 bis 2012; Ziel bis 2012: -69 % auf 28 kg CO₂/t verarbeitetes Rohsalz

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Rohsalzverarbeitung, (Mill. t)	52,1	34,4	35,8	38,2	34,6	36,6	36,5
Spez. Emissionen, (kg CO ₂ /t)	91,4	32,3	28,5	30,2	28,2	26,9	27,4
Minderung (in %)	-	64,6	68,8	66,9	69,2	70,5	70,0
Zielerreichungsgrad (in %)	-	93,7	99,8	97,0	100,2	102,2	101,4

Nach Angaben des Verbandes der Kali- und Salzindustrie.

Substitutionen zwischen den eingesetzten Energieträgern fielen in den vergangenen Jahren sehr unterschiedlich aus. Der Nettostrombezug nahm von 1998 bis 2004 deutlich stärker zu als der gesamte Einsatz an Energie. Hierdurch stieg sein Anteil auf 8,5 % (RWI 2008: 26). Bis 2007 wuchs dann der Einsatz des CO₂-armen und ansonsten den Energiemix der Kaliindustrie dominierenden Erdgases leicht überdurchschnittlich, der Bezug von Fremdstrom ging dagegen zurück und sein Anteil am gesamten Energieeinsatz sank auf 6,9 % (RWI 2009: 30). Seit 2009 ist der Bezug von Fremdstrom erheblich zurückgegangen: Bis 2011 sank er um 60 % auf 0,7 PJ und 2012 um weitere 12 % auf 0,6 PJ (Tabelle 1.4). Gleichzeitig nahm der Verbrauch von Erdgas bis 2011 um rund ein Drittel auf 16,4 PJ zu und stieg 2012 noch einmal um 2 % auf 17,2 PJ. Damit entfiel 2012 nur noch ein Anteil von 3,2 % auf Fremdstrom, während der von Erdgas auf 96,8 % stieg.

Der Grund für diese Verschiebungen innerhalb der Struktur der eingesetzten Energieträger liegt jedoch nicht in einem geringeren Einsatz von Strom in der Kaliindustrie. Vielmehr wird bereits seit 2009 ein wachsender Teil des eingesetzten Stroms aus Fremddampf erzeugt, der aus einer CO₂-neutral betriebenen Verbrennung stammt. Während der Dampf von einer Betreibergesellschaft bereitgestellt

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

wird, erfolgt die Umwandlung in Strom in Eigenregie. Dieser Strom wird jedoch im CO₂-Monitoring nicht erfasst.

Tabelle 1.4
Energiemix der Kaliindustrie
1990 bis 2012; in PJ; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Rohbraunkohle	27,1	-	-	-	-	-	-
Heizöl, schwer	1,4	-	-	-	-	-	-
Heizöl, leicht	-	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02	0,01
Erdgas	19,2	16,8	17,6	18,6	16,4	16,8	17,2
Strom	8,5	2,6	0,5	1,6	0,9	0,7	0,6
Insgesamt	56,1	19,5	18,1	20,3	17,3	17,5	17,8

Nach Angaben des Verbandes der Kali- und Salzindustrie.

Die Auswirkungen der Veränderung des Energiemix spiegeln sich in der Entwicklung der CO₂-Emissionen je Energieeinheit wider: Insgesamt sanken die Emissionen je GJ seit 1990 von 84,8 kg CO₂/GJ auf 56,3 kg CO₂/GJ in den Jahren 2011 und 2012 (Tabelle 1.5). Multipliziert man die Verringerung um 28,5 kg CO₂/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. Allein auf die Substitution von Energieträgern entfielen mithin rund 42 % der bis 2012 reduzierten Emissionen von 3,8 Mill. t CO₂. Ein Großteil davon geht auf den vollständigen Verzicht auf Rohbraunkohlenstaub und schweres Heizöl als Energieträger zurück, wohingegen das CO₂-arme Erdgas zum dominierenden Energieträger wurde (Tabelle 1.4).

Neben Änderungen im Energiemix konnten die Emissionsverringerungen zwischen 1990 und 2012 im Wesentlichen durch Verbesserungen der Energieeffizienz und einen geringeren Energieverbrauch aufgrund der im Vergleich zu 1990 stark reduzierten Rohsalzverarbeitung erzielt werden. Wird der Rückgang der Produktionsmenge zwischen 1990 und 2012 von 15,6 Mill. t (Tabelle 1.3) mit dem hohen spezifischen CO₂-Emissionswert von 1990 von 91,4 kg je Tonne Produktionsoutput bewertet, ergibt sich eine Emissionsreduktion von rund 1,4 Mill. t.

Verbesserungen der Energieeffizienz schließlich waren überwiegend in der ersten Hälfte der 1990er Jahre festzustellen. Insgesamt sank der spezifische Energieverbrauch zwischen 1990 und dem Berichtszeitraum um mehr als die Hälfte, von rund

1 078 MJ/t auf rund 478 MJ/t (2011) bzw. 488 MJ/t (2012) (Tabelle 1.1). Mit der Verringerung des spezifischen Verbrauchs einher ging eine Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen. Den Beitrag der Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs zur Minderung der spezifischen Emissionen zeigt folgende Rechnung: Multipliziert man die Effizienzsteigerung von rund 599 MJ/t bzw. 0,599 GJ/t mit 84,8 kg CO₂/GJ, den Emissionen je Energieeinheit von 1990, so ergibt sich eine Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen durch Effizienzsteigerungen in Höhe von 50,8 kg CO₂/t bis zum Jahr 2011. Tatsächlich wurden 1990 jedoch 91,4 kg CO₂/t freigesetzt. Folglich konnten durch eine effizientere Energienutzung und den Einsatz CO₂-neutral erzeugten Stroms die spezifischen CO₂-Emissionen bis 2011 um fast 56 % gesenkt werden. Bezogen auf die 1990 verarbeitete Menge in Höhe von 52,1 Mill. t ergibt sich somit ein Einsparvolumen von fast 2,7 Mill. t CO₂.

Tabelle 1.5
Energieverbrauch, CO₂-Emissionen absolut und je Energieeinheit
 1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Emissionen (in Mill. T)	4,76	1,11	1,02	1,15	0,97	0,99	1,00
Energieverbrauch (in PJ)	56,1	19,5	18,1	20,3	17,3	17,5	17,8
Emissionen (in kg CO ₂ /GJ)	84,8	57,1	56,3	56,7	56,4	56,3	56,3

Nach Angaben des Verbandes der Kali- und Salzindustrie.

Da zum Ende des Berichtszeitraumes der Effizienzwert wieder leicht zurückgeht fallen die Kennzahlen für die effizienzbedingten Einsparungen für das Jahr 2012 etwas geringer aus. So beträgt die Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen gegenüber 1990 rund 50 kg CO₂/t, was einer Senkung um 54,7 % entspricht. Damit ergibt sich für 2012 im Vergleich zu 1990 ein Einsparvolumen von etwa 2,6 Mill. t CO₂.

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 CO₂-Ausstoß deutlich verringert haben. Die besseren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und die verstärkte Nutzung CO₂-neutraler Ersatzbrennstoffe zur Stromerzeugung haben 2011 dazu geführt, dass der spezifische Verbrauch auf den niedrigsten Wert seit 1990 gesunken ist und die Emissionen trotz erheblicher Produktionssteigerung wesentlich langsamer zunahmen.

1.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die deutsche Kaliindustrie hat nach eigenen Angaben durch die Nutzung einer optimierten Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) eine Energieeffizienz von ca. 90 % erreicht. Weitere Verbesserungen der Energieeffizienz sowie der absoluten und spezifischen CO₂-Emissionen sind damit kaum möglich, da der erreichte Wert sehr nahe am technischen Optimum liegt (K+S 2011a: 3).

Um die CO₂-Emissionen weiter zu senken, ist die Kaliindustrie seit 2009 dazu übergegangen, Erdgas durch erneuerbare Energieträger zu ersetzen. Diese Umstellung wurde auch 2010 weiter vorangetrieben. Zu diesem Zweck wurde ein Kraftwerk für Ersatzbrennstoffe in Heringen an der Werra errichtet. Eine Betreibergesellschaft erzeugt in dieser KWK-Anlage durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen CO₂-neutral Frischdampf. Dieser wird anschließend in Eigenregie zur Stromerzeugung und danach in der Produktion als Prozesswärme genutzt. Insgesamt ersetzt der Frischdampf 909,9 GWh bzw. rund 3,3 PJ aus fossilen Energieträgern bzw. Fremdstrom (K+S 2011a: 3). Die Nutzung des Frischdampfs aus dieser Anlage hat neben erheblichen Einsparungen beim Einsatz des fossilen Energieträgers Erdgas zu entsprechend geringeren CO₂-Emissionen geführt.

Auf die Ergebnisse des Monitorings hat die Nutzung erneuerbarer Energieträger – ebenso wie die von Sekundärbrennstoffen – indirekt Auswirkungen. Da im Monitoring nur der Einsatz von fossilen Brennstoffen und Nettofremdstrom berücksichtigt wird, verringert die Nutzung CO₂-neutraler Energieträger den betrachteten Gesamtenergieverbrauch an fossilen Brennstoffen und Fremdstrom. Ein unverändertes Produktionsniveau vorausgesetzt, ergibt sich für die im Monitoring erfasste Energiemenge ein geringerer spezifischer Verbrauch. Gleichzeitig werden sowohl die absoluten als auch die spezifischen Emissionen reduziert.

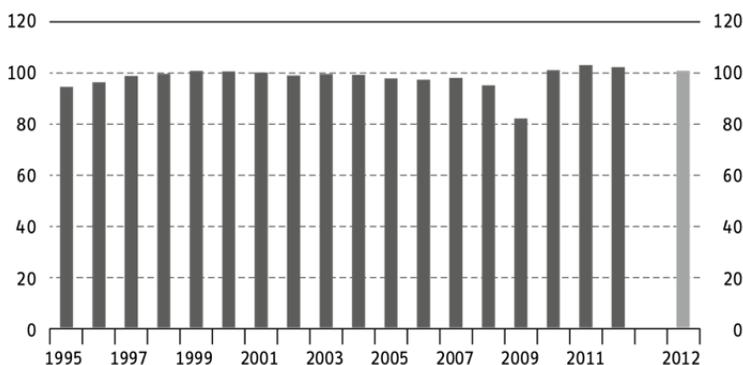
Für 2011 und 2012 nennt die Kaliindustrie zwei Maßnahmen zur Erhöhung der KWK-Stromerzeugung: 2011 wurde für 1,1 Mill. € eine Gasturbine in der Trocknung des Kaliwerkes Neuhof-Ellers ersetzt, die netto 0,5 MW mehr leistet. Bei 7 000 Betriebsstunden ergibt sich hieraus eine zusätzliche jährliche Stromerzeugung von 3,5 GWh. 2012 wurde eine neue Gasturbine im Kraftwerk des Kaliwerkes Hattorf in Betrieb genommen. Die Investitionen hierfür betrugen insgesamt 36 Mill. €. Die 25 MW zusätzliche Leistung der Gasturbine ergeben bei 7 000 Betriebsstunden eine Stromerzeugung von 175 GWh.

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 2009a). Der Ausstoß von CO₂ konnte bis 2011 um 19,3 %

und um 19,0 % bis 2012 gegenüber 1990 verringert werden. Das Minderungsziel für 2012, eine Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen von 69 % gegenüber 1990, wurde 2011 zu 102,2 % und 2012 zu 101,4 % erreicht (Schaubild 1.3).

Schaubild 1.3
Zielerreichungsgrad des spezifischen Minderungsziels für 2012
 1995 bis 2012; in %



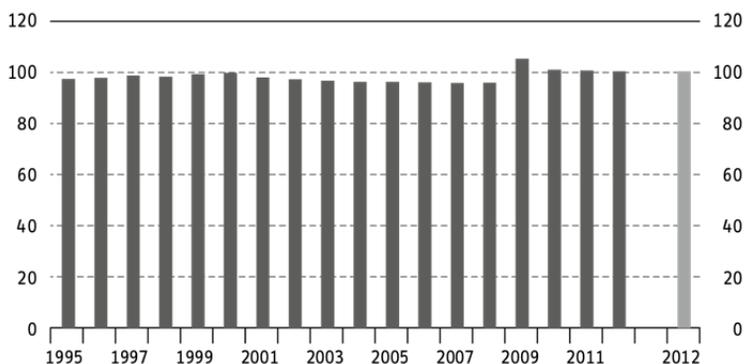
Eigene Berechnungen.

Das Ziel, den absoluten CO₂-Ausstoß um mehr als 78 % gegenüber 1990 zu senken, wurde zwar im Jahr 2000 erreicht, bis 2008 nahmen die Emissionen aber wieder zu. Lediglich der starke Produktionsrückgang sorgte 2009 dafür, dass der Zielerreichungsgrad auf 104,9 % stieg (Schaubild 1,4). 2011 konnte das Ziel eingehalten werden (100,3 %), weil die CO₂-Emissionen durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen erheblich langsamer zunahmen als die Produktion. 2012 betrug der Zielerreichungsgrad genau 100 %.

Bis 2007 lag das Wachstum der Nachfrage nach Kalidüngemitteln im Durchschnitt der letzten fünf Jahre bei 5 % pro Jahr (K+S 2008b: 86). Infolge der Finanz- und Wirtschaftskrise ging jedoch die Produktion der Kaliindustrie 2009 deutlich zurück. 2010 konnte der Produktionsrückgang bereits weitgehend aufgeholt werden. Auch weiterhin werden die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Kaliindustrie eher günstig beurteilt: Die weiter wachsende Weltbevölkerung, veränderte Ernährungsgewohnheiten in den Schwellenländern sowie die größere Bedeutung nachwachsender Rohstoffe dürfte zukünftig wieder zu einer steigenden Nachfrage nach Düngemitteln führen (K+S 2011a: 3).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Schaubild 1.4
Zielerreichungsgrad des absoluten Minderungsziels für 2012
1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

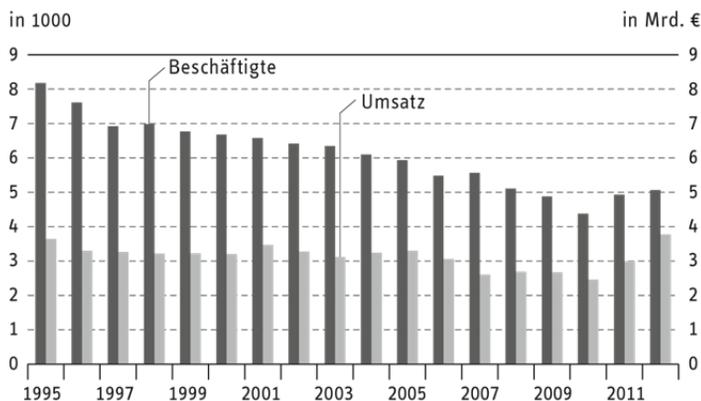
Mit zunehmender Produktionsmenge wird allerdings auch die Menge an CO₂-Emissionen ansteigen, zumal der Nachhaltigkeitsbericht der K+S AG für 2008 bereits feststellt, „dass sich nach heutigem Stand der Technik selbst durch weitere Investitionen kaum noch spürbare Emissionsminderungen erreichen lassen“ (K+S 2009b: 11). Darüber hinaus nimmt der Wertstoffgehalt der Rohsalze seit einigen Jahren langsam ab. Der Energieaufwand, der zur Sicherung einer hohen Produktionsleistung erforderlich ist, steigt hierdurch und mit ihm auch die absoluten und die spezifischen CO₂-Emissionen (K+S 2010: 3). Zukünftig sollen die CO₂-Emissionen daher durch Nutzung von Abwärme verringert werden (K+S 2011a: 2-3). Weiteres Minderungspotential liegt im Einsatz erneuerbarer Energieträger und Sekundärbrennstoffe in der Eigenstromerzeugung. Die Ergebnisse für den Berichtszeitraum 2011 und 2012 haben gezeigt, dass sowohl das absolute als auch das spezifische Reduktionsziel der Kaliindustrie erreicht werden konnten.

2. Die Zuckerindustrie

Das Kerngeschäft der Zuckerindustrie umfasst die Gewinnung und Raffination von Zucker aus Zuckerrüben. Produktionsniveau und -entwicklung werden unter anderem von der europäischen Zuckermarktordnung bestimmt, die eine Regulierung des Zuckermarktes 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 führt u. a. zu sehr einschneidenden Preissenkungen gegenüber dem bis 2006 gültigen Interventionspreis (rund 36 %) sowie einer drastischen Reduzierung der Produktionsquoten im Rahmen eines Strukturfonds (EU 2006).

Der Umsatz der Zuckerindustrie betrug 2012 etwa 3,8 Mrd. € (Schaubild 2.1). Mit einem Umsatzanteil am Verarbeitenden Gewerbe von knapp 0,2 % gehört diese Industrie zu den kleinen Wirtschaftszweigen.

Schaubild 2.1
Beschäftigte und Umsatz in der Zuckerindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes und des Jahresberichts für Betriebe.

Der Rückgang der Rübenverarbeitung von 3,3 % in den Jahren 1995 bis 2005 liegt im Rahmen einer gleichmäßigen Schwankungsbreite (Schaubild 2.2). Die durch die Zuckermarktreform veranlassten Marktrücknahmen durch die Kommission sowie eine vegetationsbedingt schlechte Ernte mit unterdurchschnittlichen Zuckergehalten lösten 2006 einen starken Rückgang der Rübenverarbeitung auf 20,65 Mill. t aus. Die entsprechend niedrigere Zuckerproduktion führte dann 2007 zu einem Absinken

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

des Umsatzes auf 2,6 Mrd. €. Bereits im Jahr 2007 erreichte die Verarbeitung mit 25,14 Mill. t wieder ihr langjähriges Niveau.

Nachdem die deutsche Zuckerwirtschaft im Zuge der Reform des europäischen Zuckermarktes Ende 2007 und Anfang 2008 in zwei Wellen insgesamt rund 20,7 % ihrer Produktionsquote für Zucker aufgegeben hatte, kam es im Jahr 2008 zu einem erneuten Rückgang der Rübenverarbeitung gegenüber 2007 um rund 2,1 Mill. t bzw. 8,5 % auf 23 Mill. t (VdZ 2009: 4). Der Umsatz stieg hingegen um 4,3 % auf 2,7 Mrd. €.

2009 erreichte die Rübenverarbeitung bei konstantem Umsatz wieder 26 Mill. t und damit den langjährigen Durchschnittswert. Der Verband bezeichnet 2009 als das erste Jahr nach der reformbedingten Restrukturierung des Sektors, das nach mehreren atypisch verlaufenen Jahren hinsichtlich Anbaufläche, Ertrag, Rübenmenge und Zuckergehalt wieder einen normalen vor der Reform vergleichbaren Verlauf nahm (VdZ 2010:4). 2010 sank die Rübenverarbeitung vor allem aufgrund schlechter Witterungsbedingungen erneut um 4,6 % auf 24,8 Mill. t, begleitet von einem Umsatzrückgang von 8,1 % auf 2,5 Mrd. € (VdZ 2010:4).

Günstige klimatische Bedingungen und eine gute Vegetation lieferten in den Zuckerrübenkampagnen der Jahre 2011 und 2012 eine hohe Rübenqualität. Die Rübenverarbeitung konnte auf 28,14 Mill. t im Jahr 2011 und 28,76 Mill. t im Jahr 2012 gesteigert werden. Der Umsatz der Zuckerindustrie stieg 2011 um 22,2 % auf 3,0 und konnte 2012 noch einmal um 25,7 % auf 3,8 Mrd. € gesteigert werden.

In 20 Betrieben beschäftigte die Zuckerindustrie 2012 noch 5 471 Mitarbeiter. Die Anzahl der Beschäftigten der Zuckerindustrie ist zwischen 1995 und 2012 bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Gesamtverarbeitungskapazität um 38,1 % zurückgegangen.

2.1 Datenbasis

Grundlage des vorliegenden Monitoringberichtes 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.

Das Monitoring weicht seit der Berichterstattung 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 waren, sondern auf Verbandsangaben. Zweitens beziehen sich diese Werte auf das Kalenderjahr und nicht mehr auf das sogenannte Zuckerwirtschaftsjahr. Dieses umspannte bis 2006

den Zeitraum vom 1. Juli bis zum 30. Juni des Folgejahres. Seit 2006 umfasst das Zuckerwirtschaftsjahr laut novellierter Zuckermarktordnung die Periode vom 1. Oktober bis zum 30. September des Folgejahres (VdZ 2008a: 4).

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 erfolgte, da seit 2003 die monatliche Erfassung der Energiedaten des Verarbeitenden Gewerbes durch das Statistische Bundesamt entfällt. 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 weiterer Grund dafür, dass hier die Energieangaben des VdZ und nicht die des Statistischen Bundesamtes verwendet werden, ist, 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 (VdZ 2004: 3).

Die Daten für die Rübenverarbeitung entstammten bis zum Monitoringbericht 2008 den Kampagne-Schlussberichten der Zuckerfabriken. Solange die Rübenkampagnen bis zum Jahresende abgeschlossen waren, hatte dies keine statistischen Auswirkungen. Im Einzelfall wurde die ins neue Jahr reichende Erzeugung jeweils berücksichtigt. Da die Dauer der Rübenkampagnen sich inzwischen von 90 auf bis zu 120 Tage ausgeweitet hat und an vielen Standorten erstmals bis weit über die Mitte Januar 2010 reichte, werden die Erzeugungszahlen ab 2009 ebenfalls zum 31.12. abgegrenzt.

Der VdZ hat seine fossilen Energieverbrauchswerte 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 beim Energieverbrauch seit 2005 um etwa 3,5 bis 6,6 % niedriger. Bei den CO₂-Emissionen gibt es dagegen mit Ausnahme des Jahres 2009 kaum nen-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

nenswertes Unterschiede (Tabelle 2.1). Damit stellen sich die vom VdZ gelieferten Angaben der Entwicklung des Energieverbrauchs in der Zuckerindustrie moderat ungünstiger dar, als die auf Basis der Heizwerte der AGEB ermittelten Verbrauchswerte. Das Zurückgreifen auf die speziellen Heizwerte des VdZ kann daher im Rahmen der Überprüfung der freiwilligen Selbstverpflichtung der Zuckerindustrie akzeptiert werden. Für den – bei der Zuckerindustrie negativen – Nettofremdstrombezug wird weiterhin der durch die AGEB berechnete Heizwert des Stroms aus der öffentlichen Stromversorgung für das Jahr 1990 zugrunde gelegt.

Tabelle 2.1
Energieverbrauch an fossilen Energieträgern und CO₂-Emissionen in der Zuckerindustrie

2000 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Energieverbrauch, AGEB	29,0	26,3	21,7	25,9	24,2	27,0	24,3	27,1	27,4
Energieverbrauch, VdZ ¹	29,2	27,3	22,7	27,1	25,8	28,9	25,9	28,6	28,9
Differenz, (in % des Energieverbrauchs des VdZ)	-0,9	-3,5	-4,3	-4,3	-6,2	-6,6	-6,1	-5,0	-4,9
CO ₂ -Emissionen (in Mill. t, AGEB)	2,35	2,13	1,83	2,09	1,92	2,04	1,80	2,03	2,00
CO ₂ -Emissionen (in Mill. t, VdZ)	2,35	2,13	1,83	2,09	1,92	1,99	1,80	2,03	2,00
Differenz, (in % der CO ₂ -Emissionen des VdZ)	-	-0,1	-	-0,1	-0,1	-2,5	-0,1	1,3	0,2

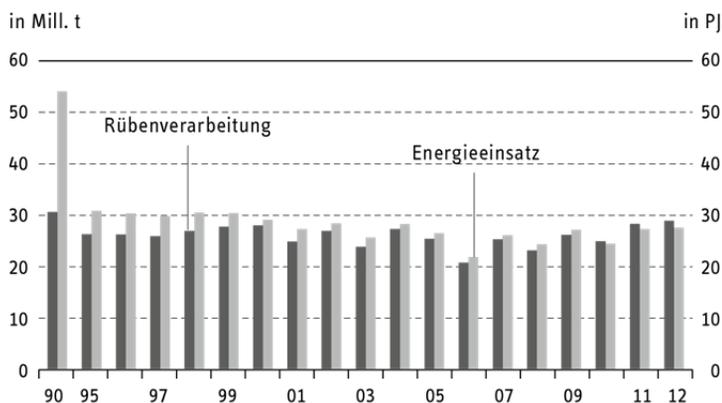
Eigene Berechnungen nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. ¹ Einschließlich der aus dem Eigenstromexport resultierenden Verbräuche und Emissionen.

Aufgrund eines Fehlers beim Verbrauch von leichtem Heizöl hat der Verband die Daten für das Berichtsjahr 2010 korrigiert. Die irrtümliche Erfassung des Verbrauchs von leichtem Heizöl in Litern statt in m³ führte zu einem rund 579 MWh zu hohen Jahresenergieverbrauch mit entsprechenden Wirkungen auf den spezifischen Energieverbrauch und die spezifischen CO₂-Emissionen. Im vorliegenden Bericht wurden die korrigierten Angaben für 2010 verwendet.

2.2 Energieverbrauch und Produktion

Der gesamte Energieverbrauch einschließlich Nettofremdstrombezug sank zwischen 1990 und 1995 um 43 %, von 53,9 auf 30,7 PJ (Schaubild 2.2). Die Rübenverarbeitung ging unterdessen nur um rund 14,4 % zurück, wobei es sich bei der Verarbeitungsmenge von 30,5 Mill. t Rüben im Jahr 1990 allerdings um einen einmalig hohen Wert handelte; der langjährige Durchschnitt liegt zwischen 25 und 26 Mill. t. Bezogen auf 1995 lag die Verarbeitung im Jahr 2011 und 2012 mit 28,1 bzw. 28,8 Mill. t um 7,6 bzw. 10,0 % höher. Der Energieverbrauch konnte 2011 dagegen um 11,5 % auf 27,1 PJ und 2012 um 10,5 % auf 27,4 PJ reduziert werden. Damit fielen die Differenzen der Wachstumsraten mit etwa 19 bis 20 Prozentpunkten deutlich geringer aus als in der ersten Hälfte der neunziger Jahre mit 30 Prozentpunkten.

Schaubild 2.2
Energieverbrauch und Rübenverarbeitung in der Zuckerindustrie
 1990 bis 2012



Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie.

Bei dem drastischen Produktionsrückgang um 18,6 % im Jahr 2006 handelte es sich um eine durch die Reform der Zuckermarktordnung in diesem Jahr hervorgerufene Auswirkung von Sondereffekten, verbunden mit den Auswirkungen einer vegetationsbedingt deutlich unterdurchschnittlichen Ernte. Von 2007 bis 2008 sank die Produktion aufgrund der Aufgabe der Zuckerquote auf 23 Mill. t um 8,4 %, begleitet von einem Rückgang des Energieverbrauchs um 6,6 % von 25,9 PJ auf 24,2 PJ. Nach der Restrukturierung stieg die Produktion 2009 um 13 % auf 26 Mill. t, der Energieverbrauch erhöhte sich um 11,7 % auf 27,0 PJ. Die Berichtsjahre 2011 und

2012 führten durch günstige Witterungsbedingungen zu einem Anstieg der Produktion um 13,5 und noch einmal 2,2 %, während der Energieverbrauch nur um 11,7 bzw. 1,1 % zunahm.

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, Saftedampfung, 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 werden den Rübenschnitzeln in Extraktionstürmen über 98 % des Zuckers entzogen. Der so entstandene Rohsaft hat einen Zuckeranteil von 13 bis 15,8 %.

Ein Teil der 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 sogenannte Dünnsaft. Für die Saftedampfung wird in der Verdampfstation mit Hilfe in Reihe geschalteter Verdampfungsapparate dem Dünnsaft weiter Wasser entzogen, bis sich ein rund 70 %iger zuckerhaltiger Sirup gebildet hat. In der Kochstation verfestigt sich der Sirup bei Zugabe von Impfkristallen durch Wasserentzug weiter. Diese Kochmasse wird anschließend in Rührgefäße abgelassen. In hochtourigen Zentrifugen werden die Kristalle zum Abschluss durch Abschleudern vom zähflüssigen Sirup getrennt und danach noch einmal mit Wasser 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 Sattampf, der sogenannte 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, d.h. der Zeit, in der die Zuckerfabriken die Rüben

verarbeiten, ins öffentliche Netz eingespeist. Der Fremdstrombezug konzentriert sich auf den Nicht-Kampagnenbetrieb, 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 CO₂-Emissionen bis 2005 gegenüber dem Zuckerwirtschaftsjahr 1990 von 148 kg/t auf 81 bis 87 kg/t Rüben bzw. um 41 bis 45 % zu senken (VdZ 2000: 1-2). Die Zusage des VdZ zur Emissionsminderung basiert auf den vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Energieverbrauchsdaten für das Zuckerwirtschaftsjahr 1990. Den Monitoringberichten liegen jedoch die vom VdZ erhobenen Daten zugrunde. Diese beziffern den spezifischen CO₂-Ausstoß im Basisjahr mit 152 anstatt mit 148 kg CO₂/t Rüben bei einer Gesamtemission von 4,5 Mill. t CO₂ im Basisjahr. Hieraus ergab sich für 2005 rechnerisch eine Minderungszusage von 42,9 % bis 46,8 %.

Übersicht 2.1

Selbstverpflichtung der Zuckerindustrie

Ziel 2012 Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen auf 79 bis 85 kg/t Rüben bis 2012 mit der Option, vor dem Hintergrund der ab 2010 zu erwartenden erheblichen Rohzuckerimporten aus Drittstaaten, das Produkt Zucker als Bezugsgröße heranzuziehen. Dies impliziert eine Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2012 auf 540 bis 500 kg/t Zucker, ausgehend von einer durchschnittlichen Zuckerausbeute von 15,8 % in den vergangenen fünf Jahren.

Basisjahr 1990/1991

Angaben des Vereins der Zuckerindustrie (2000 und 2008a).

Die Höhe der spezifischen CO₂-Emissionen lag bereits seit 2002 in dem für 2005 angestrebten Zielkorridor. Daher hat sich der Verein der Zuckerindustrie im Jahr 2008 in einer Fortschreibung der Selbstverpflichtungserklärung zu einer weiteren Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen der deutschen Zuckerindustrie verpflichtet. Bei Aufrechterhaltung der Branchenerklärung aus dem Jahr 2000 zu den übrigen Punkten sagt der VdZ bis 2012 eine Reduktion auf 79 bis 85 kg/t Rüben zu. Hieraus ergibt sich rein rechnerisch eine Minderungszusage von 44,1 % bis 48,0 % (Übersicht 2.1).

Dabei behält sich die Zuckerindustrie vor, bei einem erheblichen Anstieg der Rohzuckerimporte aus Drittstaaten ab 2010, anstatt der Rüben das Produkt Zucker als Bezugsgröße für die Ermittlung der spezifischen CO₂-Emissionen heranzuziehen, da

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

dieser Rohzucker ohne einen herstellbaren Bezug zur Rübe zu Weißzucker raffiniert wird. Hieraus ergäbe sich eine Minderungszusage auf 540 bis 500 kg/t Zucker, ausgehend von einer durchschnittlichen Zuckerausbeute von 15,8 % in den vergangenen fünf Jahren (VdZ 2008b: 3).

Die Zielvorgabe für den spezifischen Energieverbrauch, die der VdZ im Rahmen der Selbstverpflichtungen der deutschen Wirtschaft von 1996 gegeben hatte und in der Erklärung von 2000 – neben der damals neu hinzu getretenen Zusage, die spezifischen CO₂-Emissionen bis 2005 auf 81 bis 87 kg/t Rüben zu senken – unverändert bestehen ließ, sah eine Reduktion von 49,1 kWh pro Dezitonne (dt) im Jahr 1990 auf 29 kWh/dt Rüben im Jahr 2005 vor (VdZ 2000: 1-2). Dieses Ziel konnte bereits seit 2004 realisiert werden. Bezüglich einer Fortschreibung dieses auf den spezifischen Energieverbrauch gerichteten Teils des Ziels wurden vom Verband bis 2012 keine Aussagen getroffen.

Tabelle 2.2
Spezifische CO₂-Emissionen und Zielerreichungsgrade der Zuckerindustrie
1990 bis 2012; Ziel bis 2012: 79-85 kg CO₂/t Rüben

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spez. Emissionen, (kg/t)	152	96,3	84,3	84,1	72,6	72,0	69,7
Minderung (in %)	-	36,8	44,7	44,8	55,3	52,7	54,2
Zielerreichungsgrad (in %)	-	88,3	100,8	101,2	117,1	118,1	122,0

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

2.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

In den Jahren 2011 und 2012 lagen die spezifischen CO₂-Emissionen mit 72,0 bzw. 69,7 kg/t Rüben um 52,7 bzw. 54,2 % unter dem Niveau von 1990 mit 152 kg/t und damit seit 2009 zum vierten Mal in Folge unterhalb der unteren Grenze des angestrebten Zielkorridors von 79 kg/t (Tabelle 2.2; RWI 2010: 43). Zwischen 1999 und 2008 befanden sich die entsprechenden Werte mit Ausnahme der Jahre 2001, 2003 und 2006 innerhalb dieses Korridors. Damit konnte das für 2012 gesetzte Ziel, für die spezifischen CO₂-Emissionen einen Wert zwischen 79 bis 85 kg/t zu realisieren, in diesem Zeitraum nahezu durchgehend erreicht werden. 2011 und 2012 lag der Zielerreichungsgrad, gemessen an der oberen Grenze von 85 kg CO₂/t Rüben, bei 118,1 bzw. 122,0 %.

2011 und 2012 lag der spezifische Energieverbrauch bei 26,8 bzw. 26,5 kWh/dt (Tabelle 2.4). Nachdem der spezifische Verbrauch zwischen 1990 und 2000 von 49,1 kWh/dt auf 28,9 kWh/dt gesunken war, stieg er in den folgenden drei Jahren noch einmal auf Werte bis ca. 30 kWh/dt an. Seit 2004 pendelt der spezifische Verbrauch um den Zielwert für das Jahr 2005. (Tabelle 2.4, RWI 2008: 36). Das Resultat der Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs, der spezifischen CO₂-Emissionen sowie des Rückgangs der Rübenverarbeitung seit 1990 war eine Senkung der absoluten CO₂-Emissionen um 61,2 % von 4,6 Mill. t auf 1,80 Mill. t im Jahr 2010 (Tabelle 2.3). 2011 führte der Anstieg der Rübenverarbeitung zu einem Emissionsanstieg um 12,8 % auf 2,03 Mill. t; 2012 gab es einen leichten Rückgang der Emissionen um 1,5 %, während die Produktion weiter stieg.

2.6 Ursachenanalyse

Eine, wenn auch nicht die wesentliche, Ursache für die Minderung der Emissionen im Zeitraum 1990 bis 2010 ist der Rückgang der Rübenverarbeitung, die zwischen 1990 und 1995 deutlich sank, von 30 Mill. t/a auf gut 26 Mill. t/a (Tabelle 2.3). Bei der Verarbeitungsmenge im Jahr 1990 handelt es sich jedoch nur um einen einmalig hohen Wert; der langjährige Durchschnitt liegt zwischen 25 und 26 Mio. t. 1991 betrug diese Menge 26,01 Mill. t.

Zwischen 1995 und 2005 ging die Produktion dagegen nur um 3,3 % auf 25,3 Mill. t zurück. 2009 lag sie mit 26 Mill. t wieder auf dem Niveau des Jahres 1995. 2010 sank sie auf 24,8 Mill. t. Die Jahre dazwischen waren durch Sondereffekte geprägt: So erreichte die Rübenverarbeitung 2006 - ausgelöst u.a. durch die Zuckermarktreform - vorübergehend ein bisher einmaliges Tief von 20,6 Mill. t. Bereits 2007 lag die Produktion wieder bei 25,1 Mill. t. Die Senkung der Produktionsquoten um 20,7 % ebenfalls im Zuge der Reform des europäischen Zuckermarktes führte 2008 vorübergehend erneut zu einem Rückgang auf 23 Mill. t. In den Jahren 2011 und 2012 lag die Rübenverarbeitung aufgrund günstiger Witterungsbedingungen und anderer günstiger Rahmenbedingungen mit 28,1 bzw. 28,8 Mill. Tonnen deutlich über dem langjährigen Durchschnitt.

Entscheidend für die Minderung der CO₂-Emissionen war der Rückgang der spezifischen CO₂-Emissionen. Deren Entwicklung wird durch die Veränderung des spezifischen Energieverbrauchs sowie durch den Energiemix, der in der Produktion zum Einsatz kommt, bestimmt. Der spezifische Energieverbrauch reduzierte sich in der ersten Hälfte der 1990er Jahre um gut 33,6 %, von 49,1 auf 32,6 kWh/dt (Tabelle 2.4). Die hohe Steigerung der Energieproduktivität zwischen 1990 und 1995 ist zu einem großen Teil auf die vereinigungsbedingten Restrukturierungen in Ostdeutschland, d.h. auf den kapitalintensiven Aufbau neuer, moderner Zuckerfabriken in den neuen Bundesländern, verbunden mit der Stilllegung von Anlagen zurückzu-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

führen. 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).

Zwischen 1995 und 2012 sank der spezifische Energieverbrauch mit 18,6 % deutlich schwächer als in der ersten Hälfte der neunziger Jahre, von 32,6 kWh/t auf 26,5 kWh/t (Tabelle 2.4).

Tabelle 2.3
Rübenverarbeitung und CO₂-Emissionen der Zuckerindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
CO ₂ -Emissionen, (Mill. t)	4,64	2,52	2,35	2,13	1,80	2,03	2,00
Minderung (in %)		45,7	49,4	54,1	61,2	56,9	56,9
Produktion, (Mill. t)	30,5	26,1	27,9	25,3	24,8	28,1	28,8
Veränderung (in %)		-14,4	-8,5	-17,0	-18,7	-7,9	-5,6

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

Bei der Bewertung der Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs ist Folgendes zu berücksichtigen: Durch die Umstellung der Berichterstattung vom Zuckerwirtschaftsjahr auf das Kalenderjahr werden bei der Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs die Größen Energieverbrauch, CO₂-Mengen und Rübenverarbeitung nicht mehr verursachergerecht aufeinander bezogen. Denn der Energieverbrauch eines Jahres bezieht sich faktisch auf die Rübenverarbeitung der Monate September bis Dezember des Vorjahres, wobei bis einschließlich 2008 bei Fortdauer der Rübenkampagne bis in den Januar und Februar in Ausnahmefällen noch Werte entsprechend berücksichtigt wurden.

Da sich die verarbeiteten Rübenmengen aufgrund von Ertragsschwankungen und – wie in den letzten Jahren – auch durch die Änderung von politischen Rahmenbedingungen von Jahr zu Jahr stark ändern können, führt das dazu, dass der ausgewiesene spezifische Energiebedarf durch die großen Schwankungen der verarbeiteten Rübenmenge stärker bestimmt wird als durch die technischen Veränderungen zur Steigerung der Energieeffizienz (VdZ 2010: 2).

Tabelle 2.4
Entwicklung von Energieverbrauch, Produktion und CO₂-Emissionen pro Energie-
einheit in der Zuckerindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Energieverbrauch, (PJ)	53,9	30,7	28,9	26,3	24,3	27,1	27,4
Minderung (in %)		43,0	46,4	51,2	54,9	49,7	49,2
Spez. Verbrauch, (kWh/dt)	49,1	32,6	28,9	28,9	27,2	26,8	26,5
Minderung (in %)		33,6	41,1	41,1	44,6	45,4	46,0
CO ₂ -Intensität, (kg/Gj)	85,3	81,4	83,0	79,8	74,1	73,8	73,0

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

Kommt es vorübergehend zu einer größeren Produktionsabsenkung, wie z.B. 2006, wird der Energieverbrauch dieses Jahres auf einen zu niedrigen Rübenverarbeitungswert bezogen, der spezifische Energieverbrauch rein rechnerisch also zu hoch ausgewiesen. Dies erklärt die Verschlechterung der Energieeffizienz auf über 29 kWh/dt im Jahr 2006 (VdZ 2009: 2). 2009 beeinflusste dagegen ein relativ niedriger Energieverbrauch, bezogen auf einen hohen Wert für die Rübenverarbeitung, den spezifischen Energieverbrauch deutlich positiv. Verstärkt wurde die Wirkung dadurch, dass die Verlängerung der Kampagne die Verlagerung der energieintensiven Abfahrprozesse ohne nennenswerte Rübenverarbeitung in das nächste Jahr bewirkte (VdZ 2010: 5). Der gegenüber 2009 etwa gleich hohe Energieverbrauch im Jahr 2010, bezogen auf eine deutlich niedrigere Produktion, trug dann zu einem höheren spezifischen Energieverbrauch in diesem Jahr bei.

Eine Berechnung des Dreijahresdurchschnitts nivelliert derartige Effekte und weist für die Jahre 2000 bis 2004 eine deutliche Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs von 30,7 kWh/dt auf 29,2 kWh/dt aus. Danach sind nur noch geringfügige Schwankungen um den Zielwert festzustellen.

Der spezifische Energieverbrauch der Zuckerindustrie hängt in erheblicher Weise von den meteorologischen Bedingungen ab. So beeinflussen die Witterungsbedingungen den Umfang des Schmutzanhangs der Rüben und bestimmen so die Höhe des Energieeinsatzes bei der Rübenvorbereitung. Ein erhöhter Erdanhang an den Rüben führt zu Unterbrechungen im Produktionsprozess und somit zu einem ver-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

mehrten Energiebedarf. Die Witterung beeinflusst zudem die Qualität der Rüben, vor allem den Gehalt an Zucker und störenden Begleitstoffen (VdZ 2004).

Nach Angaben des Verbandes führten optimale Rahmenbedingungen – insbesondere bei der Witterung – in den Jahren 2011 und 2012 zu deutlich erhöhten Ernteerträgen und einem hohen Zuckergehalt. Dies resultierte in einem geringeren spezifischen Verbrauch (VdZ 2013: 6), da der Energieverbrauch insgesamt weniger stark stieg als die Rübenverarbeitung.

Der spezifische CO₂-Ausstoß ging von 1990 bis 2012 um 54,2 % zurück, von 152 auf 69,7 kg/t (Tabelle 2.2). Die Minderungsrate des spezifischen Energieverbrauchs betrug in diesem Zeitraum 46,0 % (Tabelle 2.4) und war somit um 8,2 Prozentpunkte geringer als die des spezifischen CO₂-Ausstoßes. Änderungen des Energiemix trugen damit ebenfalls zu einer Verbesserung und so zur Reduktion der Emissionen bei.

Änderungen im Energiemix spiegeln sich auch in der Entwicklung der CO₂-Intensität, d.h. der CO₂-Emissionen pro Einheit eingesetzter Energie wider. Deren Wert verringerte sich zwischen 1990 und 1995 von 85,3 auf 81,4 kg/GJ (Tabelle 2.4). Bis 2012 zeigt die CO₂-Intensität eine deutlich sinkende Tendenz. Lediglich in den Jahre 2000 und 2006 wich der Wert deutlich nach oben ab (RWI 2007: 37). In den aktuellen Berichtsjahren lag die CO₂-Intensität bei 73,8 und 73,0 kg/GJ, dem niedrigsten Wert seit 1990.

Von 1990 bis 1995 spielte der Bedeutungsverlust der kohlenstoffreichen Energieträger Steinkohle und vor allem Braunkohle im Zuge der Wiedervereinigung die ausschlaggebende Rolle für den Rückgang des CO₂-Emissionsfaktors pro Energieeinheit (Tabelle 2.5). In den Jahren danach hingen die Schwankungen der CO₂-Intensität vor allem vom jeweiligen Einsatz der Energieträger Erdgas und schweres Heizöl ab. Diese haben seit Mitte der neunziger Jahre zusammen einen Anteil von etwa 60 bis 65 % am Energieverbrauch. Der Einsatz des einen schwankte von Jahr zu Jahr beträchtlich zu Lasten des anderen. Zurückzuführen ist dies darauf, dass Erdgas aufgrund sogenannter Abschaltverträge nicht immer ohne weiteres zur Verfügung steht. Darüber hinaus hängt die Verbrauchshöhe der Energieträger von den jeweiligen relativen Energiepreisen ab, d.h. davon, welcher Energieträger zum jeweiligen Zeitpunkt als wirtschaftlich betrachtet und bevorzugt eingesetzt wird.

2006 betrug die CO₂-Emissionen pro Einheit eingesetzter Energie 84,3 kg/GJ und waren damit vergleichsweise hoch. In diesem Jahr erfolgte eine deutliche Substitution von Erdgas durch schweres Heizöl. Der Erdgaseinsatz sank allein zwischen 2005 und 2006 von 7,5 auf 4,3 PJ bei einer Abnahme des Energieverbrauchs

von 26,3 PJ auf 21,7 PJ, während der Einsatz von schwerem Heizöl nur von 9,5 auf 9,0 PJ zurückging.

In den Jahren 1999 und 2002 lagen die CO₂-Emissionen pro Einheit eingesetzter Energie mit 79,5 und 78,0 kg/GJ vergleichsweise niedrig. 2011 betrug die CO₂-Intensität 73,8 kg/GJ und 2012 nur 73,0 kg/GJ. Die Ursache war in allen Jahren dieselbe: Kohlenstoffreiches schweres Heizöl mit einem CO₂-Emissionsfaktor von 78 kg/GJ wurde durch kohlenstoffarmes Erdgas mit einem CO₂-Faktor von 56 kg/GJ in erheblichem Maße substituiert.

Tabelle 2.5
Veränderungen des Energiemix der Zuckerindustrie
1990 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohlen	7,3	2,6	3,0	2,4	2,7	2,9	2,9
Steinkohlenkoks	2,3	1,5	1,6	1,1	0,7	1,0	0,7
Rohbraunkohlen	11,9	2,4	2,3	2,2	1,9	2,3	1,8
Br.briketts & -koks	5,9	1,7	1,8	2,7	3,5	4,0	4,2
Braunkohlenstaub	-	2,4	1,9	1,5	0,6	0,9	1,0
Schweres Heizöl	13,8	14,2	11,3	9,5	1,5	1,2	0,9
Leichtes Heizöl	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
Erdgas	10,2	5,1	6,9	7,5	14,7	16,2	17,2
Fossile Energieträger	51,9	30,5	29,2	27,3	25,9	28,6	28,8
Nettorendstrom	2,0	0,2	-0,3	-1,0	-1,6	-1,4	-1,4
Verbrauch insgesamt	53,9	30,7	28,9	26,3	24,3	27,1	27,4

Nach Angaben des Vereins der Zuckerindustrie im Rahmen des Monitoring.

So stieg 2011 der Einsatz von Erdgas von 14,7 PJ auf 16,2 PJ (Tabelle 2.5). Im Gegenzug fiel der Verbrauch an schwerem Heizöl von 1,5 PJ auf 1,2 PJ bei gleichzeitig steigendem Verbrauch an fossilen Energieträgern um 2,7 PJ. Der Anteil des Erdgases am Verbrauch fossiler Energieträger lag in diesem Jahr bei fast 57 %.

2012 nahm der Erdgaseinsatz um weitere 1,0 PJ auf 17,2 PJ zu und erreichte damit einen Anteil am gesamten fossilen Energieeinsatz von 59,7 %, während der Bedarf an fossilen Energieträgern insgesamt von 28,6 PJ auf 28,8 PJ nahezu unverändert blieb.

2.7 Maßnahmen im Einzelnen

Die Zuckerindustrie führte in den letzten Jahren eine Vielzahl anlagenseitiger Änderungen und Verfahrensoptimierungen durch, um die Effizienz der Produktionsprozesse zu steigern. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes lagen die Investitionen 2006 und 2007 jedoch mit 81 und 89 Mill. € um etwa 50 % bzw. 60 % niedriger als in den Jahren zuvor. So betrug der Wert für 2005 noch 151 Mill. €. (Tabelle 2.6). Auch die Investitionsquote, das Verhältnis von Investitionen zu Umsatz, ging im Vergleich zu 2005 in den Folgejahren ebenfalls deutlich zurück. Dieses veränderte Investitionsverhalten ist in unmittelbarem Zusammenhang mit der durch die Reform der Zuckermarktordnung von 2006 ausgelösten erheblichen Restrukturierung der europäischen Zuckerindustrie zu sehen. 2008 stiegen die Investitionen zwar erneut auf 103 Mill. €, die Investitionsquote lag mit knapp 4 % wieder über den Werten der beiden Vorjahre. Nach Abschluss der Investitionen im Zuge Restrukturierungen gingen die Investitionen deutlich zurück. 2011 wurden knapp 71 Mill. € investiert und damit eine Investitionsquote von nur 2,4 % realisiert.

Tabelle 2.6
Investitionen in der Zuckerindustrie
1995 bis 2011

	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Investitionen, (in Mill. €)	231	160	151	81	89	103	57	56	71
Investitionsquote	6,3	5,0	4,6	2,6	3,4	3,9	2,1	2,3	2,4

Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.2.1. - Investitionsquote: Investitionen/Umsatz. Angaben für 2010 waren bei Fertigstellung des Berichts nicht erhältlich.

Ein Schwerpunkt der Investitionsmaßnahmen lag weiterhin in der Verbesserung und Überarbeitung energierelevanter Anlagen und Verfahrensdetails. Die Zuckerindustrie nennt in ihrem Fortschrittsbericht Beispiele für 2011 und 2012 umgesetzte Projekte, durch die Energie eingespart und CO₂-Emissionen reduziert werden konnten. Hierzu zählen u.a. Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz durch die Optimierung oder den Ersatz von Anlagen sowie die Substitution von Energieträgern. Die im Bericht aufgeführten 17 technischen Einzelmaßnahmen belegen Investitionen in Höhe von 45,1 Mill. €. Diese führten zu einer Minderung des CO₂-Ausstoßes um jährlich 60 941 t. Die Maßnahmen mit den größten Minderungswirkungen sind in Übersicht 2.2 zusammengestellt.

Übersicht 2.2

Ausgewählte CO₂-Minderungsmaßnahmen der Unternehmen in der Zuckerindustrie 2011 und 2012

Einzelmaßnahmen in der Zuckerindustrie	Investitionen in 1 000 €	CO ₂ - Minderung in 1 000 t
– Austausch eines Extraktionsturmes	3 000	1,7
– Neubau eines Niedertemperaturtrockners und einer Kondensation	10 000	8,0
– Brennstoffwechsel	11 800	21,0
– Modernisierung Zuckerhaus	1 500	2,0
– Erweiterung einer Schnitzelpressenstation	1 700	2,4
– Aufstellung eines zweiten Verdampfungstrockners	13 500	19,6
– Umbau von Erneuerungen der Heizregister eines Niedertemperaturtrockners	3 000	2,5

Nach Angaben des VdZ (2013).

2.8 Zusammenfassung und Bewertung

Der Zuckerindustrie ist es 2011 und 2012 erneut gelungen, mit spezifischen CO₂-Emissionen von 72,0 und 69,7 kg/t einen Wert deutlich unterhalb der unteren Grenze des vorgegebenen Zielkorridors zu realisieren (Schaubild 2.3). Zudem blieben die spezifischen CO₂-Emissionen seit 2002, mit Ausnahme der Jahre 2003 und 2006, in der vom VdZ bei der Fortschreibung der Selbstverpflichtung für 2012 avisierten Bandbreite von 79 bis 85 kg/t.

Die Formulierung des Emissionszieles in Form einer Bandbreite für die spezifischen CO₂-Emissionen berücksichtigt die von der Zuckerindustrie nicht beeinflussbare Verfügbarkeit von Erdgas bei dem überwiegenden Bezug über sogenannte Abschaltverträge. Die Bandbreite ermöglicht darüber hinaus bei unterschiedlichen Energiepreiskonstellationen den jeweils günstigeren Brennstoff einzusetzen (VdZ 2004: 2). Hinzu kommt noch, dass der Anteil der mehr oder weniger kohlenstoffhaltigen Energieträger an der Gesamtrübenverarbeitung nicht nur von den Preisverhältnissen der Energieträger beeinflusst wird, sondern auch von der Verteilung des Rübenenertragsniveaus in den Regionen, die sich von Jahr zu Jahr ändert. Dadurch ist der Anteil der einzelnen Energieträger an der Rübenverarbeitung nicht konstant.

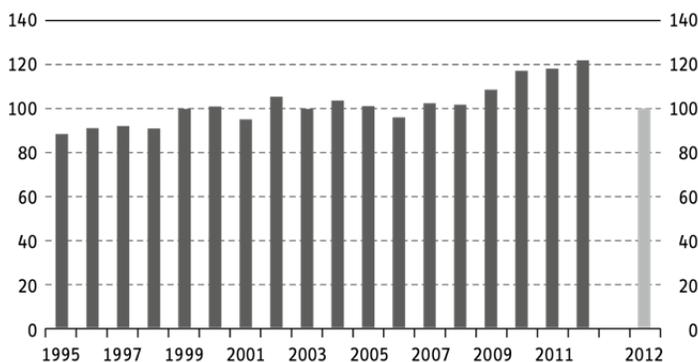
CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Eine Vorgabe für den spezifischen Energieverbrauch über das Ziel 2005 hinaus bis 2012 wurde nicht mehr gemacht. Der spezifische Verbrauch pendelt seit 2004 um die Zielvorgabe des Jahres 2005 von 29 kWh/dt. 2011 und 2012 lag der Wert mit 26,8 bzw. 26,5 kWh/dt aufgrund der in diesen Jahren günstigen Witterungsbedingungen und hohen Rübenverarbeitung bis zu 9 % unter diesem Wert.

Schaubild 2.3

Zielerreichungsgrade der Zuckerindustrie für das Minderungsziel 2012

1995 bis 2012; Senkung der spezifischen CO₂-Emissionen auf den oberen Wert der Bandbreite von 79 bis 85 kg/t Rüben; in %



Eigene Berechnungen.

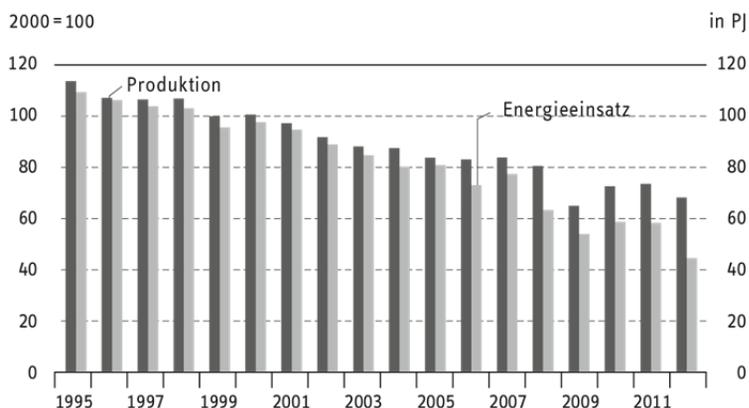
Eine weitere deutliche Senkung des spezifischen Energieverbrauchs ist nach Darstellung des VdZ indessen kaum mehr möglich. Der Konzentrationsprozess der Produktion auf wenige und moderne Standorte mit relativ niedrigem spezifischem Energieverbrauch ist nahezu abgeschlossen. Von den weiterhin stattfindenden Anlagenverbesserungen können nur noch geringe Einsparungen erwartet werden. Die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs stellt sich, so der Verband, aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten als asymptotisch verlaufender Trend dar, der sich allmählich dem gegenwärtigen Stand der Technik annähert (VdZ 2009: 5f; VdZ 2013: 8). Zwar erwartet der VdZ (2004: 14-15) auch von weiteren Qualitätsverbesserungen der Rüben noch positive Auswirkungen auf den spezifischen Energieeinsatz; andere Entwicklungen 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. Weitere Verbesse-

rungen der Energieeffizienz könnten nach Ansicht des Verbandes nur dazu beitragen, den emissionserhöhenden Effekt der technisch-wirtschaftlichen Entwicklungen in Richtung einer verstärkten Dicksaftleinlagerung und Weiterverarbeitung zu kompensieren (VdZ 2013: 7).

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 in einem tiefgreifenden 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 (RWI und WSF 2009: 34-38). Die Zahl der Betriebe und Beschäftigten ist ebenso rückläufig wie die Produktion. Letztere sank nach Angaben des Gesamtverbandes der deutschen Textil- und Modeindustrie zwischen 1990 und 1995 um insgesamt rund 26 %, jahresdurchschnittlich um rund 6,6 %. Seither hat sich der Rückgang der Produktion verlangsamt: zwischen 1995 und 2012 auf jahresdurchschnittlich etwa 3,0 % (Schaubild 3.1).

Schaubild 3.1
Produktion und Energieverbrauch der Textilindustrie
1995 bis 2012



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes und des Gesamtverbandes textil+mode im Rahmen des Monitoring.

3.1 Datenbasis

Die wesentliche Datengrundlage für die im Rahmen des vorliegenden Monitoringberichtes erfolgende Berechnung der CO₂-Emissionen bildete im Falle der Textilindustrie die Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes (StaBuA/FS4/R4.1.1). Entnommen wurden daraus die detaillierten Informationen über den Energieverbrauch dieses Sektors für die Jahre 1995 bis 2002. Ab 2003 wurden für den Energieeinsatz die Ergebnisse der neuen Erhebung des Statistischen Bundesamtes

über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes herangezogen. Diese Angaben werden als eigenständige Daten außerhalb der Fachserien publiziert. Die Größenordnung des im Allgemeinen mit einer neuen Datenerhebung verbundenen Bruchs der Zeitreihe ist nicht abzuschätzen. Nach Aussage des Statistischen Bundesamtes gelten die aktuellen Ergebnisse jedoch als genauer. Für das Berichtsjahr 2012 lagen noch keine Energieverwendungsdaten vom Statistischen Bundesamt vor. Bis 2008 wurden die jeweils erforderlichen Angaben zum Energieverbrauch vom Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie (Gesamtverband textil+mode) bei den Mitgliedsunternehmen erhoben. Da sich an der Erhebung lediglich rund 10 % der Betriebe dieser Branche beteiligt hatten, wird der aktuelle Energieverbrauch seitdem auf Basis von Trendfortschreibungen für den Verbrauch der eingesetzten Energieträger ermittelt.

Die nachträgliche Überprüfung der Angaben zum Energieverbrauch für 2010 anhand der amtlichen Daten ergab, dass der mit Hilfe der Trendfortschreibung geschätzte Verbrauch von fossilen Brennstoffen rund 12 % unter dem tatsächlichen Verbrauch lag. Hier wurde der Verbrauch von Heizöl und Steinkohlen deutlich überschätzt. Der tatsächliche Verbrauch von Erdgas lag etwa 2,5 % niedriger. Der Fremdstromeinsatz fiel tatsächlich 25 % höher aus. Durch die Übernahme der amtlichen Daten für 2010 fielen sowohl die absoluten CO₂-Emissionen als auch der spezifische Energieverbrauch und die spezifischen Emissionen entsprechend höher aus. Die Tabellen und Schaubilder dieses Berichts geben die korrigierten Daten für 2010 wieder.

Die hier benutzte Bezeichnung „Textilindustrie“ steht für den in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes aufgeführten Wirtschaftszweig Nr. 13, Textilien (StaBuA 2007a). 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 CO₂ (Buttermann, Hillebrand 2002: 165).

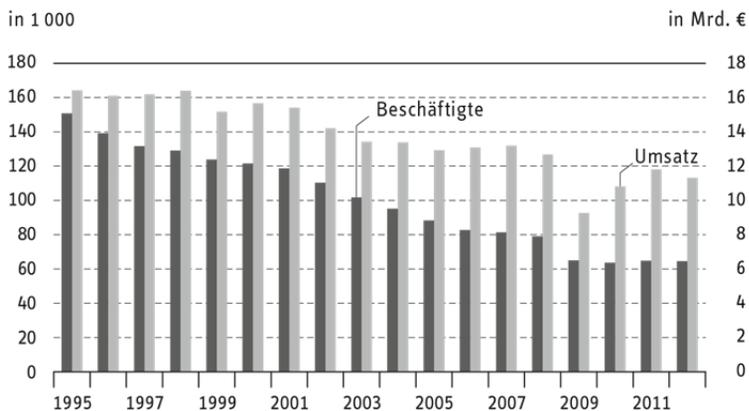
Aufgrund der Vielzahl der Produkte sowie deren Heterogenität kann im Unterschied zu anderen Industriebereichen die Beschreibung der Entwicklung des Outputs der Textilindustrie nicht mit Hilfe von Mengenangaben erfolgen. Deshalb wird hier auf einen Produktionsindex zurückgegriffen, der vom Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie ermittelt wird. Dieser stellt in seinem Fortschrittsbericht auch die Informationen zu den 2011 und 2012 umgesetzten Maßnahmen zur CO₂-Minderung zur Verfügung (Gesamtverband textil+mode 2013).

3.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Einhergehend mit dem anhaltenden Produktionsrückgang sank der Energieverbrauch der Textilindustrie: Von 1990 bis 2012 reduzierte sich dieser von 89,4 PJ auf 25,7 PJ, also um 71,2 %. Während der Energieverbrauch 2011 fast unverändert blieb (-0,7 %), ging er 2012 um 23,7 % zurück. Die offensichtliche hohe Korrelation zwischen Produktion und Energieverbrauch spiegelt sich in einem Korrelationskoeffizienten von fast 98 wider. Es ist somit zu erwarten, dass der Energieverbrauch – und damit auch die CO₂-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 2011 bei knapp 1,0 %. Zieht man das Verhältnis von Energieeinsatz und Umsatz als Indikator für Energieintensität heran, so ist die Textilindustrie mit 2,9 bzw. 2,3 MJ/€ in den Jahren 2011 und 2012 auch nicht zu den energieintensivsten Sektoren zu zählen. Dennoch wird die Textilindustrie vor allem aufgrund der für die Herstellung von Textilien notwendigen Reinigungsvorgänge und des Veredelungsprozesses eher zu den energieintensiven Industriezweigen gezählt (VIK 1998: 44).

Schaubild 3.2
Beschäftigung und Umsatz der Textilindustrie
1995 bis 2012; Betriebe mit 20 und mehr Beschäftigten



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes.

Der jährliche Umsatz der Textilindustrie schwankte zwischen 1995 und 1998 um etwa 16 Mrd. € (Schaubild 3.2). Nachdem der Umsatz 2009 im Zuge der Wirtschafts-

krise auf 9,3 Mrd. € zurückging, erholte er sich bis 2011 auf 11,8 Mrd. €, 2012 lag er bei 11,3 Mrd. €. Im gleichen Jahr zählte die deutsche Textilindustrie 722 Betriebe mit fast 64 500 Beschäftigten. Seit 1995 hat sich damit die Zahl der Arbeitskräfte um mehr als die Hälfte reduziert (Schaubild 3.2).

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 nach Schätzungen des Verbandes mittlerweile bereits 50 %.

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 Chemie- und Naturfasern. Unter Naturfasern werden Pflanzenfasern wie Baumwolle, Flachs oder Jute subsumiert sowie Tierfasern, die zur Herstellung von Wolle, Seide oder Kaschmir gebraucht werden. Chemiefasern 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 Chemiefasern wie etwa Polyester bilden. Im Jahr 2005 machten Chemiefasern 88 % des Rohstoffverbrauchs der deutschen Textilindustrie aus, Baumwolle rund 8 % (Gesamtverband textil+mode 2006: 20).

Die Wertschöpfungskette der Textilindustrie, die sogenannte „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 Chemiefasern – deren Herstellung deutlich mehr Energie verbraucht als die von Naturfasern² – an der eingesetzten Menge an Fasern nicht erhöhend auf den Energieverbrauch aus.

² Im Vergleich zum Anbau von Baumwolle erfordert die Herstellung von Chemiefasern einen mehr als dreifachen Energieaufwand. Für Polyester wird der Energieaufwand auf etwa 140 GJ/t

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.

Sowohl die erzeugten Garne als auch die Flächengebilde werden gebleicht, gewaschen, gefärbt, bedruckt und veredelt. Bei Naturtextilien wird oftmals auf den Prozess des Bleichens verzichtet. 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 Veredelungsprozess vorzubereiten.

Während der Anteil der Energiekosten, der sich 2007 auf 3,0 % des Bruttoproduktionswertes der Textilindustrie belief (BMWi 2010), 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. 2000: 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

Faser geschätzt, was einem Rohöläquivalent von 3,35 t entspricht. Die weltweite Polyesterproduktion benötigt rund 2 % der jährlichen Rohölförderung (Meyer 2001: 89).

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 bislang gültigen Selbstverpflichtungserklärung des Gesamtverbandes der deutschen Textil- und Modeindustrie (kurz: Gesamtverband textil+mode) hat sich dieser verpflichtet, die spezifischen Emissionen der sechs Kioto-Gase in der gesamtdeutschen Textilindustrie bis 2012 um 35 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 zu senken. Zu den sechs sogenannten Kioto-Gasen zählen neben CO₂ das klimapotente Lachgas (Distickstoffoxid, N₂O) sowie Methangas (CH₄).

Übersicht 3.1

Selbstverpflichtung der Textilindustrie

Ziel 2012	Verringerung der absoluten CO ₂ -Emissionen um 3,4 Mill. t CO ₂ auf 2,4 Mill. t CO ₂ . Entspricht einer Minderung um gut 59 % gegenüber 1990.
Basisjahr	1990

Angaben aus Gesamtverband textil+mode (2008).

Im April 2008 hat der Gesamtverband textil+mode seine Selbstverpflichtung überarbeitet. Die nunmehr gültige Erklärung postuliert ein absolutes Minderungsziel: Bis 2012 sollen die absoluten CO₂-Emissionen auf 2,4 Mill. t verringert werden. Im Vergleich zum Basisjahr 1990, in dem 5,8 Mill. t CO₂ emittiert wurden, entspricht dies einer Reduzierung um 3,4 Mill. t oder gut 59 % (Übersicht 3.1). Die übrigen Kioto-Gase sind für die Textilindustrie nicht relevant.

3.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Bei den spezifischen CO₂-Emissionen der Textilindustrie zeigt sich seit 1990 ein eindeutig rückläufiger Trend. Insgesamt konnten sie bis 2011 um fast 25 % verringert werden (Tabelle 3.1); bis 2012 betrug die Minderung sogar rund 39 %.

Tabelle 3.1
Index der spezifischen CO₂-Emissionen für die Textilindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spezifische Emissionen (1990=100)	100,0	94,7	93,5	92,6	77,1	75,3	61,5
Minderung (n %)	-	5,3	6,5	7,4	22,9	24,7	38,5

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

Der spezifische Energieverbrauch verringerte sich seit 1990 etwas langsamer als die spezifischen Emissionen. Bis 2011 lag die Minderung des spezifischen Verbrauchs bei fast 22 % und nahm bis 2012 auf rund 36 % zu (Tabelle 3.2). Insbesondere seit 2004 hat damit eine deutliche Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs stattgefunden (RWI 2008: 54). Zugleich sank der absolute Verbrauch von 1990 bis 2011 um fast zwei Drittel auf 33,7 PJ; 2012 lag er mit 25,7 PJ um 71,2 % unter dem Wert von 1990. Die absoluten CO₂-Emissionen verzeichneten bis 2012 einen noch etwas höheren Rückgang. Sie sanken bis 2011 um 63,7 % von 5,8 auf 2,1 Mill. t; bis 2012 gingen sie um weitere 24,3 % auf rund 1,6 Mill. t CO₂ zurück. In den beiden Berichtsjahren 2011 und 2012 wurde damit das Ziel zum wiederholten Male übertroffen, die Emissionen um 59 % auf 2,4 Mill. t CO₂ zu senken.

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 unbekannt Menge an Energie benötigt hat, ist die Verringerung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen gegenüber 1990 in Wirklichkeit als bedeutend größer einzuschätzen.

Tabelle 3.2
Entwicklung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen der Textilindustrie
 1990 bis 2012; Ziel: Minderung der absoluten Emissionen um 59 % bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Energieverbrauch (in PJ)	89,4	63,5	56,6	46,9	33,9	33,7	25,7
Minderung (in %)	-	29,0	36,7	47,6	62,0	62,3	71,2
Spezifischer Ver- brauch (1990=100)	100,0	95,1	96,0	95,5	79,8	78,2	64,4
Minderung (in %)	-	4,9	4,4	4,5	20,2	21,8	35,6
Emissionen (in Mill. t)	5,80	4,10	3,58	2,95	2,13	2,10	1,59
Minderung (in %)	-	29,3	38,3	49,2	63,3	63,7	72,5
Zielerreichungsgrad (in %)	-	49,7	64,9	83,3	107,4	108,0	122,9

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

3.6 Ursachenanalyse

Offenkundige Ursache für den starken Rückgang des absoluten Energieverbrauchs sowie der CO₂-Emissionen ist der seit 1990 andauernde Rückgang der Textilproduktion in Deutschland um rund 55 %. Veränderungen des spezifischen Energieverbrauchs traten insbesondere durch Verschiebungen im Produktportfolio der Textilindustrie auf. Technische Textilien, deren Herstellung überdurchschnittlich energieintensiv ist, gewinnen laut Fortschrittsbericht der Textilindustrie immer mehr an Bedeutung (Gesamtverband textil+mode 2008). Die Textilindustrie ist daher bestrebt, diesen Effekt durch Maßnahmen zur Energieeinsparung zu kompensieren.

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. 2012 wurden sie mit Ausnahme von schwerem Heizöl nicht mehr eingesetzt. Auch der Einsatz von Steinkohlen und Steinkohlenprodukten ist stark zurückgegangen.

Tabelle 3.3
Energiemix in der Textilindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohlen	0,0	2,6	1,4	0,9	0,5	0,3	0,1
Steinkohlenbriketts	3,4	-	-	-	-	-	-
Steinkohlenkoks	0,1	0,1	0,0	-	-	-	-
Rohbraunkohlen	0,3	0,5	0,0	-	-	-	-
Braunkohlenbrikett	0,8	0,3	0,0	-	-	-	-
Schweres Heizöl	8,0	2,1	0,9	0,5	0,4	0,3	0,4
Leichtes Heizöl	4,8	4,6	2,7	1,6	0,8	0,7	0,7
Erdgas	25,0	18,7	16,2	13,6	10,1	9,8	9,2
Kokereigas	1,9	0,3	0,3	-	-	-	-
Primärbrennstoffe*	44,2	29,2	21,6	16,6	11,8	11,1	10,4
Nettofremdstrombezug	45,2	34,3	35,1	30,2	22,1	22,6	15,3
Energieverbrauch	89,4	63,5	56,6	46,9	33,9	33,7	25,7

*Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1, und Gesamtverband textil+mode. - * Enthält weitere, hier nicht getrennt ausgewiesene Mineralölprodukte wie z.B. Flüssiggas.*

Der Einsatz von Erdgas und Elektrizität ist bis 2012 um 60,9 % bzw. 63,3 % zurückgegangen. Der Fremdstromeinsatz sank allein 2012 um gut 32 %. Die Veränderungen im Energiemix haben dazu geführt, dass der Anteil von Nettofremdstrom von 50,5 % im Jahr 1990 auf 67,1 % im Jahr 2011 stieg; 2012 lag sein Anteil bei 59,5 %. Der Anteil von Erdgas stieg von 28 auf 29,0 bzw. 35,7 %. Die Substitutionen der Energieträger trugen dazu bei, dass der Rückgang der absoluten CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2012 etwas höher ausfiel als der des Energieverbrauches. Denn: Erdgas und Strom weisen mit 55,7 kg CO₂/GJ bzw. 68,8 kg CO₂/GJ geringere CO₂-Emissionsfaktoren auf als Braunkohle, Steinkohlenkoks oder schweres Heizöl, deren Emissionsfaktoren mit 99,7, 108,2 respektive 78,6 kg CO₂/GJ weit aus höher liegen.

3.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Ausgangspunkt für viele der 2011 und 2012 laut Fortschrittsbericht der Textilindustrie durchgeführten Maßnahmen zur Energieeinsparung dürften wie bisher

Vorschläge des von Kruska et al. (2001) erstellten Leitfadens „Rationelle Energienutzung in der Textilindustrie“ gewesen sein. 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 Textilindustrie³ im 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 zum Aufheizen von Prozesswasser, für den Einsatz in dampfbeheizten Maschinen sowie für 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 unter anderem dem Entfernen von Schmutz und Faserrückständen. 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 neuen 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

³ Der Arbeitsgemeinschaft Textilindustrie gehören die Institute für Textiltechnik und für Technische Thermodynamik der RWTH-Aachen, die Unternehmensberatungen Eutech GbR und Infas Energetic AG sowie mehrere Industrieverbände und Unternehmen der Textilindustrie an. Die Arbeitsgemeinschaft wurde im Jahre 1998 ins Leben gerufen (Meyer et al. 2000a).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

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.

Eine Umfrage des Verbandes im Jahre 2013 ergab für 2011 und 2012 eine Vielzahl von Maßnahmen mit unterschiedlich starken Auswirkungen auf den Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen. Das Spektrum erstreckte sich von der Optimierung von Produktionsanlagen über Wärmerückgewinnung bis hin zu kleineren, schnell umsetzbaren und kostengünstigen Maßnahmen (Gesamtverband textil+mode 2013).

Übersicht 3.2

Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Reduktion aus Betrieben der Textilindustrie 2011 und 2012; gerundete Werte

Maßnahmen	Energieeinsparungen pro Jahr	CO ₂ -Einsparung pro Jahr ¹
Wärmerückgewinnung aus Abluft	5 000 MWh/a Erdgas	280 t
Prozessoptimierung	3 346 MWh/a Erdgas und Strom	230 t
Effizientere Beleuchtung	132 MWh/a Strom	88 t
Effizientere Klimatisierung	1 100 MWh/a Strom	737 t
Einführung frequenzgesteuerter Nähautomaten mit Servomotoren	1 200 MWh/a Strom	804 t
Technische Optimierung Textilveredlung	6 370 MWh/a Erdgas und Strom	590 t

Gesamtverband textil+mode (2013). – 1) Die Einsparungen wurden mit Hilfe der im Monitoring verwendeten CO₂-Faktoren berechnet.

Im Rahmen der Umfrage haben 49 Unternehmen gegenüber dem Gesamtverband Angaben zu insgesamt 173 Einsparungsmaßnahmen gemacht, für 135 Maßnahmen erfolgte die Angabe der Investitionen. Die Höhe der ausgewiesenen Investitionen beträgt insgesamt rund 9,4 Mill. €. Der Umfang der Einsparungen war nicht immer nachvollziehbar, da teilweise nur relative Einsparungen ausgewiesen wurden. Eine Auswahl von Maßnahmen gibt Übersicht 3.2 wieder. Insgesamt wurden allein mit diesen Maßnahmen jährliche CO₂-Einsparungen von 2 729 Tonnen erreicht.

Zwar kommt es auch durch Neuanschaffungen und Austausch von einzelnen Anlagenteilen aufgrund moderner, energieeffizienterer Konstruktionen zu Einsparungen beim Verbrauch. Deutlich mehr ließe sich erreichen, wenn statt der Optimierung einzelner Bausteine die Gesamtkonzeption von Produktionsanlagen unter energetischen Gesichtspunkten optimiert würde. Hierfür 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 Einsparpotenziale zu identifizieren (Gesamtverband textil+mode 2007: 4).

Tabelle 3.4
Investitionen der Textilindustrie
1995 bis 2011

	1995	2000	2005	2010	2011
Investitionen, (in Mill. €)	672	628	392	244	361
Investitionsquote, (in %) (Investitionen/Umsatz)	4,1	4,0	3,0	2,3	3,1
Investitionsintensität (Investitionen in € je Beschäftigtem)	4 461	5 167	4 440	3 832	5 571

Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.2.1. Angaben für 2012 waren bei Fertigstellung des Berichts nicht erhältlich.

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 das eher zurückhaltende Investitionsverhalten sein: Die Investitionen nahmen von 1995 bis 2011 um rund 46 % auf 361 Mill. € ab. Mit dem Rückgang der Investitionen sank die Investitionsquote. Seit 2002 lag sie bei etwa 3 % im Vergleich zu gut 4 % bis zu Beginn dieses Jahrhunderts (RWI 2010: 62).

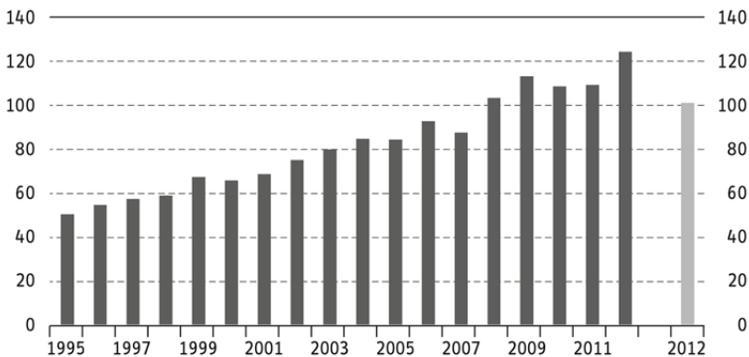
3.8 Zusammenfassung und Bewertung

Das 2008 neu formulierte Ziel einer absoluten Minderung um 3,4 Mill. t CO₂ bzw. 59 % gegenüber 1990 wurde bereits im selben Jahr übertroffen (Schaubild 3.3). Der

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Zielerreichungsgrad lag 2011 und 2012 bei rund 108 bzw. 123 %. Treibende Kraft ist hier der anhaltende Rückgang der Produktion von Textilerzeugnissen, verbunden mit einem entsprechend geringeren absoluten Energieverbrauch.

Schaubild 3.3
Zielerreichungsgrade für die Textilindustrie für 2012
1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Reduktionspotenzial durch Veränderungen im Energiemix besteht kaum noch. Der Spielraum zur Substitution kohlenstoffreicher Brennstoffe durch das kohlenstoffarme Erdgas ist bereits sehr begrenzt: Dieses hatte 2012 einen Anteil am Energieverbrauch von 35,7 %, der Anteil von Erdgas und Strom betrug zusammen bereits rund 95,1 %. Zur Substitution kohlenstoffreicher Brennstoffe durch Erdgas verbleiben allein Steinkohle, Heizöl und Flüssiggas, deren Anteile 2012 zusammen aber weniger als 5 % betragen. Der vollständige Ersatz dieser fossilen Brennstoffe durch Erdgas würde nach unseren Berechnungen bei unverändertem Energieverbrauch zu Einsparungen von lediglich rund 70 000 t CO₂ bzw. 0,5 % führen.

Ein erhebliches Minderungspotenzial liegt in einer grundlegenden Umstellung der Energieversorgung und Erneuerung der KWK-Anlagen. Die aktuelle Wirtschaftskrise sowie anhaltend hohe Energiepreise führen in dieser unter starkem, globalem Wettbewerbsdruck stehenden Branche jedoch zu einer derart hohen Belastung, dass das Kapital für entsprechend hohe Investitionen fehlt (Gesamtverband textil+mode 2007).

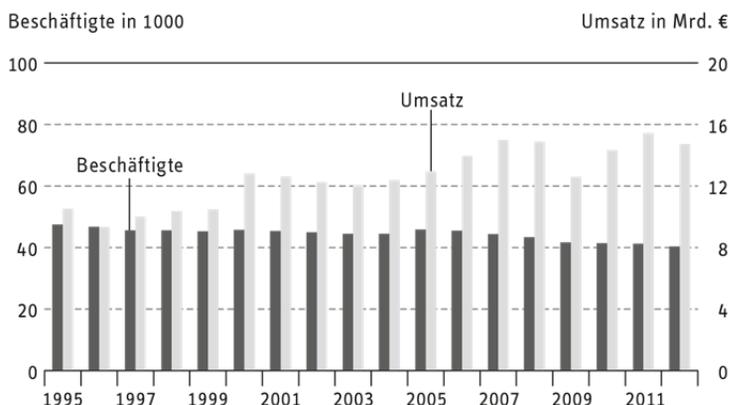
Der zu erwartende weitere Anstieg des Anteils der Technischen Textilien an der Produktion sowie generell kleinere Produktionsgrößen, die einen überdurchschnittlichen Energieeinsatz erfordern, erschweren ebenfalls die weitere Minderung des

Energieverbrauchs und der Emissionen. Zu beachten ist aber, dass die Verringerung beider Größen gegenüber 1990 in Wirklichkeit bedeutend größer war, denn der Energieverbrauch und die Emissionen der Textilunternehmen der neuen Bundesländer sind nicht in den Werten für das Basisjahr 1990 enthalten.

4. Die Zellstoff- und Papierindustrie

Die deutsche Zellstoff- und Papierindustrie produziert neben einer Reihe unterschiedlicher Papiersorten auch einen Teil der für die Papierherstellung benötigten Ausgangsstoffe (Zell- und Holzstoff) und bereitet zudem Altpapier als Rohstoff in der Papierproduktion auf. Im Jahr 2012 beschäftigte die Branche 40 400 Personen und setzte annähernd 14,7 Mrd. € um, was einem Umsatzrückgang von rund 5 % gegenüber dem Vorjahr entspricht (Schaubild 4.1).

Schaubild 4.1
Umsatz und Beschäftigte in der Zellstoff- und Papierindustrie
1995 bis 2012



Nach Angaben des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V.

Die deutsche Papierindustrie steht in einem regen internationalen Wettbewerb: Fast 60 % des Absatzes deutscher Papierfabriken gehen in den Export (VDP 2013d: 75). Gemessen an der Papierproduktion ist die deutsche Papierindustrie der europaweit größte Erzeuger und war 2012 nach China, den USA und Japan der weltweit viertgrößte Papiererzeuger.

Mehr als 70 % der in der Papierproduktion eingesetzten Faserstoffe werden aus dem Einsatz von Altpapier gewonnen (VDP 2013), welches vorwiegend aus inländischen Aufkommen stammt. Die darüber hinaus für die Papierherstellung benötigten Faserstoffe werden zum großen Teil importiert. Nach Angaben des VDP betragen 2012 die Nettoimporte an Zellstoff mit 3,53 Mill. t rund 76 % des Zellstoffverbrauchs; die Nettoimporte an Holzstoff betragen etwa 144 000 t, was rund 12 % des Holzstoffeinsatzes in der Papierindustrie entspricht (VDP 2013d: 59-61).

4.1 Datenbasis

Unter der verwendeten Bezeichnung „Zellstoff- und Papierindustrie“ werden die Industrieunternehmen der Papierproduktion einschließlich der Erzeugung von Zell-, Holz- und anderer Faserstoffe zusammengefasst. Das Statistische Bundesamt führt die Papierindustrie in der Wirtschaftszweigklassifikation WZ2008 unter der Position 17.1: „Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe“. Die Herstellung von Waren aus Papier ist indessen nicht Gegenstand des Monitorings.

Die Datenbasis für die im Rahmen des vorliegenden Monitoringberichts erfolgende Berechnung der CO₂-Emissionen umfasst zum einen Angaben zur produzierten Menge an Papier, Karton und Pappe, zum anderen zum Energieverbrauch der Branche. Die Gesamtproduktion der deutschen Papierindustrie wird durch den Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP) bereitgestellt. Grundlage für den Energieverbrauch bildete bis 2002 die Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes (StaBuA/FS4/R4.1.1).

Für das Basisjahr 1990 sind in der amtlichen Statistik lediglich Energiedaten für die alten Bundesländer verfügbar. 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 2009b: 1).

Seit 2003 wird für die Energieverbrauchsdaten auf eine Verbandserhebung zurückgegriffen, die der VDP unter seinen Mitgliedsfirmen durchführt. Die Gründe dafür sind methodische und konzeptionelle Umstellungen in der Energieverwendungsstatistik des Statistischen Bundesamtes mit einer in der Folge eingeschränkten Vergleichbarkeit der Daten über die Zeit. Daneben sind nach Angaben des VDP in der vom Statistischen Bundesamt verwendeten Branchenabgrenzung auch Unternehmen enthalten, die nicht der Papier- oder Faserstoffherzeugung zuzurechnen sind, Mitgliedsunternehmen des VDP wurden hingegen nicht berücksichtigt.

Die an der Verbandserhebung beteiligten Unternehmen stellen Angaben zum Energieverbrauch und zur Energieträgerstruktur bereit und bilden je nach Erhebungsjahr unterschiedliche Anteile an der Gesamtpapierproduktion ab. Für die Berichtsjahre 2011 und 2012 spiegeln die erhobenen Daten den Energieverbrauch von rund 89 bzw. 88 % der gesamten deutschen Papierproduktion wider. Da die Papierindustrie ein spezifisches Emissionsminderungsziel je erzeugter Einheit Papier formuliert hat, erfolgt die Begutachtung der Zielerfüllung unter Rückgriff auf die Werte der Verbandsstichprobe. Um indessen Vergleichbarkeit mit den industrieweiten Angaben zu Umsatz und Beschäftigung zu wahren, werden die für die Zielüberprüfung nicht relevanten deskriptiven Statistiken zu Energieverbrauch und CO₂-Emissionen anhand des reziproken Produktionsanteils auf die gesamte Zell-

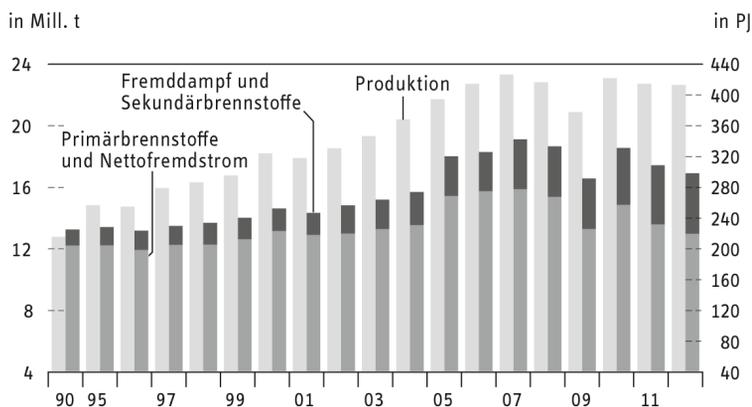
stoff- und Papierindustrie hochgerechnet. Für das gewählte Vorgehen weist der VDP einschränkend darauf hin, dass in der Verbandserhebung große Branchenunternehmen, die sich in der Struktur der verwendeten Energieträger von kleineren Unternehmen unterscheiden überrepräsentiert sind. Bei diesen werden Strom und Wärme tendenziell stärker durch die Verwendung von Braun- und Steinkohle erzeugt, während kleinere Unternehmen dazu vorwiegend Erdgas nutzen. Leider liegen keine gesicherten Daten bzgl. der Größenordnung dieses Effekts vor. In der Folge kommt es zu einer Unterschätzung des Erdgasverbrauchs, zu einer Überschätzung des Kohleverbrauchs und in letzter Konsequenz zu einer Überschätzung der auf die Produktionsmenge bezogenen spezifischen CO₂-Emissionen der Branche. Die sich daraus errechnende Zielerfüllung des Emissionsminderungsziels kann daher als untere Grenze verstanden werden.

Ergänzend zum Einsatz der für das Monitoring relevanten fossilen Energieträger und des Stromverbrauchs stellt der VDP Daten zum Fremddampfbezug und zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen zur Verfügung. Sekundärbrennstoffe, beispielsweise Zellstoffablauge oder Holzhinde, werden als CO₂-neutral angesehen und bleiben – genau wie der Fremdbezug von Prozessdampf – bei der Berechnung des CO₂-Ausstoßes der Papierindustrie unberücksichtigt. Zur Bewertung des mit dem Einsatz von Fremddampf verbundenen CO₂-Ausstoßes wären detaillierte Angaben über den Energieträgermix der den Dampf erzeugenden Anlagen erforderlich. Derartige Angaben werden im Rahmen des Monitorings aber nicht erhoben. Überdies bereitet die Bewertung des Dampfes in Form von Energie- bzw. CO₂-Äquivalenten Schwierigkeiten, wenn der Dampf beispielsweise in Anlagen zur Kraftwärmekopplung (KWK) erzeugt wird oder als Restwärme anfällt. Eine verursachungsgerechte Zuordnung des Brennstoffverbrauchs einer KWK-Anlage auf die Erzeugung von elektrischer Energie und als Fremddampf abgegebener thermischer Energie ist nur schwer möglich.

4.2 Energieverbrauch und Produktion

Der auf die deutsche Papierindustrie hochgerechnete Energieverbrauch betrug 2012 insgesamt etwa 297 PJ, in denen fast 26 PJ Fremddampf und gut 53 PJ aus Sekundärbrennstoffen enthalten sind. Unter Abzug dieser beiden Energieträger ergibt sich für das Monitoring ein emissionsrelevanter Verbrauch an Primärenergie und Nettofremdstrom von hochgerechnet etwa 218 PJ im Jahr 2012; 2011 waren es noch 231 PJ. Im Vergleich zu 2010 sank der gesamte Energieverbrauch – einschließlich Dampf und Sekundärbrennstoffen – 2011 um rund 6,8 % und 2012 um weitere 3,4 %. Im Vergleich zu 1990 ist bis 2012 ein Anstieg des gesamten Energieverbrauchs um rund 33 % zu beobachten (Schaubild 4.2), während die Produktion im gleichen Zeitraum mit 77 % deutlich stärker stieg.

Schaubild 4.2
Produktion und Energieeinsatz in der Papierindustrie
 1990 bis 2012



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und des Verbandes Deutscher Papierfabriken e.V. im Rahmen des Monitoring.

Erdgas und Fremdstrom sind die bedeutendsten Energieträger in der Zellstoff- und Papierindustrie und waren 2012 für nahezu 67 % des gesamten Energieverbrauchs der Branche verantwortlich (Tabelle 4.1). Dabei dürfte der Erdgasverbrauch zugunsten von Kohle sogar noch unterschätzt sein, da in der Stichprobe der VDP-Erhebung kleinere, vorwiegend Erdgas nutzende Unternehmen der Papierindustrie unterrepräsentiert sind.

Sekundärbrennstoffe und Fremddampf haben im Zeitverlauf zunehmend an Bedeutung gewonnen. Im Jahr 1990 wurden etwa 7,2 PJ Fremddampf und 13,8 PJ Sekundärbrennstoffe verbraucht, was in Summe rund 9 % des gesamten Energieverbrauchs ausmachte. Bis 2012 wuchs die Menge an fremdbezogenem Dampf auf 25,8 PJ und die Menge verbrauchter Sekundärbrennstoffe stieg auf 52,7 PJ. Somit hat sich der Einsatz von Sekundärbrennstoffen und Fremddampf zwischen 1990 und 2012 mehr als verdreifacht, während der Energieverbrauch der Papierindustrie insgesamt um nur rund 33 % gestiegen ist. In der Folge entfielen im Jahr 2012 mehr als 26 % des gesamten Energieverbrauchs der Papierindustrie auf Fremddampf und Sekundärbrennstoffe.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 4.1
Energieträgermix in der Papierindustrie
1990 bis 2012; in PJ

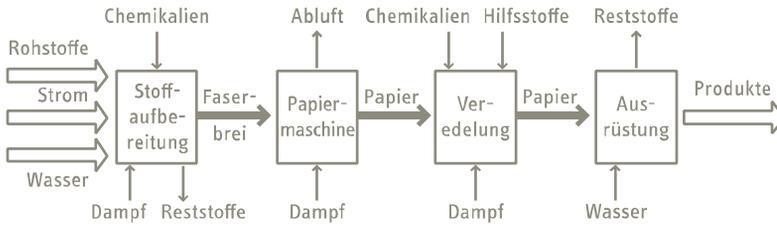
	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohle (-erzeugnisse)	26,2	28,9	20,6	15,6	20,6	18,6	12,7
Braunkohle (-erzeugnisse)	18,2	6,1	4,5	3,5	4,5	4,9	5,4
Mineralöl (-erzeugnisse)	26,7	16,8	4,6	3,5	1,3	1,0	1,1
Erdgas	51,1	69,8	79,6	104,8	102,4	88,9	88,4
sonstige Brenngase	0,3	-	-	0,1	0,5	0,2	0,1
Fremdstrom	80,6	81,9	112,7	140,0	126,6	117,0	110,6
emissionsrelevanter Energieverbrauch	203,0	203,4	222,1	267,4	255,9	230,6	218,3
+ Fremddampf	7,2	6,2	8,1	14,4	24,0	24,7	25,8
+ Sekundärbrennstoffe	13,8	17,6	21,0	37,2	49,6	51,8	52,7
gesamter Energieverbrauch	223,9	227,2	251,2	319,0	329,5	307,1	296,8

Fremdstrom ist primär mit 10.434 GJ/MWh bewertet. Bis 2003 amtliche Energieverbrauchsdaten (StaBuA/FS4/R4.1.1), ab 2003 hochgerechnete Werte aus VDP-Erhebung.

4.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Die von der Papierindustrie hergestellten Erzeugnisse lassen sich grob in vier Sorten kategorisieren: Grafische Papiere, zu denen Zeitungsdruck- und Pressepapiere zählen, Papier, Karton und Pappen für Verpackungszwecke, Hygienepapiere sowie Papier und Pappe für technische und spezielle Verwendungszwecke. Die Herstellung von Papiererzeugnissen lässt sich in vier Schritte unterteilen (Schaubild 4.3). Am Anfang steht die Gewinnung und Aufbereitung der für die Papierproduktion notwendigen Rohstoffe, die danach in der Papiermaschine zu Papierbahnen verarbeitet werden. Diese Bahnen werden getrocknet und oft durch Streichen und Glätten einer Veredelung unterzogen. Schließlich werden die getrockneten Papierbahnen aufgerollt und zu auslieferungsfähiger Rollen- oder Stapelware verarbeitet.

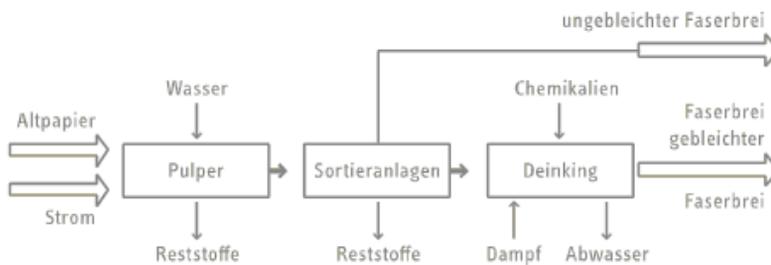
Schaubild 4.3
Schematische Darstellung der Papiererzeugung



Quelle: VIK (1998:30)

Der für die Papierproduktion mit Abstand wichtigste Rohstoff ist Altpapier: Für die Herstellung der rund 22,6 Mill. t Papiererzeugnisse wurden 2012 mehr als 16,2 Mill. t Altpapier eingesetzt, wodurch sich eine Altpapiereinsatzquote von rund 72 % (VDP 2013) ergibt. Daneben wurden noch etwa 4,6 Mill. t Zellstoff und 1,2 Mill. t Holzstoff sowie eine geringe Menge sonstiger Faserstoffe für die Papierproduktion aufgewendet.

Schaubild 4.4
Schematische Darstellung zur Gewinnung von Sekundärfaserstoffen aus Altpapier



Quelle: VIK (1998:31)

Altpapier wird mit Hilfe von Wasser zunächst in eine pumpfähige Suspension überführt, um daraus Sekundärfaserstoffe zu erzeugen (Schaubild 4.4). Der gewonnene Faserbrei durchläuft verschiedene Sortier- und Reinigungsstufen, bei denen je nach Verwendungszweck die Entfernung von Druckfarben (und unbrauchbaren

Fasern) notwendig ist (englisch: deinking). Die verdünnte Faserflüssigkeit wird in einer letzten Aufbereitungsstufe vor dem Einsatz in der Papiermaschine eingedickt.

Holzstoff wird vorwiegend im Holzstoffverfahren erzeugt, bei dem qualitativ hochwertiges, entrindetes Holz unter Zugabe von heißem Wasser gegen einen rotierenden Schleifstein gepresst wird, wobei feine Holzpartikel abgelöst werden. 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), bei denen Holzstoff unter erhöhtem Druck und bei höherer Temperatur hergestellt wird. Gegebenenfalls erfolgt eine weitere Auflösung des Holzstoffes durch Chemikalien (CTMP-Verfahren, VIK 1998: 30). 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 (englisch: chemical pulping). Zellstoffe stammen in überwiegendem Maße 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.

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. Je nach Papierqualität werden die Papierbahnen nun geglättet und verdichtet. Die Papierproduktion endet mit dem Aufrollen der getrockneten Papierbahnen und deren Verarbeitung zu auslieferungsfähiger Rollen- oder Stapelware.

4.4 Die Selbstverpflichtung

Der VDP hat in seiner Verpflichtung vom 21.12.2000 erklärt, dass er auf seine Mitgliedsfirmen einwirken wird mit dem Ziel, die spezifischen CO₂-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 Angaben des VDP in Deutschland knapp 12,8 Mill. t Papiererzeugnisse produziert und dabei rund 14,4 Mill. t CO₂ emittiert (Buttermann, Hillebrand 2002: 147). Für 1990 errechnet sich daraus ein spezifischer CO₂-Ausstoß von ca. 1 130 kg/t. Ziel der

Selbstverpflichtung ist demnach, bis 2012 eine Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen auf rund 734 kg/t zu erreichen.

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 2000).

4.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Die CO₂-Emissionen der Zellstoff- und Papierindustrie beliefen sich 2011 und 2012 auf etwa 14,8 bzw. 13,9 Mill. t. 2011 lagen sie damit 2,5 % über dem Wert von 1990, 2012 rund 4,0 % darunter (Tabelle 4.2). Zeitgleich nahm die Produktion um rund 79 bzw. 77 % zu, von 12,8 Mill. t Papier im Jahr 1990 auf 22,7 Mill. t im Jahr 2011 bzw. 22,6 Mill. t 2012. Infolgedessen nahmen die spezifischen CO₂-Emissionen je Tonne Papierproduktion zwischen 1990 und 2011/2012 um rund 42 bzw. 46 % auf etwa 652 bzw. 612 kg CO₂/t Papier ab. Die Papierindustrie hat ihr spezifisches Emissionsziel bereits seit dem Jahr 2009 erreicht.

Tabelle 4.2

CO₂-Emissionen der Papierindustrie

1990 bis 2012; Minderungsziel bis 2012: 734 kg CO₂/t bzw. -35 % im Vergleich zu 1990

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Produktion	12,8	14,8	18,2	21,7	23,1	22,7	22,6
CO ₂ Mill. t	14,4	13,8	14,4	17,0	16,35	14,79	13,85
spez. CO ₂ in kg/t	1130	928	794	784	709	652	612
Minderung		17,9%	29,7%	30,6%	37,3%	42,3%	45,8%
Zielerreichung		51,1%	84,9%	87,5%	106,5%	120,9%	130,9%

Eigene Berechnungen.

4.6 Ursachenanalyse

Tabelle 4.1 gibt Aufschluss über die im Wesentlichen für die Emissionsentwicklung verantwortlichen Ursachen. Erkennbar ist, dass zwischen 1990 und 2012 die Bedeu-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

tung von kohlenstoffreichen Energieträgern wie Braun- und Steinkohle für die Papierproduktion deutlich abgenommen hat und somit die Kohlenstoffintensität des Energiemixes reduziert wurde. Daneben zeigt sich, dass für die Papierindustrie zunehmend Energieträger bedeutsam werden, die im Rahmen des Monitorings als nicht emissionsrelevant behandelt werden. So nahm der Anteil von Fremddampf und insbesondere Sekundärbrennstoffen (z.B. Zellstoffablauge oder Holzrinde) am gesamten Energieverbrauch von rund 9 % im Jahr 1990 auf etwa 26 % im Jahr 2012 zu.

Tabelle 4.3
Entwicklung der Rohstoff- und Energieintensität
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
<i>Altpapiereinsatzquote:</i>							
Verbrauch an Altpapier in % der Papierproduktion	49%	58%	60%	66%	70%	71%	72%
<i>Holzstoff:</i>							
Anteil der inländischen Produktion am inländischen Verbrauch	95%	90%	86%	88%	89%	88%	85%
<i>Zellstoff:</i>							
Anteil der inländischen Produktion am inländischen Verbrauch	27%	19%	20%	28%	32%	34%	34%
<i>Energieintensität, bezogen auf emissionsrelevanten Energieverbrauch (in GJ/t)</i>							
	15,9	13,7	12,2	12,3	11,1	10,2	9,6
<i>Energieintensität, bezogen auf gesamten Energieverbrauch (in GJ/t)</i>							
	17,5	15,3	13,8	14,7	14,3	13,5	13,1
<i>Eigene Berechnungen.</i>							

Dessen ungeachtet hat sich auch die Energieeffizienz der Papierindustrie im Zeitablauf deutlich verbessert, was einerseits auf den vermehrten Einsatz von Altpapier in der Produktion zurückzuführen ist (Tabelle 4.3). Für rund 72 % der Papierproduktion wird auf den Sekundärrohstoff Altpapier zurückgegriffen, der die Primärrohstoffe Holz- und Zellstoff substituiert. Andererseits ist aber auch zu beobachten, dass gemessen am jeweiligen Verbrauch dieser Ausgangsstoffe die energieintensi-

ve Produktion von Holzstoff in Deutschland im Zeitverlauf deutlich von 95 % im Jahr 1990 auf 85 % im Jahr 2012 abgenommen hat. Demgegenüber hat der Anteil der inländischen Zellstoffproduktion am Verbrauch nur um sieben Prozentpunkte zugelegt.

Insgesamt ist eine deutlich sinkende Energieintensität der Wertschöpfungskette zu beobachten. Bezogen auf den für das Monitoring relevanten Verbrauch an Primärenergie und Fremdstrom sank die Energieintensität der Produktion zwischen 1990 von 15,9 GJ/t um gut 39 % auf 9,6 GJ/t. Bezieht man den Bezug an Fremddampf und den Verbrauch an Sekundärenergieträgern in die Betrachtung mit ein, so wurden 2012 mit 13,1 GJ/t rund 25 % weniger Energie je t Papiererzeugung verbraucht als im Jahr 1990 mit 17,5 GJ/t.

4.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die Emissionsminderungsmaßnahmen der Papierindustrie in den Jahren 2011 und 2012 sind in zwei umfangreichen Zusatzdokumenten zum Abschlussbericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie aufgeführt (VDP 2013b+c). Die Projektdokumentation nennt ein Investitionsvolumen zur Energieeinsparung in Höhe von insgesamt 75,8 Mill. € für das Jahr 2011 und rund 30,0 Mill. € für 2012. Damit entfielen rund 13,1 bzw. 4,6 % aller Bruttoanlageinvestitionen der Papierindustrie der Jahre 2011 und 2012 auf energieeinsparende Projekte (Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4
Investitionen in den Betrieben der Papierindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Investitionen in Mill. €	1 023	573	1 040	655	465	580	655
Investitionsquote in %	k.A.	5,4	8,1	5,1	3,2	3,8	4,5
Investitionsintensität	12,4	12,1	22,7	14,3	11,2	14,1	16,2

Nach Angaben des VDP. – Investitionsquote: Investitionen/Umsatz, Investitionsintensität: Investitionen in 1 000€ pro Beschäftigten.

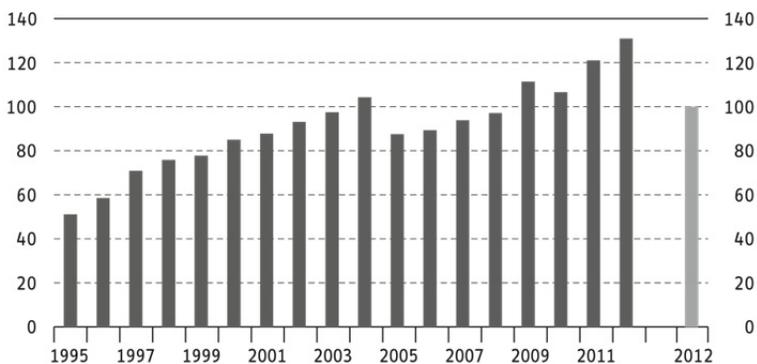
Die Projektdokumentation nennt als Wirkung der durchgeführten Klimaschutzprojekte eine jährliche Einsparung von etwa 150 bzw. 97 GWh Strom und etwa 431 bzw. 291 GWh Dampf bzw. Wärme. Diese Energieeinsparung dürfte indessen die tatsächliche Einsparung noch unterschätzen, da nicht zu allen Investitionsprojekten auch entsprechende Minderungsmengen berichtet wurden.

4.8 Zusammenfassung und Bewertung

In ihrer Selbstverpflichtung aus dem Jahr 2000 hat die Zellstoff- und Papierindustrie eine Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um 35 % gegenüber 1990 zugesagt. Ausgehend von 1130 kg CO₂ je Tonne Papierproduktion entspricht dies einer Zielgröße von 734 kg CO₂/t.

Durch die Neuordnung der amtlichen Energiestatistik im Jahr 2003 wurde eine Umstellung der Datenbasis auf eine Verbandserhebung zum Energieverbrauch der Branche notwendig. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass in der dafür befragten Stichprobe vergleichsweise große Unternehmen leicht überrepräsentiert, kleine Unternehmen hingegen unterfrequentiert sind. Nach Angaben des VDP ist die Unternehmensgröße ein Indiz für den verwendeten Energieträgermix: kleine Unternehmen verwenden vorwiegend kohlenstoffarmes Erdgas, während CO₂-intensive Kohle(-erzeugnisse) eher in größeren Unternehmen zur Nutzenergieerzeugung Verwendung findet. In der Folge dürften die tatsächlichen CO₂-Emissionen niedriger ausfallen als die hier hochgerechneten Werte, was wiederum geringere spezifische CO₂-Emissionen als die hier verwendeten impliziert.

Schaubild 4.5
Zielerreichungsgrade der Papierindustrie
1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Dessen ungeachtet hat die Papierindustrie ihr Reduktionsziel bereits im Jahr 2009 erreicht. Dies ist umso bemerkenswerter, da die Wirtschaftskrise in anderen Wirtschaftssektoren zu einer schlechteren Anlagenauslastung und in der Folge zu schlechteren spezifischen Emissionswerten geführt hat. Die Papierindustrie konnte ihren spezifischen Emissionswert in den Berichtsjahren 2011 und 2012 gegenüber

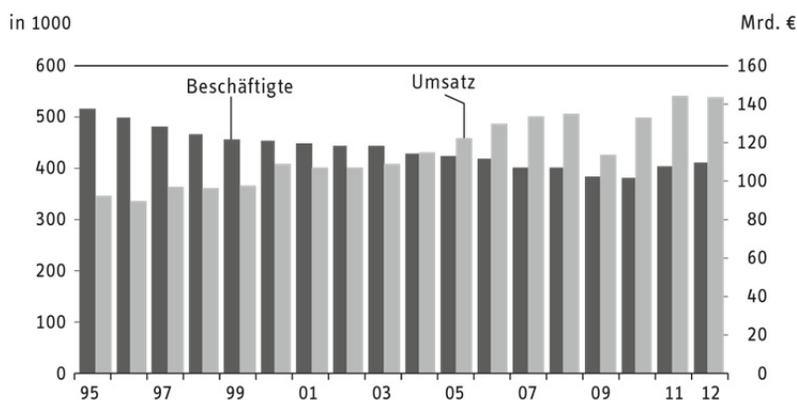
2010 sogar noch verbessern: 2011 und 2012 wurden rund 652 bzw. 612 kg CO₂/t emittiert, was einer Reduktion gegenüber 2010 um 58 bzw. 97 kg/t entspricht. Im Vergleich zum Referenzjahr 1990 wurden die spezifischen Emissionen um 42,3 bzw. 45,8 % gesenkt (Tabelle 4.2). Angesichts einer Zielerfüllung von 121 bzw. 131 % im Jahr 2011 bzw. 2012 hat die Papierindustrie ihre Klimaschutzzusage für 2012 weit mehr als erfüllt.

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 Reinigungskemikalien, Farben und Klebstoffe produziert.

Im Jahr 2012 betrug der Branchenumsatz etwa 144 Mrd. €, wozu das Auslandsgeschäft rund 57 % beitrug (StaBuA/FS4/R4.1.1). Nach den USA, China und Japan besitzt Deutschland am Umsatz gemessen die viertgrößte Chemische Industrie (VCI 2013).

Schaubild 5.1
Umsatz und Beschäftigte der Chemischen Industrie
 1995 bis 2012; fachliche Betriebsteile



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.
 Ab 2007: Jahresbericht für Betriebe.

Die vorwiegend mittelständisch geprägte chemische Industrie beschäftigte nach Angaben des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2012 ca. 410 000 Personen (in Abgrenzung der fachlichen Betriebsteile). Im Vergleich zu 2010 stieg die Beschäftigtenzahl der Chemischen Industrie um etwa 30 000 Personen (StaBuA/FS4/R4.1.1).

5.1 Datenbasis

In früheren Berichtsjahren wurde die Chemische Industrie in der Wirtschaftszweigklassifikation WZ2003 unter der Nummer 24 geführt („Herstellung von chemischen Erzeugnissen“). Mit der Umstellung der Klassifikation auf WZ2008 wurde auch die Branchenabgrenzung der chemischen Industrie geändert. Die „Herstellung von chemischen Erzeugnissen“ wird in WZ2008 unter der Nummer 20 geführt, nicht mehr darin enthalten ist die „Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen“, für die ein eigener Wirtschaftszweig unter der Nummer 21 geschaffen wurde. Übersicht 5.1 fasst die Änderungen der Branchenabgrenzung im Übergang von WZ2003 auf WZ2008 zusammen. Um die Vergleichbarkeit des aktuellen Monitoringberichts mit den Berichten der Vorjahre zu gewährleisten, wird hier weiterhin eine Branchenabgrenzung nach Maßgabe der WZ2003 unterstellt, d.h. das Monitoring fasst unter Chemische Industrie nunmehr die Wirtschaftszweige 20 und 21 zusammen.

Übersicht 5.1

Branchenabgrenzung der Chemischen Industrie

WZ2003 und WZ2008 im Vergleich

	WZ2003	WZ2008
Herstellung v. chemischen. Erzeugnissen	24	20
Herstellung von chemischen Grundstoffen	24.1	20.1
Herstellung von Schädlingsbekämpfung-, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln	24.2	20.2
Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten	24.3	20.3
Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	24.4	21
Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen	24.5	20.4
Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen	24.6	20.5
Herstellung von Chemiefasern	24.7	20.6

Produktionswerte/-indizes

Die Branche weist ein großes Spektrum an Produkten auf. Aus diesem Grund ist in den früheren Berichtsjahren die Produktionsentwicklung mit Hilfe eines Indexwertes angegeben worden. Dieser wurde regelmäßig vom Statistischen Bundesamt für die WZ-Nr. 24 in der Fachserie 4, Reihe 2.1 veröffentlicht. Mit der Umstellung auf WZ2008 und der damit verbundenen Neuabgrenzung der Branche in die Nummern 20 und 21 wird nunmehr vom Statistischen Bundesamt für jeden der beiden

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Subsektoren ein eigener Produktionsindex veröffentlicht, der nicht unmittelbar mit dem bisherigen Index für die WZ-Nr.24 vergleichbar ist.

Um im Rahmen des Monitorings Konsistenz in der Zeitreihe der spezifischen Energieverbräuche zu gewährleisten, wurde für die Berichtsjahre 2011 und 2012 ein Produktionsindex errechnet, der die Branchenabgrenzung der chemischen Industrie nach Maßgabe der abgelösten WZ2003 nachzeichnet. Analog zu dem amtlichen Produktionsindex des Statistischen Bundesamtes wurde dafür die „Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten“ (BWS-F) der einzelnen chemischen Subsektoren herangezogen. So betrug die BWS-F der chemischen Industrie nach Abgrenzung der WZ2003 Nr.24 im Jahr 2000 etwa 39,1 Mrd. Euro, von denen rund 8,8 Mrd. Euro auf die Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen entfiel (StabuA 2010). Eine entsprechende Aufteilung lässt sich auch für die Jahre 2007 bis 2012 vornehmen (Tabelle 5.1). Bezieht man die Summe der BWS-F der Einzelsektoren jeweils auf das Referenzjahr 2000, ergibt sich der für das Monitoring geschaffene Produktionsindex (Zeile 3, Tabelle 5.1). Zu Vergleichszwecken ist der vom Statistischen Bundesamt bis 2007 veröffentlichte Produktionsindex in der letzten Zeile von Tabelle 5.1 abgetragen. Erkennbar ist, dass der amtliche Index für 2007 geringfügig unter dem errechneten Wert liegt. Eine mögliche Abweichung könnte in Rundungsdifferenzen bei den einzelnen Rechenschritten liegen.

Tabelle 5.1
Bruttowertschöpfung und Produktionsindex der Chemischen Industrie
Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten in Mrd. Euro

	2000	2007	2009	2010	2011	2012
Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten	30,285	47,467	41,803	46,656	47,843	52,612
Davon Erzeugung von pharmazeutischen Erzeugnissen	8,802	15,588	15,668	15,761	16,970	19,098
Produktionsindex	100	121,4	106,9	119,1	122,4	134,6
Produktionsindex nach StaBuA	100	120,5	-	-	-	-

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts, Fachserie 4, Reihe 2.1, sowie der jährlichen Kostenstrukturerhebung im Verarbeitenden Gewerbe.

Daten zum Energieverbrauch

Als wesentliche Datengrundlage für die Ermittlung des Energieverbrauchs und die Berechnung der CO₂-Emissionen dient seit dem Berichtsjahr 2003 die Energieverwendungserhebung für das Produzierende Gewerbe des Statistischen Bundesamtes. Da diese amtlichen Daten mitunter erst 18 Monate nach Abschluss des entsprechen-

chenden Kalenderjahres verfügbar werden, ist die Nutzung der amtlichen Energieverwendungserhebung für das CO₂-Monitoring angesichts des verkürzten Zeitrahmens für die Berichterstellung nicht mehr möglich. Der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) hat daher ein Extrapolationsverfahren für den Energieverbrauch entwickelt, welches auf einer Befragung von für den Energieverbrauch der Branche repräsentativen Mitgliedsunternehmen des VCI aufbaut, mit dem Ziel, zeitnah belastbare Angaben über den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen des vergangenen Kalenderjahres machen zu können. Die Verbandsbefragung orientiert sich an dem Vorgehen der amtlichen Energieverwendungserhebung und unterscheidet explizit zwischen energetisch genutzten und rohstoffbedingt eingesetzten Mengen an Energieträgern. Eine solche Unterscheidung ist aufgrund der Selbstverpflichtung der Branche notwendig. Die vom VCI befragten Mitgliedsunternehmen repräsentieren aktuell rund 2/3 des branchenweiten Strom- und Erdgasverbrauchs – die beiden für die Chemische Industrie wichtigsten Energieträger – und bilden daher eine gute Grundlage für die anschließende Extrapolation.

Ausgangspunkt der Extrapolation sind die Kalenderjahre, für die sowohl Daten aus der amtlichen Energieverwendungserhebung als auch aus der Verbandserhebung vorliegen. Für diese Jahre wird für die wichtigsten Energieträger der branchenweite Anteil berechnet, der von den an der Verbandsbefragung beteiligten Unternehmen verbraucht wurde. Für die Perioden, für die noch keine amtlichen Daten verfügbar sind, jedoch Ergebnisse aus der Verbandsbefragung vorliegen, werden die Ergebnisse der Verbandserhebung für die wichtigsten Energieträger anhand der fortgeschriebenen Anteile hochgerechnet. Für weniger bedeutsame Energieträger erfolgt eine Fortschreibung der letzten verfügbaren amtlich publizierten Verbrauchsmenge. Die Hochrechnung der Stichprobendaten zum Energieverbrauch auf die Grundgesamtheit der Chemischen Industrie stellt einen Schätzwert dar, der zwangsläufig mit statistischer Unsicherheit behaftet ist. Dieser Schätzwert wird, sofern möglich, mit den amtlichen Daten zum Energieverbrauch abgeglichen.

Emissionen an Lachgas

Für die Chemische Industrie sind neben energiebedingten CO₂-Emissionen auch die Emissionen an Lachgas (N₂O) bedeutsam, die zum größten Teil bei der Produktion von Adipin- und Salpetersäure entstehen. Insbesondere für das Jahr 1990 ist die Datenverfügbarkeit für N₂O-Emissionen jedoch schwierig. Das Umweltbundesamt publiziert im Rahmen seiner Treibhausgasberichterstattung Emissionsmengen zu N₂O (UBA 2008: 428-429). Der für 1990 veröffentlichte Wert an N₂O-Emissionen der Chemischen Industrie beläuft sich auf 23,8 Mill. t CO₂-Äquivalente und wurde aus Produktionsdaten, vor allem für Salpetersäure und Adipinsäure, berechnet.

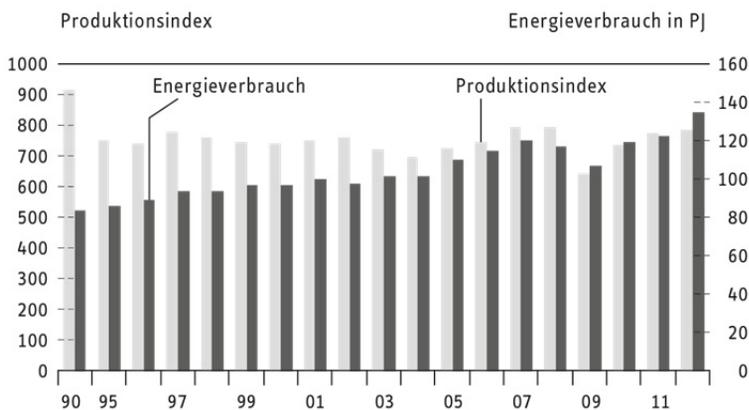
Inzwischen erhebt der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) seit 2001 die N₂O-Emissionen bei seinen Mitgliedsunternehmen und stellt die Daten im Rahmen des Monitorings zur Verfügung. Dabei handelt es sich um tatsächlich anfallende Messwerte, die Angaben werden daher nicht indirekt aus Produktionszahlen für Salpeter- und Adipinsäure ermittelt.

5.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Chemische Industrie gehört zu den größten Energieverbrauchern im produzierenden Gewerbe. Bis 2004 nahm der Energieverbrauch im Zeitablauf ab und stieg angesichts einer stark steigenden Chemieproduktion danach wieder an, auf rund 795 PJ im Jahr 2008 (Schaubild 5.2).

Schaubild 5.2

Produktionsindex (2000 = 100) und Energieverbrauch der Chemischen Industrie
1995 bis 2012; Energieverbrauch ohne rohstoffbedingte Anteile



Eigene Berechnung nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 2.1 und das VCI im Rahmen des Monitoring

Im Jahr 2009 sanken aufgrund der Wirtschaftskrise sowohl die Produktion – der Produktionsindex lag 2009 etwa 10 Prozentpunkte unter seinem Vorjahreswert – als auch der Energieverbrauch. Im Jahr 2010 stieg die Produktion erneut an und erreichte annähernd das Niveau von 2007, was einen Anstieg des Energieverbrauchs auf - prognostiziert - 738 PJ (ohne den rohstoffbedingten Bedarf an fossilen Brennstoffen) zur Folge hatte. In den beiden folgenden Jahren stieg der Produktionsindex weiter an und erreichte mit einem Stand von 134,6 den bisherigen Höchstwert im Jahr 2012. Dies ging mit einem Anstieg des Energieverbrauchs auf rund 787 PJ einher.

5.3 Ausgewählte Produktionsprozesse

Eine Besonderheit der Chemischen Industrie im Rahmen des Monitoring ist, dass Energieträger sowohl stofflich als auch energetisch verwendet werden. Die Selbstverpflichtungserklärung der Chemischen Industrie bezieht sich dagegen allein auf die Minderung des energiebedingten spezifischen Verbrauchs an Energieträgern, der energiebedingten Emissionen an CO₂ und schließt zudem eine Minderung der Emissionen von klimapotentem Lachgas (N₂O) mit ein. Der rohstoffbedingte Verbrauch an Energieträgern wird daher bereits bei der VCI-Verbandserhebung aus dem gesamten Energieverbrauch herausgerechnet. Hauptrohstoff ist Rohbenzin (Naphtha) als Erdölraffinationsprodukt.

Insbesondere zur Herstellung von chemischen Grundstoffen werden fossile 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.

Tabelle 5.2
Energetischer und nichtenergetischer Verbrauch an Energieträgern
 1995 bis 2011; gerundete Werte in PJ

	1995	2000	2008	2009	2010	2011
Steinkohle(erzeugnisse)	61,8	25,5	24,5	20,3	30,2	24,5
davon rohstoffbedingt	19,0 %	14,4 %	47,4 %	47,9 %	41,2 %	47,6 %
Mineralöl(erzeugnisse)	100,7	77,5	327,9	353,5	436,7	417,9
davon rohstoffbedingt	45,1 %	55,4 %	76,0 %	94,5 %	86,5 %	86,8 %
Brenngase	346,7	325,3	381,8	367,9	367,2	441,8
davon rohstoffbedingt	23,3 %	24,6 %	24,0 %	22,1 %	26,7 %	22,0 %

Quelle: Statistisches Bundesamt - Erhebung der Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes. Amtliche Energieverwendungsdaten für 2012 waren bei Fertigstellung des Berichts nicht verfügbar.

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 CO₂-Emissionen und grenzt den rohstoffbedingten Bedarf aus. Im

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Januar 2001 wurde eine weiterentwickelte Selbstverpflichtungserklärung für die Chemische Industrie abgegeben. Mit ihr verschärft die Chemische Industrie nicht nur ihre Ziele gegenüber ihrer Erklärung von 1996, sondern bezieht neben Kohlendioxid (CO₂) weitere Klimagase in die Verpflichtung ein.

Neben Kohlendioxid spielt nur noch Lachgas (N₂O) eine wesentliche Rolle für die Klimaschutzklärung der Chemischen Industrie. N₂O-Emissionen haben eine um den Faktor 310 höhere Treibhausgasrelevanz als CO₂, d. h. jede Tonne N₂O-Emission ist genauso treibhauswirksam wie 310 Tonnen CO₂. Als wesentliche N₂O-Quelle nennt der VCI die Herstellung von Adipin- und Salpetersäure. Die Emissionen an fluorierten Gasen (Halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe und Perfluorcarbone 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 weiterentwickelten Selbstverpflichtungserklärung, ihre energiebedingten CO₂-Emissionen und die N₂O-Emissionen bis 2012 um 45 % bis 50 % gegenüber 1990 zu senken (Übersicht 5.2). Zu den im Rahmen des Monitoring festgestellten emittierten 65,5 Mill. t CO₂ im Jahr 1990 werden daher die in CO₂-Äquivalenten ausgedrückten Lachgas-Emissionen von etwa 23,8 Mill. t hinzugerechnet (UBA 2008). Daraus ergibt sich für das Basisjahr 1990 insgesamt eine Ausgangsgröße von 89,3 Mill. t CO₂-Äquivalenten. Vor dem Hintergrund der weiterentwickelten Selbstverpflichtungserklärung resultiert daraus für die Chemische Industrie ein Zielkorridor von 45 bis 49 Mill. t CO₂-Äquivalenten für das Jahr 2012 (VCI 2001). Darüber hinaus verpflichtet sich die Chemische Industrie zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz: Der spezifische Energieverbrauch soll zwischen 1990 und 2012 um 35 % bis 40 % reduziert werden.

Übersicht 5.2

Die Selbstverpflichtungserklärungen der Chemischen Industrie

Ziele bis 2012:	Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs um 35 % bis 40 %. Verringerung der energiebedingten CO ₂ - und der N ₂ O-Emissionen in der Summe um 45 % bis 50 % CO ₂ -Äquivalente.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des VCI (2001).

5.5 Bis 2012 erreichte Energieverbrauchs- und Treibhausgasminderungen

Der energiebedingte Verbrauch an fossilen Brennstoffen beläuft sich 2012 geschätzt auf rund 787 PJ. Dies entspricht einer Minderung von rund 14,0 % im Vergleich zum Basisjahr 1990. Im selben Zeitraum stieg der Produktionsindex um etwa 61,1 %, so dass der spezifische Energieverbrauch je Einheit Produktionsindex sank. Insgesamt ist eine Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs zwischen 1990 und 2010 von etwa 46,7% zu beobachten. Dies entspricht einem Erfüllungsgrad von rund 133 % für das Energieeffizienzziel der Branche (Tabelle 5.3).

Tabelle 5.3
Entwicklung des Produktionsindex, des Energieverbrauchs und des spezifischen Energieverbrauchs

1990 bis 2012; ohne rohstoffbedingten Brennstoffverbrauch

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Energieverbrauch in PJ	915,8	752,1	741,7	726,9	721,9	738,0	776,9	787,414
Energieverbrauch, 2000=100	123,5	101,4	100,0	98,0	97,3	99,5	104,7	106,2
Produktionsindex, 2000=100	83,5	86,0	100,0	110,0	106,9	119,1	122,4	134,6
Spezifischer Energieverbrauch, 2000=100	147,9	117,9	100,0	89,1	91,0	83,5	85,6	78,9
Minderung in %		20,3	32,4	39,7	38,4	43,5	42,1	46,7
Zielerreichungsgrad in % (Energieeffizienz)		57,9	92,5	113,6	109,8	124,3	120,4	133,3

Eigene Berechnungen nach Angaben des VCI im Rahmen des Monitoring.

Mit Blick auf die Zusage, die energiebedingten CO₂- und die N₂O-Emissionen in der Summe um 45 % bis 50 % zu senken, ist die Chemische Industrie ein deutliches Stück vorangekommen. Im Jahr 2008 betrug die energiebedingten CO₂-Emissionen rund 50,5 Mill. t. Im Jahr 2009 sank dieser Wert – sicherlich auch konjunkturell bedingt – auf noch 40,2 Mill. t CO₂. Die N₂O-Emissionen betragen nach Angaben des VCI 2009 rund 9,8 Mill. t CO₂-Äquivalente. Seit dem Jahr 2010 konnten die N₂O-Emissionen erheblich gesenkt werden, was insbesondere auf redundant ausgelegte Abluftreinigungsanlagen zurückzuführen ist. Bis zum Ende des Selbstverpflichtungszeitraumes 2012 ist eine redundante Auslegung aller N₂O-Abluftreinigungsanlagen vorgesehen, so dass zukünftig mit einem weiter sinkenden Niveau der N₂O-Emissionen zu rechnen ist. Dies schlägt sich auch in den N₂O-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Emissionen der Jahre 2011 und 2012 nieder, die aufgrund der getroffenen Maßnahmen auf 1 Mill. t CO₂-Äquivalente zurückgegangen sind (Tabelle 5.4).

In der Summe belaufen sich die Emissionen dieser beiden Treibhausgase 2012 auf rund 50,2 Mill. t CO₂-Äquivalente, gleichbedeutend mit einer Minderung von rund 44 % gegenüber dem Basisjahr 1990 (Tabelle 5.4). Damit sind rund 97 % des Treibhausgas-Minderungsziels der Chemischen Industrie bis 2012 umgesetzt worden.

Tabelle 5.4
Entwicklung der Treibhausgasemissionen

1990 bis 2012; in Mill. t CO₂-Äquivalente; ohne rohstoffbedingte Emissionen

	1990	2000	2005	2009	2010	2011	2012
CO ₂ -Emissionen	65,5	48,3	45,8	40,2	46,0	48,5	49,2
N ₂ O-Emissionen	23,8	8,5	8,0	9,8	1,6	1,3	1,0
Insgesamt	89,3	56,8	53,8	50,0	47,6	49,7	50,2
Minderung in %	-	36,4	39,8	44,0	46,7	44,3	43,8
Zielerreichungsgrad in % (Emissionsziel)	-	80,9	88,4	97,7	103,8	98,4	97,2

Nach Angaben des VCI im Rahmen des Monitoring.

5.6 Ursachenanalyse

Eine wesentliche Ursache der CO₂-Minderungen ist in der Änderung des Energiemix zu sehen. Die kohlenstoffreichen Energieträger Braun- und Steinkohle wurden zwischen 1990 und 2012 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 CO₂ emittiert. Jedes GJ Energie war demnach mit CO₂-Emissionen in Höhe von 71,6 kg verbunden. Bis zum Jahr 2012 haben sich Strom und Brenngase (vornehmlich Erdgas) als die dominierenden Energieträger in der Chemischen Industrie durchgesetzt: etwa 89 % des Energieverbrauchs wurden 2012 aus diesen beiden Energieträgern gedeckt. Dies minderte den CO₂-Gehalt je GJ auf 62,5 kg.

Die Chemische Industrie ist innerhalb des Produzierenden Gewerbes nach wie vor der größte Eigenstromerzeuger: mehr als ein Drittel der gesamten Brutto-Eigenstromerzeugung im Produzierenden Gewerbe entfällt auf eigene Kraftwerke der Chemieunternehmen. Im Jahr 2011 – Daten für 2012 liegen derzeit noch nicht vor – hat die Branche knapp 225 PJ an Brennstoffen für die Eigenstromerzeugung eingesetzt (StaBuA/FS4/R6.4, verschiedene Jahrgänge).

Tabelle 5.5
Wandel im Energiemix der Chemischen Industrie
 1990 bis 2012; ohne rohstoffbedingten Brennstoffverbrauch; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Energieverbrauch, PJ	915,8	752,1	741,7	726,9	646,1	738,0	776,9	787,4
<i>davon aus:</i>								
Steinkohle(erzeugnisse)	9%	8%	4%	1%	3%	1%	1%	1%
Braunkohle(erzeugnisse)	13%	3%	1%	1%	2%	2%	1%	1%
Mineralöl(erzeugnisse)	7%	11%	9%	5%	11%	3%	8%	8%
Brenngase	28%	36%	34%	33%	37%	41%	40%	38%
Netto-Fremdstrom	42%	42%	53%	60%	48%	53%	49%	51%
CO ₂ -Emissionen, (in Mill. t)	65,5	49,7	47,5	45,6	40,2	46,0	48,5	49,2
CO ₂ -Gehalt, (in kg CO ₂ /GJ)	71,6	66,1	64,1	62,7	62,3	62,3	62,3	62,5

Eigene Berechnungen.

Tabelle 5.6
Energiemix für die Eigenstromerzeugung der Chemischen Industrie
 1990 bis 2011

	1990	1995	2000	2008	2009	2010	2011
Kohle	39%	23%	20%	7%	6%	5%	5%
Gas	48%	63%	66%	79%	83%	82%	82%
Heizöl	4%	3%	3%	1%	1%	3%	2%
Sonstiges	8%	10%	11%	12%	10%	10%	10%
Insgesamt	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts, Fachserie 4, Reihe 6.4. Ab 2008 neue Abgrenzung der Wirtschaftszweige (Chemische Industrie ohne Pharmachemie). Angaben für 2012 waren bei Fertigstellung des vorliegenden Berichts noch nicht verfügbar.

Auch in der Eigenstromerzeugung der Chemischen Industrie ist ein Wandel im Energiemix zu erkennen. Tabelle 5.6 verdeutlicht, dass kohlenstoffreiche Kohle als Energieträger für die Stromerzeugung in industrie-eigenen Kraftwerken an Bedeutung verloren hat, während kohlenstoffarmes Gas hingegen bedeutsamer geworden

ist. Die sonstigen Energieträger, unter denen auch erneuerbare Energien zusammengefasst sind, konnten im Zeitraum 2000 bis 2012 ihren Anteil an der Bruttostromerzeugung der Chemischen Industrie von 8% auf etwa 10% steigern.

5.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die von der Chemischen Industrie in den Berichtsjahren 2011 und 2012 getroffenen Emissionsminderungsmaßnahmen werden im Fortschrittsbericht des VCI (2013b) dargestellt und lassen sich grob in die Bereiche Energieerzeugung, Verteilung und Prozessoptimierung einteilen (Tabelle 5.7). Insgesamt verringerten sich die Emissionen an CO₂ durch die getroffenen Maßnahmen um etwa 182 000 t.

Die im Rahmen der Erzeugung von Salpeter- und Adipinsäure anfallenden Emissionen an Lachgas (N₂O) konnten mit Inbetriebnahme von redundanten Filteranlagen seit dem Jahr 2010 erheblich reduziert werden. Darüber hinausgehende Einsparungen wurden in den Jahren 2011 und 2012 nicht erzielt.

Tabelle 5.7
Minderungsmaßnahmen der Chemischen Industrie
In den Jahren 2011 und 2012

	CO ₂ -Einsparung
Optimierung einer Gasturbine	4 580 t
Prozessoptimierung in einer Fermentationsanlage	7 760 t
Einsatz eines neuen Dampfkessels	576 t
Erneuerung von Rohrleitungsisolierungen	4 515 t
Einrichtung eines Energiemanagementsystems	129 900 t

Nach Angaben aus VCI (2013b).

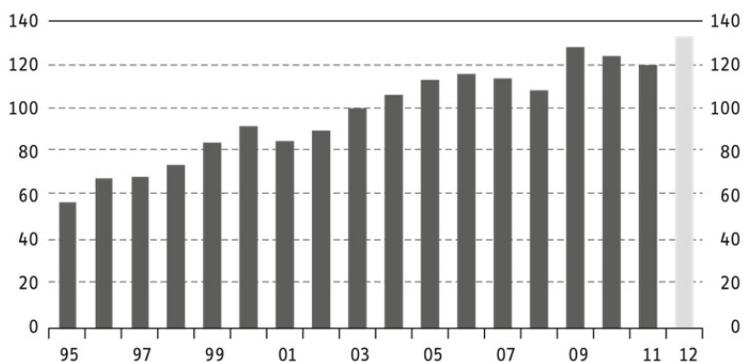
5.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Chemische Industrie hat in ihrer erweiterten Selbstverpflichtungserklärung von 2001 zugesagt, ihren spezifischen Energieverbrauch zwischen 1990 und 2012 um mindestens 35 % zu senken. Dieses Ziel ist bereits seit 2003 erreicht und dürfte absehbar auch in der Zukunft erfüllt werden (Schaubild 5.3).

Des Weiteren hat die Branche zugesagt, auch die energiebedingten CO₂-Emissionen und N₂O-Emissionen bis 2012 um insgesamt mindestens 45 % gegenüber 1990 zu senken. Dieses Ziel ist 2012 zu rund 97 % erfüllt worden (Schaubild 5.4). Zu beobachten ist dabei sowohl eine deutliche Minderung der CO₂-Emissionen, als auch eine Reduktion der Emissionen am ungleich klimapotentere

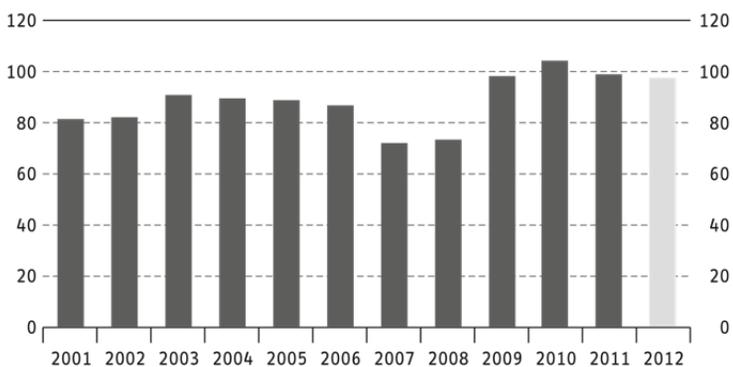
Lachgas (N₂O), was insbesondere auf die Ausstattung mit Abluftreinigungsanlagen zurückzuführen ist.

Schaubild 5.3
Zielerreichungsgrad für den spezifischen Energieverbrauch
 1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnung

Schaubild 5.4
Zielerreichungsgrad für die Treibhausgas-Emissionen
 2001 bis 2012; in %

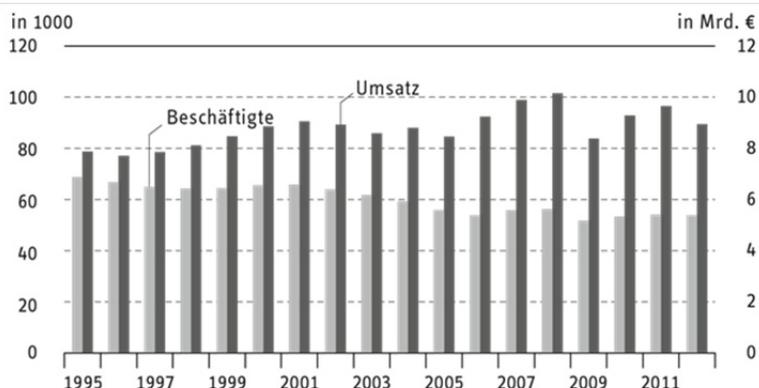


Eigene Berechnung

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 folgenden Jahren ging der Umsatz im Inland allerdings deutlich zurück. Dies konnte auch durch das Auslandsgeschäft nicht kompensiert werden. Der Gesamtumsatz der Branche sank von 2001 bis 2005 um 6,6 % auf 8,5 Mrd. €. In den Jahren 2006 und 2007 konnte auch die Glasindustrie vom positiven wirtschaftlichen Umfeld profitieren. Selbst 2008 konnte der Umsatz trotz der einsetzenden Finanz- und Wirtschaftskrise noch um 2,7 % auf 10,2 Mrd. € gesteigert werden. Bis 2011 konnte der starke Umsatzrückgang des Jahres 2009 zum größten Teil wieder ausgeglichen werden. Die Umsatzentwicklung in der Glasindustrie zwischen 1995 und 2012 lag im Jahresdurchschnitt bei 0,8 % pro Jahr und zeigt damit langfristig wieder einen positiven Trend.

Schaubild 6.1
Beschäftigte und Umsatz in der Glasindustrie
1995 bis 2010



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

Die Glasindustrie umfasst überwiegend mittelständische Unternehmen. 2012 waren in den 403 Betrieben 53 943 Arbeitnehmer beschäftigt (Schaubild 6.2). Auf das gesamte Verarbeitende Gewerbe bezogen liegt der Anteil der Beschäftigten der Glasindustrie bei 0,9 % und der des Umsatzes bei 0,5 %. Damit zählt die Glasindustrie hinsichtlich Umsatz und Beschäftigung zu den eher kleineren Industriezweigen.

6.1 Datenbasis

In der Abgrenzung der Systematik der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008) findet sich die Glasindustrie an Position 23.1 „Herstellung von Glas und Glaswaren“. Hierzu zählen neben der eigentlichen Herstellung von Glas – dem sogenannten Hüttenglas – auch Wirtschaftszweige, in denen Glas veredelt und/oder weiterverarbeitet wird.⁴ Die Gliederung der WZ 2008 erlaubt nur bedingt eine eindeutige Unterscheidung zwischen Glas schmelzenden und weiterverarbeitenden bzw. veredelnden Bereichen. So wird in der amtlichen Statistik zwischen Flachglas-schmelzbetrieben (WZ 23.11 „Herstellung von Flachglas“) und weiterverarbeitenden Betrieben (WZ 23.12 „Veredlung und Bearbeitung von Flachglas“) unterschieden, 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 CO₂-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 bis 2002 auf Angaben des Statistischen Bundesamtes und wurden 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. Der Nettofremdstrombezug konnte aus den amtlichen Daten für 2005 wegen einer Vielzahl von Geheimhaltungsfällen nicht errechnet werden. Insgesamt sind die Ergebnisse des Monitorings ab 2003 mit Ergebnissen aus früheren Jahren nur eingeschränkt vergleichbar.

⁴ Aufgrund des Herstellungsverfahrens (Schmelz-Verfahren) zählt genau genommen auch die Produktion von Wasserglas zur Glasindustrie. Sowohl Produktion als auch Energieverbrauch werden jedoch in der chemischen Industrie erfasst.

Die amtlichen Energieverwendungsdaten sind erst mit einer Verzögerung von mehr als 12 Monaten verfügbar. Um ein zeitnahes Monitoring zu gewährleisten ist der BV Glas dazu übergegangen, den Energieverbrauch bei seinen Mitgliedern zu erheben. Diese Erhebung wurde 2007 erstmals für die Jahre 2005 bis 2007 durchgeführt. Seither wird der Einsatz an fossilen Energieträgern und Strom für das jeweilige Berichtsjahr auf Grundlage der Verbandserhebung hochgerechnet. Für das letzte Jahr, für das amtliche Daten zum Energieverbrauch verfügbar sind, werden hierzu die entsprechenden Erfassungsgrade für die Energieträger berechnet. Im Vergleich zu den Daten des Statistischen Bundesamtes ergaben sich für 2011 Erfassungsgrade zwischen rund 7,1 % für Flüssiggas und etwa 97 % für schweres Heizöl. Die beiden wichtigsten Energieträger Erdgas und Strom wurden zu 80 - 90 % erfasst. Mit diesen Angaben wurde der vom Verband erhobene Energieverbrauch des Jahres 2012 hochgerechnet. Der hochgerechnete Verbrauch für 2010 wurde in diesem Bericht anhand der mittlerweile vorliegenden amtlichen Daten überprüft und die in den Tabellen und Schaubildern wiedergegebenen Daten für 2010 revidiert.

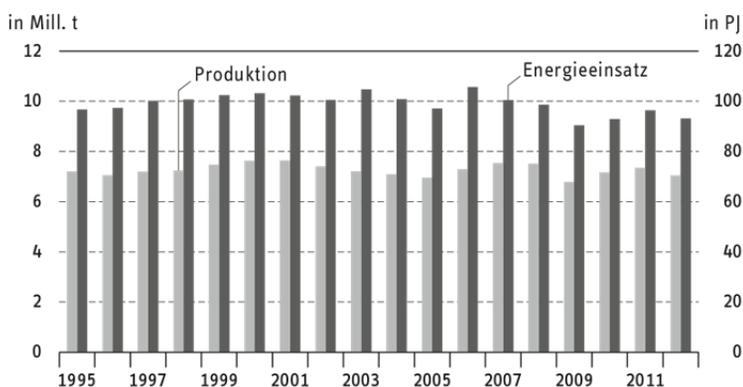
Neben dem Energieeinsatz für die Produktion von Hüttenglas enthalten die Energieverwendungsdaten auch jenen für die Veredlung und Weiterverarbeitung, der strenggenommen nicht der Glas-Erzeugenden Industrie zuzurechnen ist. Allerdings benötigen die Veredlung und Weiterverarbeitung nach Informationen des 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 CO₂-Minderung wird auch in diesem Bericht der Fortschrittsbericht des Verbandes der Glasindustrie zugrunde gelegt.

6.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Produktion von Hüttenglas stieg 2011 mit 7,3 Mill. t rund 2,5 % über den Wert des Vorjahres und damit auf das Niveau des Jahres 2006 (Schaubild 6.2). 2012 war ein Rückgang der Produktion um 4,1 % auf 7,0 Mill. t zu verzeichnen. Zwar ging die Produktion im Zuge der Finanz- und Wirtschaftskrise 2009 auch in der Glasindustrie zurück, dennoch lag sie seit 1990 im Durchschnitt bei rund 7,2 Mill. t. Der jährliche Energieverbrauch bewegt sich seit 1990 um einen Wert von durchschnittlich etwa 100 PJ. Mit einem Variationskoeffizienten von 4,1 % gegenüber 5,5 % bei der Produktion schwankte der Energieverbrauch aber weniger. 2011 stieg der Einsatz fossiler Energieträger und Nettofremdstrom zunächst auf rund 96 PJ; im Jahr 2012 ging er zurück auf etwa 93 PJ. Der hochgerechnete Energieverbrauch für 2012 ist mit 3,3 % etwas weniger gesunken als die Produktion.

Nach Auskunft des Verbandes ist die im Vergleich zur Produktion geringere Schwankung des Energieverbrauchs in der Glasindustrie darauf zurückzuführen, dass die Menge an Energie, die notwendig ist, damit die Schmelzwannen überhaupt betrieben werden können, relativ hoch ist. Der Energieeinsatz für die eigentliche Glasproduktion erfolgt additiv zu diesem „Grund-Energiebedarf“. Schwankungen der produzierten Glasmenge wirken sich nur auf diesen additiven Energieeinsatz aus, nicht jedoch auf den Grund-Energiebedarf.

Schaubild 6.2
Produktion und Energieverbrauch in der Glasindustrie
 1995 bis 2012



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 waren 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 betrug der ausgewiesene Verbrauch von Flüssiggas nur noch 0,2 PJ und der Energieverbrauch insgesamt lag bei knapp 101 PJ (Tabelle 6.4). In den Jahren 2005 bis 2009 weist der Energieverbrauch einige Schwankungen auf. Nachdem er 2005 mit 97 PJ fast auf das Niveau von 1995 zurückging, erreichte er 2006 mit 105,7 PJ den höchsten Wert seit 1990. 2009 lag der Verbrauch mit rund 92 PJ deutlich niedriger als

1995 und wies den geringsten Wert seit 1990 auf. Nach einem erneuten Anstieg der eingesetzten Energiemenge auf 96,3 PJ bis 2011 betrug der Verbrauch 2012 etwa 93,1 PJ. Während die eingesetzte Energiemenge seit 1990 durchschnittlich um 0,3 % pro Jahr sank, wuchs die Produktion im gleichen Zeitraum mit jahresdurchschnittlich 0,8 %.

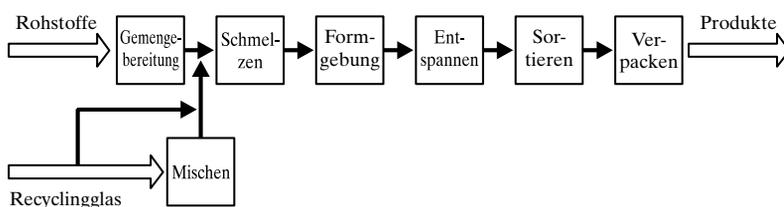
Laut Bundesverband ist die Glasindustrie eine der energieintensivsten Industrien (BV Glas 2013: 1). Der Anteil am Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes lag 2011 bei 2,7 %. Zieht man als Anhaltspunkt für die Energieintensität der Branche das Verhältnis von Energieverbrauch und Umsatz heran, so wird die Einschätzung des Verbandes gestützt: Mit 10,0 MJ/€ Umsatz im Jahr 2011 stellt sich die Glasindustrie gegenüber dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes von 2,1 MJ/€ als energieintensiv dar. Im Vergleich zu den übrigen am Monitoring beteiligten Industriezweigen nimmt die Glasindustrie mit diesem Wert einen mittleren Rang ein. Allerdings liefert die Betrachtung der Glasindustrie insgesamt hier ein verzerrtes Bild, da bei der hier verwendeten Branchenabgrenzung auch die Veredlung und Weiterverarbeitung von Glas erfasst wird. Auf diesen Teilbereich der Glasindustrie entfällt zwar nur ein vergleichsweise geringer Anteil der eingesetzten Energie, sie trägt aber zu rund einem Drittel zum Branchenumsatz bei. Wird dagegen nur die Herstellung von Hohl- und Flachglas betrachtet, so liegt die Energieintensität erheblich höher als der Branchendurchschnitt. Allein für die Herstellung von Flachglas beträgt sie 17,3 MJ/€ Umsatz und wird nur von der Herstellung von Kalk (24,8 MJ/€) und Zement (50,2 MJ/€) übertroffen.

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).

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 CO₂-Monitoring von Bedeutung. Ein zusätzlicher, ebenfalls für das Monitoring relevanter Arbeitsschritt besteht gegebenenfalls in der Veredlung von Glas.

Schaubild 6.3
Prinzipieller Ablauf der Glasherstellung



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

Entsprechend der zu produzierenden Glassorte bzw. des herzustellenden Glasproduktes werden die Rohstoffe Glassand, Soda, Kalk, Dolomit und Scherben sowie weitere Rohmaterialien zu einer homogenen Menge – dem sogenannten 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 sogenannten Tageswannen oder Hafenofen erschmolzen, die je nach Bedarf benutzt werden (Buttermann, Hillebrand 2002: 157).

Zum Abschluss der Glasbildung werden durch sogenannte 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 Glasschmelze in einer Arbeitswanne auf die für die Formgebung erforderliche Temperatur ab. Die Verfahren zur Formgebung reichen von verschiedenen Float- und Gussglasverfahren 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 aufgrund 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 zum Vorwärmen 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 dem Vorwärmen der Verbrennungsluft kann aus den immer noch heißen Abgasen weitere Wärme zurückgewonnen werden, die z.B. genutzt werden kann, um den Glassatz vorzuwärmen (VIK 1998: 57-59).

6.4 Die Selbstverpflichtungserklärung

Im April 2008 wurde die bis dahin für das Zieljahr 2005 gültige Selbstverpflichtungserklärung der Glasindustrie erweitert. Hiernach erklärte sich der Bundesverband Glasindustrie stellvertretend für die Glasindustrie bereit, die spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um bis zu 20 % gegenüber 1990 zu verringern. Außer CO₂ werden in der deutschen Glasindustrie keine weiteren Kioto-Gase freigesetzt.

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 CO₂-Emissionen von insgesamt 6,3 Mill. t. Die spezifischen

CO₂-Emissionen betragen 1 071 kg CO₂/t Hüttenglas. Aus der Selbstverpflichtungserklärung leitet sich damit ein Reduktionsziel von 857 kg CO₂/t für 2012 ab.

Übersicht 6.1

Selbstverpflichtung der Glasindustrie

Ziel 2012	Verringerung der spezifischen CO ₂ -Emissionen um bis zu 20 % auf 857 kg CO ₂ /t Hüttenglas.
Basisjahr	1990

Angaben des Bundesverbandes Glasindustrie (BV Glas 2008).

6.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Die Glasindustrie hat bereits seit 1995 die in ihrer Selbstverpflichtungserklärung für 2012 genannte Zielmarke mehrfach überschritten und in den entsprechenden Jahren deutlich geringere spezifische Emissionen als die zugesagten 857 kg CO₂/t Hüttenglas erreicht (Tabelle 6.1 und Schaubild 6.4).

Tabelle 6.1

Spezifische CO₂-Emissionen und Zielerreichungsgrad der Glasindustrie

1990 bis 2012; Ziel 2012: Minderung von 20 % auf 857 kg CO₂/t

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spez. Emissionen (in kg CO ₂ /t)	1 071	834	836	856	794	801	806
Minderung (in %)	-	22,2	21,9	20,0	25,8	25,2	24,8
Zielerreichungsgrad (in %)	-	111	110	100	129	126	124

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

Im Jahr 1995 lagen die spezifischen Emissionen mit 834 kg CO₂/t um mehr als 22 % unter dem Wert des Basisjahres. Bis 2002 konnten allerdings kaum weitere Verbesserungen erzielt werden. Aufgrund der Umstellung der Energiestatistik stiegen die spezifischen Emissionen 2003 auf 896 kg CO₂/t. Damit verbunden war ein deutlicher Rückgang des Zielerreichungsgrades (RWI 2007: 91). 2011 und 2012 stiegen die spezifischen Emissionen im Vergleich zu 2010 um 0,8 bzw. 0,6 % auf 801 bzw. 806 kg CO₂/t. Der Zielerreichungsgrad erreichte 126 bzw. 124 %.

Die absoluten CO₂-Emissionen unterlagen seit 1990 nur geringfügigen Schwankungen und betragen im Durchschnitt rund 6,1 Mill. t pro Jahr – kaum weniger als

im Basisjahr 1990 (Tabelle 6.2). 2009 konnte mit einem Rückgang auf 5,6 Mill. t CO₂ die bislang größte Minderung erreicht werden. Nach einem Anstieg auf 5,9 Mill. t bis 2011 lagen die Emissionen 2012 bei 5,7 Mill. t (-3,5 %). Die CO₂-Emissionen stellen ein perfektes Spiegelbild des Energieverbrauchs dar, wie ein Korrelationskoeffizient von 0,99 für den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und CO₂-Emissionen deutlich zeigt. Der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Produktion ist hingegen nicht ganz so stark ausgeprägt. Ein entsprechender Korrelationskoeffizient von 0,61 zeigt an, dass der Energieverbrauch nicht vollkommen Hand in Hand mit einer wachsenden Produktionsmenge ansteigt.

Tabelle 6.2
Produktion, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Glasindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Produktion, (Mill. t)	5,9	7,2	7,6	6,9	7,2	7,3	7,0
Energieverbrauch, (PJ)	99,9	96,7	103,2	97,0	92,9	96,3	93,1
Emissionen, (Mill. t)	6,3	6,0	6,4	5,9	5,7	5,9	5,7

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 veralteter 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.

Zwischen 1995 und 2002 waren indessen kaum mehr Verbesserungen des spezifischen Energieverbrauchs 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 zeigt der spezifische Verbrauch

wegen der Umstellung der Energieverwendungsstatistik 2003 einen deutlichen Sprung (RWI 2007: 91). Von 2003 bis 2009 ging der spezifische Energieverbrauch um 6,9 % auf 13,5 GJ/t zurück; 2010 sank er auf 13,0 GJ/t. In den Berichtsjahren 2011 und 2012 stieg der spezifische Verbrauch um 1,2 bzw. 0,8 % auf zuletzt 13,2 GJ/t. Dieser Anstieg fiel etwas stärker aus als bei den spezifischen Emissionen (Tabelle 6.1 und 6.3).

Tabelle 6.3
Spezifischer Energieverbrauch und durchschnittliche Emissionen der Glasindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spezifischer Verbrauch, (GJ/t)	17,0	13,4	13,5	14,0	13,0	13,1	13,2
Minderung (in %)	-	21,0	20,4	17,8	23,7	22,8	22,2
Durchschn. Emissionen, (kg CO ₂ /GJ)	63,0	62,1	61,8	61,3	61,3	61,0	61,0
Minderung (in %)	-	1,5	1,9	2,7	2,8	3,1	3,2

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

Seit 1990 sind die spezifischen CO₂-Emissionen um 24,8 % gesunken (Tabelle 6.1). Der spezifische Energieverbrauch hat mit 22,2 % fast in gleichem Maße abgenommen (Tabelle 6.3). Insgesamt scheint es seither kaum CO₂-relevante Veränderungen im Energiemix gegeben zu haben. Die detaillierte Darstellung in Tabelle 6.4 zeigt jedoch, dass sich der Einsatz der verschiedenen Energieträger zwischenzeitlich sehr wohl verändert hat. Bis 2012 blieben die Auswirkungen per Saldo allerdings gering.

Werden Energieträger mit hohem Kohlenstoffgehalt wie Braunkohle durch kohlenstoffarme Brennstoffe wie Erdgas substituiert, verringert sich der spezifische CO₂-Ausstoß. Zwischen 1990 und 2012 nahm der Erdgasverbrauch der Glasindustrie um rund 23 % zu. Vor allem bis 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 Braunkohlenprodukte. Seit 1991 wurden in den alten Bundesländern 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; bis 2012 wurde

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

der Heizöleinsatz auf unter 30 % zurückgefahren (Tabelle 6.4). Leichtes Heizöl und Flüssiggas werden nur in geringem Umfang, Kokereigas seit 2003 ebenfalls nicht mehr eingesetzt. Insgesamt wurden Energieträger mit höherem Emissionsfaktor bis 1995 verstärkt durch Erdgas ersetzt. Dieser Substitutionsprozess wird zwar fortgesetzt, wirkt sich aber nicht mehr so deutlich aus, da gleichzeitig der Einsatz von Erdgas und Strom generell rückläufig ist.

Tabelle 6.4
Veränderung des Energiemix in der Glasindustrie
1990 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Braunkohlenskoks	2,3	-	-	-	-	-	-
Schweres Heizöl	13,0	10,5	9,7	6,4	5,9	5,3	3,7
Leichtes Heizöl	1,5	1,3	1,0	0,4	0,8	0,7	1,1
Erdgas	36,0	43,8	46,7	45,5	44,1	46,9	44,4
Flüssiggas	-	-	-	0,3	0,1	0,2	0,1
Kokereigas	5,7	0,3	0,3	-	-	-	-
Primärbrennstoffe	58,5	55,9	57,7	52,6	50,9	53,1	49,2
Nettofremdstrom	41,3	40,7	45,5	44,5	42,0	43,3	43,9
Energieverbrauch	99,8	96,6	103,2	97,1	92,9	96,3	93,1

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

Der Nettofremdstrombezug hat bis 2008 um 8 % gegenüber 1990 zugenommen. 2009 ging er um fast 10 % zurück und lag damit unter dem Wert von 1990. Bis 2012 stieg der Strombezug wieder auf fast 34 PJ. Sein Anteil am Energieverbrauch stieg seit 1990 – primärenergetisch bewertet – auf 47,2 %. Zusammen hatten Erdgas und Strom 2012 einen Anteil von fast 95 % 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 nachgelagert sind, z.B. in der Weiterverarbeitung und Veredelung.

Ein gegebener Energiemix lässt sich ebenfalls mit Hilfe der durchschnittlichen Emissionen pro Energieeinheit charakterisieren. Diese errechnen sich als Quotienten aus den CO₂-Emissionen und dem Energieverbrauch eines Jahres. Die Bedeu-

tung von Energieträgersubstitutionen für die Minderung der CO₂-Emissionen zeigt sich an der Veränderung der durchschnittlichen Emissionen je Energieeinheit. Der Vorteil dieser Betrachtungsweise liegt darin, dass der Quotient von Schwankungen in der Produktion unbeeinflusst bleibt.

Im Jahr 1990 betragen die durchschnittlichen Emissionen 63,0 kg CO₂/GJ (Tabelle 6.3). Durch die stärkere Nutzung kohlenstoffarmer Brennstoffe sank der Wert bis 1995 um rund 1,5 % auf 62,1 kg CO₂/GJ. Mit 61,0 kg CO₂/GJ in den Jahren 2011 und 2012 unterscheiden sich die durchschnittlichen Emissionen kaum von denen des Jahres 1995. Dies zeigt, dass es seitdem nur eine geringe Substitution von kohlenstoffreichen durch kohlenstoffärmere Energieträger wie Erdgas gegeben hat. Insgesamt lag der Beitrag der Veränderung des Energiemix zur Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen der Glasindustrie zwischen 1990 und 2012 bei 3,2 %, was bezogen auf das Basisjahr einer Minderung um etwa 34 kg CO₂/t entspricht.

Einen wesentlich höheren Beitrag zur Reduzierung des spezifischen CO₂-Ausstoßes haben die Verbesserungen der Energieeffizienz geleistet, wie die folgende Betrachtung zeigt. Die spezifischen Emissionen werden zu diesem Zweck als Produkt aus spezifischem Energieverbrauch und durchschnittlichem CO₂-Ausstoß je Energieeinheit dargestellt. 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 2012 variiert. Als Resultat ergibt sich der Anteil, den die Verbesserung der Energieeffizienz zur erzielten Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen erbracht hat.

In der Glasindustrie sank der spezifische Energieverbrauch seit 1990 um 3,8 GJ/t Hüttenglas von 17,0 auf 13,2 GJ/t im Jahr 2012 (Tabelle 6.3). Multipliziert mit den durchschnittlichen Emissionen des Jahres 1990 von 63 kg CO₂/GJ resultiert aus der Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs bis 2012 eine Minderung der spezifischen Emissionen von 265,2 kg CO₂/t. Gegenüber dem Basisjahr entspricht dies einer Reduktion von mehr als 24,8 %. Bezogen auf die produzierte Menge Hüttenglas im Basisjahr errechnet sich eine CO₂-Minderung gegenüber 1990 von ca. 1,6 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 2000 von 60,8 auf 66,7 % zunahm, sank der Energieverbrauch in diesem Segment von 10,9 auf 10,3 PJ

(Tabelle 6.5). Bis 2006 ging der Altglaseinsatz auf einen Anteil von 61,8 % zurück⁵. 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 2006 in der Behälterglasproduktion eine Einsparung im Bereich von 12,4 und 18,6 %.

Tabelle 6.5
Altglaseinsatz und Energieverbrauch bei der Herstellung von Behälterglas
1990 bis 2006; gerundete Werte

	1995	2000	2005	2006
Produktion Behälterglas (in Mill. t)	4,6	4,3	3,9	3,9
Altglaseinsatz (in Mill. t)	2,8	2,8	2,4	2,4
Anteil Altglas (in %)	60,8	66,7	60,3	61,8
Energieverbrauch Behälterglasproduktion (in PJ)	10,9	10,3	k.A.	k.A.

Nach Angaben des Bundesverbandes Glasindustrie e.V. Aktuellere Angaben waren bei Fertigstellung des Berichts nicht erhältlich (siehe Fußnote).

Summa summarum ist die deutliche Reduzierung der spezifischen CO₂-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 CO₂-Minderung

Im Fortschrittsbericht der Glasindustrie für 2011 und 2012 werden beispielhaft Maßnahmen zur Energieeinsparung mit einem Investitionsvolumen von insgesamt rund 29 Mill. € aufgeführt (BV Glas 2013: 7). Der Schwerpunkt der Maßnahmen liegt

⁵ Aktuellere Daten zum Altglaseinsatz liegen nicht vor. Kartellrechtliche Probleme haben nach Angaben des BV Glas dazu geführt, dass die bisherige Erfassung des Altglaseinsatzes in Deutschland ab 2007 eingestellt werden musste. Alternative Angaben zur Recyclingquote weisen wegen unterschiedlicher Erfassungs- und Berechnungsmethoden große Abweichungen zu den bisherigen Daten auf und sind nur mit großer zeitlicher Verzögerung verfügbar.

in der Optimierung der Prozessabläufe und – aufgrund der hohen Prozesstemperaturen – in der verstärkten Abwärmenutzung (VIK 1998: 58).

Die Schmelzprozesse in der Glasindustrie wurden in der Vergangenheit so weit optimiert, dass die vorhandenen Einsparpotenziale in der Glasschmelze weitgehend ausgeschöpft sind (BV Glas 2013: 1-2). 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).

Tabelle 6.6
Wannenhauptreparaturen
2000 bis 2012

	2000	2005	2010	2011	2012
Anzahl	13	11	6	6	7
Anteil an gesamter installierter Schmelzleistung (in %)	11,0	14,6	5,1	4,7	4,6
Investitionen (in Mill. €)	148	200	118	90	105

Nach Angaben des Bundesverbandes Glasindustrie e.V.

Schmelzwannen weisen mit zunehmender Nutzungsdauer Alterserscheinungen auf, die mit einem steigenden Energieverbrauch verbunden sind. Daher werden sie in Abständen von 8 bis 12 Jahren einer sogenannten Wannenhauptreparatur unterzogen. Während der zwei- bis dreimonatigen Erneuerung der Wanne ruht die Produktion. Die in der sich anschließenden Anlaufphase 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.

Insgesamt wurden 2011 und 2012 in der Glasindustrie sieben 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.

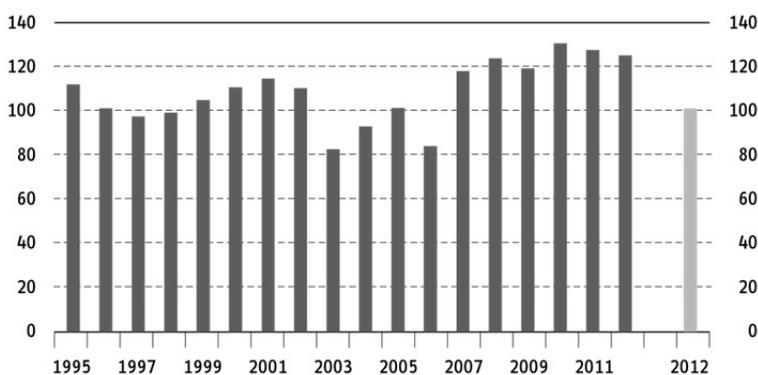
Durch Maßnahmen zur Abwärmenutzung werden mittlerweile über 90 % der Abwärme für den Glasschmelzprozess zurückgewonnen (BV Glas 2013: 2). Der Rest

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).

6.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die bislang erzielten Erfolge bei der Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen wurden größtenteils zwischen 1990 und 1995 erzielt, vor allem durch die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs. Nach Informationen des BV Glas ist für die CO₂-Minderung bis 1995 neben der Energieträgersubstitution, der Verbesserung bei der Brennertechnologie der Schmelzwanne 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 hinzu gebaut sowie die Wannenschmelzfläche im Rahmen von Hauptreparaturen erhöht.

Schaubild 6.4
Zielerreichungsgrad in der Glasindustrie für 2012
1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Dies alles hat maßgeblich dazu beigetragen, die Energieeffizienz zu steigern und den Ausstoß von Kohlendioxid zu verringern. Dadurch hat die Glasindustrie das in ihrer Selbstverpflichtungserklärung proklamierte Ziel einer Senkung der spezifi-

schen CO₂-Emissionen um 20 % auf maximal 857 kg CO₂/t bis zum Jahr 2012 bereits frühzeitig und wiederholt erreicht (Schaubild 6.4).

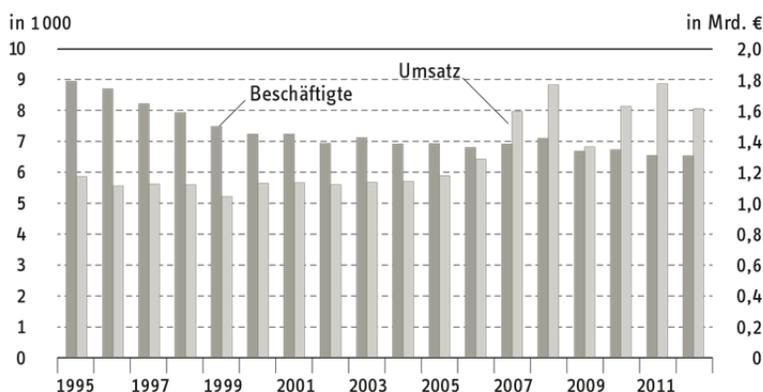
Weitere Verbesserungen dürften allerdings schwer fallen, da die Produktionsprozesse, insbesondere die Nutzung von Abwärme bei den Schmelzprozessen, weitgehend optimiert sind. Auch der Wandel des Energiemix zugunsten kohlenstoffarmer Brennstoffe wie Erdgas bietet angesichts eines Anteils von 90 % am Primärbrennstoffverbrauch nur noch einen begrenzten Spielraum für Emissionsminderungen.

Die zukünftige Entwicklung der CO₂-Emissionen wird vor allem 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. Durch einen geringeren Einsatz von Altglasscherben werden mehr Primärrohstoffe und mehr Energie benötigt, was letztlich sowohl zu absolut als auch zu spezifisch höheren CO₂-Emissionen führen dürfte (BV Glas 2004a: 9).

7. Die Feuerfest-Industrie

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.

Schaubild 7.1
Umsatz und Beschäftigung der Feuerfest-Industrie
1995 bis 2012



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

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).

Die deutsche Feuerfestindustrie besteht vornehmlich aus kleinen und mittleren Unternehmen. Für 2012 weist das Statistische Bundesamt 60 Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten aus. Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes setzte die

Feuerfestindustrie 2012 Produkte im Wert von rund 1,61 Mrd. € um. Etwa 60 % der Erlöse wurden durch Verkäufe ins Ausland erwirtschaftet. Zwischen 1995 und 2005 lag der Umsatz der Branche in einer Größenordnung von 1,0 bis 1,2 Mrd. €. Seit 2006 konnten deutliche Zuwächse erzielt werden, sodass der Umsatz 2008 um mehr als 52 % über dem Wert von 1995 lag. Allerdings spiegeln sich in diesem Zuwachs nach Informationen des Verbandes vor allem die stark gestiegenen Energie- und Rohstoffkosten und weniger Veränderungen der produzierten Menge wieder. Wie in vielen anderen Branchen, hat die Wirtschafts- und Finanzkrise 2009 auch in der Feuerfest-Industrie die Umsatzentwicklung geprägt: Dieser sank um fast 23 % auf knapp 1,3 Mrd. €. Bis 2011 erfolgte wieder ein Anstieg um 19,3 % auf fast 1,8 Mrd. €. 2012 lag der Umsatz mit 1,6 Mrd. € auf dem Niveau von 2010.

Die Beschäftigungsentwicklung ist dagegen seit 1995 deutlich zurückgegangen: Von einstmals fast 9 000 Personen im Jahr 1995 sank die Zahl der Beschäftigten bis 2002 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes um gut 23 % auf rund 6 900 Arbeitnehmer (Schaubild 7.1) Bis 2008 lag die Zahl der Beschäftigten bei rund 7 000 Personen. Seither ist ein weiterer Rückgang zu verzeichnen. 2011 und 2012 waren rund 6 500 Personen in der Feuerfestindustrie tätig.

7.1 Datenbasis

Die Branche wird vertreten durch den Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V. Dieser erhebt derzeit vierteljährlich im Rahmen der Verbandsstatistik den Energieverbrauch und die Produktion seiner Mitgliedsunternehmen. Darüber hinaus werden diese Ziffern für das CO₂-Monitoring jährlich auch bei Nicht-Mitgliedern erfragt.

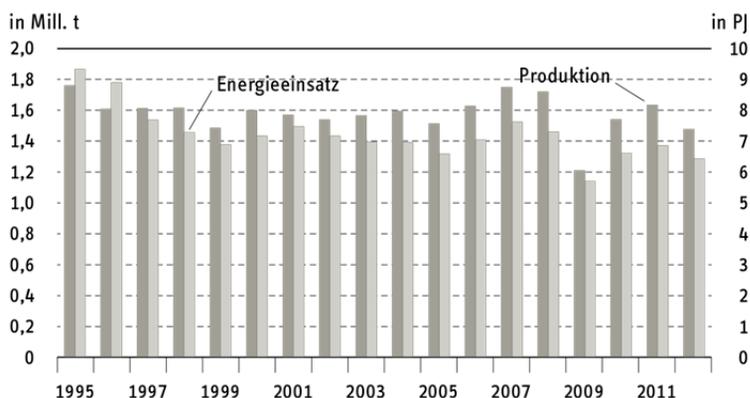
Das Statistische Bundesamt führt die Feuerfestindustrie seit 2009 mit dem Inkrafttreten der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008) unter der Kennziffer 23.2 („Herstellung von feuerfesten keramischen Werkstoffen und Waren“). Es veröffentlicht ebenfalls regelmäßig Angaben hinsichtlich Produktion, Umsatz und Beschäftigung sowie Energieverbrauch. Die Umstellung und Neuorganisation der Energieverwendungsstatistik hat ab 2003 dazu geführt, dass eine Vielzahl an 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 seit 2003 nicht mehr möglich.

Nach eigenen Angaben repräsentiert die Verbandserhebung 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 seit 2003 vom Statistischen Bundesamt keine vollständigen Daten zum Energieverbrauch der Feuerfestindustrie vorliegen, werden die Verbrauchsangaben des Verbandes auf der Basis der jährlichen Produktionsmenge hochgerechnet. Eine Gegenüberstellung der Produktionskennziffern der beiden Datenquellen ergibt seit 2005 eine tatsächliche Abdeckung durch den Verband von rund 75 %. 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 die hochgerechneten Werte angegeben. Die für die freiwillige Selbstverpflichtung maßgeblichen Angaben für den spezifischen Energieverbrauch und die spezifischen Emissionen beruhen dagegen auf den Angaben des Verbandes.

Schaubild 7.2
Produktion und Energieverbrauch in der Feuerfest-Industrie
1995 bis 2012



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

7.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Produktion feuerfester Erzeugnisse lag 2011 und 2012 bei rund 1,64 bzw. 1,48 Mill. Tonnen (Schaubild 7.2). Von 1995 bis 2005 hat die Produktion um rund 14 % 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). Durch den Boom in der Eisen- und Stahlindustrie stieg die Produktion bis 2007 jährlich um 7,5 % auf fast 1,8 Mill. t und erreichte damit wieder das Niveau von 1995. Dieses Wachstum führte zwar auch zu einem höheren Energieverbrauch, dieser wuchs jedoch weitaus langsamer als die Produktion. 2008 lag der Energieverbrauch bei rund 7,3 PJ und damit um fast 22 % unter dem Wert von 1995 mit 9,3 PJ (Tabelle 7.1). Im Zuge der Wirtschaftskrise sank die Produktion 2009 um fast 30 % auf rund 1,2 Mill. t. Da sich die Öfen der Feuerfest-Industrie nicht stufenlos der zu brennenden Menge anpassen lassen, ging der Energieverbrauch mit rund 22 % weniger stark zurück. Bis 2011 erholte sich die Produktion um fast 35 % auf 1,64 Mill. t. Der Energieverbrauch nahm dagegen mit einem Anstieg um 21 % auf 6,9 PJ weniger stark zu. 2012 war ein Produktionsrückgang von 9,5 % auf 1,48 Mill. t zu verzeichnen, der Energieverbrauch sank erneut weniger stark um 6,3 % auf 6,4 PJ.

Der Energiebedarf der Feuerfest-Industrie wird zu etwa zwei Dritteln durch Erdgas und einem Drittel mit Strom gedeckt (Tabelle 7.4). Andere Energieträger haben nur eine untergeordnete Bedeutung.

Tabelle 7.1
Produktion und Energieverbrauch in der Feuerfest-Industrie
1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Produktion, Mill. t	1,98	1,76	1,60	1,52	1,54	1,64	1,48
Energieverbrauch in PJ	12,4	9,3	7,2	6,7	6,6	6,9	6,4
Spez. Verbrauch in GJ/t	6,3	5,3	4,5	4,4	4,3	4,2	4,4

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

Der Zusammenhang zwischen Produktion und Energieverbrauch hat sich seit 1995 deutlich entkoppelt. In den meisten Jahren blieb die Entwicklung des Energieverbrauchs hinter der Produktionsentwicklung zurück (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 2008 verminderte er sich auf 4,3 GJ/t. Die deutlich schlechtere Auslastung der Produktionskapazitäten in Folge der wirtschaftlichen Entwicklung führte 2009 dazu, dass der spezifische Energieverbrauch vorübergehend auf 4,7 GJ/t stieg. 2011 und 2012 lag er bei 4,2 bzw. 4,4 GJ/t.

7.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Grundsätzlich lassen sich vier Arten von feuerfesten Erzeugnissen unterscheiden: geformte und ungeformte Erzeugnisse, sogenannte 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 2012 in Deutschland bei rund 57 % (StaBuA/FS4/R3.1 2012). Unter *ungeformten feuerfesten Erzeugnissen* 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, mineralischer Rohstoffe wie Quarzit und anderer Rohstoffe z.B. Schamotte oder Sinterbauxit. Dabei werden die Stoffe zerkleinert und gesiebt. Für ungeformte feuerfeste Erzeugnisse endet der Produktionsprozess nach Zugabe der oben erwähnten Bindemittel 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 Brantguts 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

In ihrer aktualisierten Selbstverpflichtungserklärung vom Dezember 2000 hat die Feuerfestindustrie sich bereit erklärt, ihre spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um

35 % zu senken. Andere Treibhausgase sind nach Verbandsangaben für den Wirtschaftszweig nicht relevant. Auf Basis der vom Industrieverband gemeldeten spezifischen Emissionen für 1990 in Höhe von 390 kg CO₂/t ergibt sich für 2012 ein Zielwert von 254 kg CO₂/t. Übersicht 7.1 fasst die Angaben zusammen.

Übersicht 7.1

Selbstverpflichtung der Feuerfest-Industrie

Ziel 2012 Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen um 35 % in Bezug auf das Basisjahr 1990 (entspricht einem Zielwert von 254 kg CO₂/t).

Basisjahr 1990

Nach Angaben des Verbandes der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V. (Feuerfest 2000).

Der Verband knüpft seine Zusage an zwei Voraussetzungen: Zum einen wird erwartet, dass die Feuerfestindustrie zukünftig nicht „durch fiskalische Maßnahmen belastet wird“ (Feuerfest 2000: 3). Darunter versteht der Verband verschärfte Umweltauflagen, welche die Installation von „Absaug-, Filter-, Reinigungs- und Abgasanlagen“ erfordern (Feuerfest 2005). Solche erzwungenen Investitionen würden nach Angaben des Industrieverbandes finanzielle Mittel binden, die dann nicht mehr für Maßnahmen zur CO₂-Emissionsminderung zur Verfügung stünden. Zudem lehnt der Verband die geplante Einführung zertifizierter Energie-Managementsysteme aus Kostengründen ab (Feuerfest 2008: 3).

Ferner verpflichtet sich der Verband zur Einhaltung der Reduktionsziele vorbehaltlich einer „günstigen Kapazitätsauslastung“ (Feuerfest 2000, 2005, 2010). Nach Angaben des Verbandes lag die gewichtete Überkapazität bei geformten und ungeformten Erzeugnissen bei seinen Mitgliedern in den Jahren 2011 und 2012 bei rund 20 bzw. 36 %, d.h. die vorhandenen Kapazitäten wurden nur zu 80 bzw. 64 % ausgelastet. Bei den für den Brennvorgang relevanten geformten Erzeugnissen gab es eine Überkapazität von rund 15,2 bzw. 32,2 % (Feuerfest 2013b). Die energieintensiven Anlagen wurden somit 2011 zu fast 85 %, 2012 jedoch nur zu rund 68 % ausgelastet. Während 2011 eine deutliche Verbesserung gegenüber 2010 erreicht werden konnte, lagen die Überkapazität 2012 ähnlichen hoch wie im Jahr der Wirtschaftskrise 2009 mit 36,2 %.

7.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Die spezifischen CO₂-Emissionen der Feuerfestindustrie lagen 2011 bei 247 kg CO₂/t, 2012 stiegen sie auf 256 kg CO₂/t (Tabelle 7.2). Im Zeitablauf kam es mitunter zu größeren Schwankungen im spezifischen Schadstoffausstoß. Im Jahre 1996 wurden beispielsweise 329 kg CO₂/t emittiert, was im Vergleich zu 1995 einer Steigerung von 4,1 % entspricht (RWI 2005: 108). Zunahmen waren auch in

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

den Jahren 1999 und 2001 zu verzeichnen. Seit 2002 sind die spezifischen Emissionen dagegen deutlich gesunken. 2011 wurde mit 247 kg CO₂/t der bislang niedrigste Wert erreicht, 2012 lag er mit 256 kg CO₂/t erneut auf dem Niveau von 2005.

Tabelle 7.2

Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionen in der Feuerfest-Industrie

1990 bis 2012; gerundete Werte; Minderungsziel spezifische CO₂-Emissionen: -35 % bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Emissionen in kg CO ₂ /t	390	316	265	257	253	247	256
Reduktion in %	-	19,0	32,0	34,1	35,1	36,7	34,4
Zielerreichungsgrad in %	-	54,2	91,5	97,3	100,3	104,7	98,4

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

Gegenüber 1990 konnten die spezifischen Emissionen bis 2011 um gut 37 % vermindert werden. Das Ziel für 2012, die CO₂-Minderung um 35 % zu vermindern, wurde damit erneut erreicht (Tabelle 7.2). 2012 blieben die spezifischen Emissionen dagegen knapp unter der Zielmarke.

Tabelle 7.3

Entwicklung der absoluten CO₂-Emissionen in der Feuerfest-Industrie

1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Emissionen in 1 000 t	773	557	425	390	391	404	379
Reduktion in %	-	28	45	50	49,5	47,7	51,0

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

Unter Berücksichtigung der vom Statistischen Bundesamt ausgewiesenen Produktionsmenge ergibt sich durch Multiplikation mit den spezifischen Emissionen für 2011 und 2012 eine Emissionsmenge von 0,404 bzw. 0,379 Mill. t (Tabelle 7.3). 1990 wurde noch etwa die doppelte Menge emittiert.

7.6 Ursachenanalyse

Spezifische CO₂-Emissionen können generell durch zwei Maßnahmen reduziert werden: Durch eine effizientere Energienutzung und durch Substitution kohlenstoffreicher Energieträger. Im Basisjahr 1990 wurden industrieweit rund 12,4 PJ an Energie verbraucht⁶, von denen rund 5 % aus kohlenstoffreicher Braunkohle gewonnen wurde. 1995 wurde dieser Energieträger nur noch in sehr geringen Mengen verwendet. Dieselbe Entwicklung ist für schweres und leichtes Heizöl festzustellen. 1990 trug die Ölverfeuerung 6 % zur Energiegewinnung bei, seit 2000 ist es lediglich noch 1 % (Tabelle 7.4).

Tabelle 7.4
Energiemix der Feuerfest-Industrie
 1990 bis 2012; in %; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Rohbraunkohle	3	-	-	-	-	-	-
Braunkohlenbriketts	2	0	0	-	-	-	-
Schweres Heizöl	2	1	0	-	0	0	0
Leichtes Heizöl	4	4	1	1	1	0	0
Erdgas	61	62	63	62	64	66	66
Kokereigas	1	1	0	0	-	-	-
Strom	27	32	35	37	35	34	33

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

Der hohe Erdgasanteil rührt daher, dass die Feuerfest-Industrie nach eigenen Angaben bereits in den 1980er Jahren ihre Brennöfen verstärkt auf diesen kohlenstoffarmen Energieträger umgestellt hat (Feuerfest 2000). 1990 hatte Erdgas bereits einen Anteil von 61,0 % am Energieverbrauch. Dieser stieg bis 2011 und 2012 auf rund 66 %. Der Anteil von Strom lag 1990 bei 27,1 % und stieg bis 2011 und 2012 auf 34 bzw. 33 %. 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

⁶ Der in früheren Monitoringberichten ausgewiesene Wert von 13,3 PJ für 1990 wurde aufgrund aktualisierter Daten des Verbandes korrigiert.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

den Einsatz elektrisch betriebener Absaug-, Filter- und Reinigungsanlagen (Feuerfest 2000).

Die Bedeutung der Substitution von Energieträgern zeigt sich an der Veränderung der CO₂-Intensität des verwendeten Energiemixes, gemessen als Verhältnis der emittierten CO₂-Menge in kg zur eingesetzten Energiemenge in GJ. 1990 wurden nach Verbandsangaben noch durchschnittlich 62 kg CO₂/GJ emittiert. Dieser Wert lag 2012 bei 58,8 kg CO₂/GJ. Unter Berücksichtigung der hochgerechneten Gesamtenergiemenge von 1990 in Höhe von 12,4 PJ entspricht diese Reduktion um 3,3 kg CO₂/GJ einem Einsparvolumen von etwa 31 300 t CO₂ allein aus der Energieträgersubstitution.

Weitaus bedeutender für die Reduzierung der spezifischen Emissionen war indes die Steigerung der Energieeffizienz. Von 1990 bis 2012 konnte der spezifische CO₂-Ausstoß um gut 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, also um 30,2 % (Tabelle 7.1). Die Effizienzsteigerung beläuft sich somit auf 1,9 GJ/t. Durch Multiplikation mit den 1990 emittierten 62 kg CO₂/GJ ergibt sich daraus eine Minderung der spezifischen Emissionen um ca. 118 kg CO₂/t, bzw. um rund 30,3 %.

Sowohl die Energieeffizienz als auch die spezifischen CO₂-Emissionen der Feuerfest-Industrie sind sehr stark vom Auslastungsgrad der installierten Produktionsanlagen abhängig. So sank nach Angaben des Statistischen Bundesamtes die Produktionsmenge 1996 um 8,6 %, mit der Folge, dass die spezifischen CO₂-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 (RWI 2005: 108-109). Der Rückgang der Produktion feuerfester Erzeugnisse von fast 30 % ließ die spezifischen Emissionen 2009 um fast 11 % steigen. 2012 stiegen sie um 3,5 %, als die Produktion um 9,5 % zurückging und der Auslastungsgrad sich verschlechterte.

Der Verband der Feuerfestindustrie erhebt seit 2002 Angaben zu den Überkapazitäten der Mitgliedsunternehmen. Hiernach wurden die Produktionskapazitäten 2009 und 2012 nur zu rund 64 % ausgelastet, die Überkapazitäten stiegen mit etwa 36 % auf die seit 2003 höchsten Werte (Feuerfest 2013b). Die geringere Auslastung hat – auch wenn dies hier im Einzelnen nicht quantifiziert werden kann – einen deutlichen Beitrag zur Verschlechterung der Energieeffizienz geleistet. 2011 lag die Überkapazität mit 20 % zwar niedriger, aber immer noch deutlich über der der Aufschwungjahre 2006 bis 2008.

7.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die im aktuellen Fortschrittsbericht des Industrieverbandes geschilderten Maßnahmen zur Emissionsreduktion wurden durch eine Befragung seiner Mitgliedsunternehmen sowie weiterer am Monitoring beteiligter Unternehmen erhoben (Feuerfest 2013a). Insgesamt werden 14 Einzelmaßnahmen zur Optimierung der Produktionskette aufgeführt, die Einsparungen im Energieverbrauch hervorgebracht haben:

- Erhöhung der Brennlufttemperatur
- Umrüstung von Tunnelofenwagen mit leichten Bauteilen
- Nutzung der Abwärme der Tunnelöfen für Heizzwecke im Absetzbereich
- Schubzeitoptimierung
- Errichtung einer Wärmerückgewinnungsanlage
- Je zwei neue energieeffizientere Motoren für sieben Trockenkammern
- Inbetriebnahme von Photovoltaikanlagen zur Eigeneinspeisung
- Einbau energiesparender Pumpen
- Optimierung Entstaubungsanlage
- Leckagenprüfung für Druckluft
- Einführung eines Energieeffizienzanalysystems
- Energieoptimierte Kornaufbereitung
- Effizientere Elektroausrüstungen
- Einsatz effizienterer Leuchtmittel

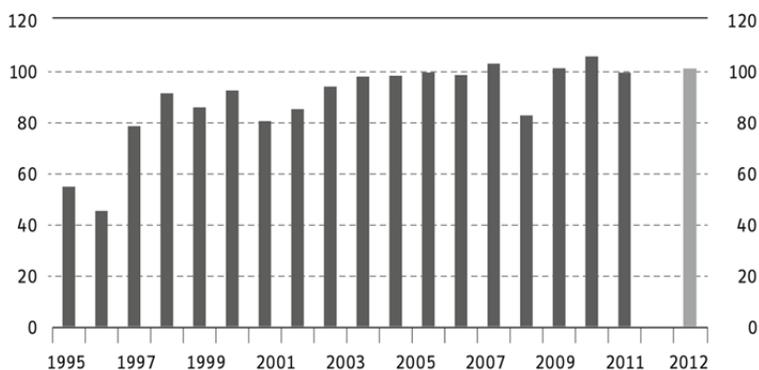
Allerdings fehlen Angaben zu den erzielten Einsparserfolgen.

Mit dem Einsatz von Photovoltaikanlagen wurde nicht der eigentliche Produktionsprozess energieeffizienter gestaltet, sondern es wurde Fremdstrom durch CO₂-neutral erzeugten Strom substituiert. Für das Monitoring verringert dies den CO₂-Ausstoß indirekt, da Solarstrom nicht Gegenstand des Monitorings ist.

7.8 Bewertung

Die Feuerfest-Industrie hat ihre spezifischen Emissionen seit 1990 erheblich reduzieren können. 2011 lag der Zielerreichungsgrad bei 104,7 % und damit über dem Wert von 2010 von rund 100 %. Es gelang ihr nach 2008 zum dritten Mal die Zielvorgabe für 2012, die spezifischen CO₂-Emissionen um 35 % gegenüber 1990 zu mindern, zu erreichen. (Schaubild 7.3). 2012 wurde das Ziel dagegen mit 98,4 % nur knapp verfehlt.

Schaubild 7.3
Zielerreichungsgrad der Feuerfestindustrie für 2012
1995 bis 2012



Eigene Berechnungen.

Für eine weitere Steigerung des Zielerreichungsgrades durch Substitution kohlenstoffreicher Energieträger gibt es in der Feuerfest-Industrie kaum noch Spielraum. Das kohlenstoffarme Erdgas hatte 2011 und 2012 bereits einen Anteil von 99,2 % am fossilen Brennstoffverbrauch. Ein weiter wachsender Anteil des Stromverbrauchs hätte im Gegenteil sogar ein Ansteigen der spezifischen CO₂-Emissionen zur Folge. Weitere Einsparungen beim Energieverbrauch und damit bei den CO₂-Emissionen sind daher vermutlich nur durch weitere Verbesserungen der Ofentechnik und Maßnahmen zur Optimierung des Produktionsablaufs zu erreichen.

Einen substanziellen Einfluss auf die Zielerreichung hat dabei die Kapazitätsauslastung. Die Feuerfest-Industrie hängt in hohem Maße von der wirtschaftlichen Situation der Eisen- und Stahlindustrie ab. Der Einbruch des Welthandels hat 2009 zu einem deutlichen Produktionsrückgang in der stark exportorientierten Feuerfestindustrie geführt. Allein die Rohstahl-Erzeugung in Europa ist um 30 % gesunken (Feuerfest 2010). Das Produktionsniveau vor der Krise wurde bislang nicht wieder erreicht. In den Berichtsjahren 2011 und 2012 hat die Produktion der energieintensiven Herstellung gebrannter feuerfester Erzeugnisse stetig abgenommen (Feuerfest 2013a).

Die verringerte Produktion hat trotz Kapazitätsabbau jedoch dazu geführt, dass die kontinuierlich arbeitenden Brennaggregate nicht mehr optimal betrieben werden konnten. Um die verbliebene Produktion sicher zu stellen, mussten die Tunnelöfen mit sogenanntem Blindbesatz gefahren werden (Feuerfest 2009a). Sowohl der

spezifische Energieverbrauch als auch die spezifischen Emissionen sind hierdurch gestiegen.

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. Die wirtschaftliche Entwicklung der Branche ist eng mit der deutschen Baukonjunktur verbunden und hat mit dem steigenden Wettbewerb aus Drittstaaten wie China und Brasilien zu kämpfen.

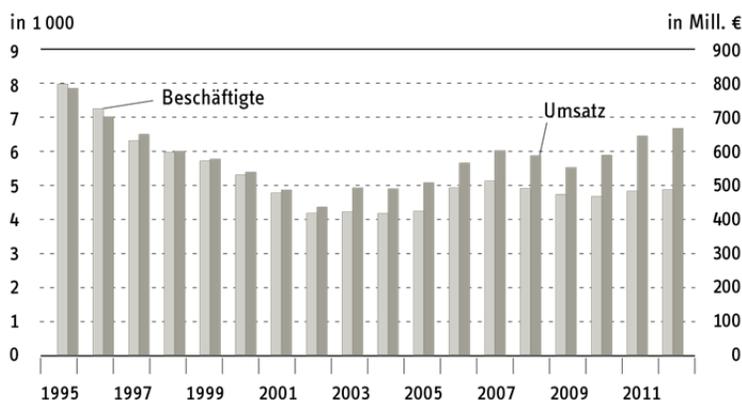
Die Branche gehört zu den eher kleinen Zweigen innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes. Ihr Umsatz betrug 2012 rund 655 Mill. € und sie beschäftigte insgesamt 4 784 Personen (Schaubild 8.1). 2012 betrug der Anteil dieser Industrie am Umsatz des gesamten Verarbeitenden Gewerbes lediglich knapp 0,04 %.

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 11 Mitgliedsunternehmen mit zusammen 14 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 in der Systematik der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008) unter der Kennziffer 23.31 („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 zum 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 Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs mit Hilfe eines durchschnittlichen Fliesengewichts, gemessen in kg/m², in Tonnen umgerechnet.

Schaubild 8.1
Umsatz und Beschäftigung der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
 1995 bis 2012



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes.

2011 und 2012 gehörten nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 29 Betriebsstätten mit 20 und mehr Beschäftigten 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.

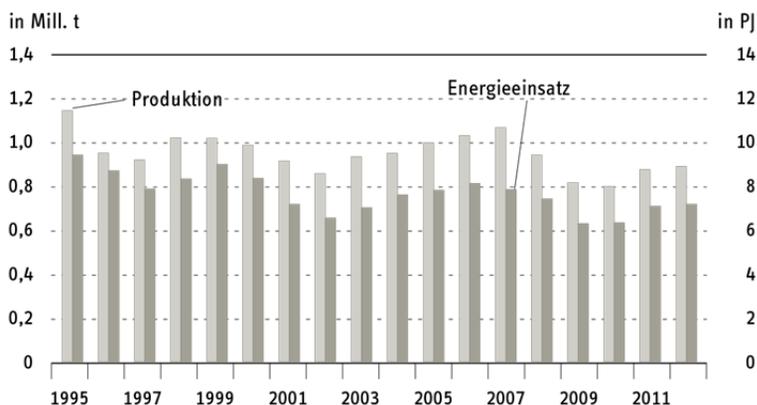
8.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten befindet sich seit 1990 tendenziell auf einer Talfahrt (Schaubild 8.2). Wurden im Basisjahr 1990 noch gut 1,24 Mill. t Ware produziert, sank dieser Wert bis 2002 auf 0,86 Mill. t. Nachdem die Produktion bis 2007 wieder um mehr als ein Viertel auf knapp 1,1 Mill. t wuchs, ging sie bis 2010 erneut um gut 25 % auf 0,8 Mill. t zurück. In den beiden Berichtsjahren ist wieder ein leichter Anstieg der Produktion feststellbar, bis 2012 um rund 11 % auf knapp 0,9 Mill. Tonnen. Alles in allem hat diese Industrie seit 1990 einen Produktionsrückgang von 28 % zu verkraften.

Mit dem Schrumpfungsprozess ging ein sinkender Energieverbrauch einher. Der Gesamtverbrauch an Energie verringerte sich von einstmals 12 PJ im Jahr 1990 auf 6,6 PJ im Jahr 2002. Dies entspricht einer Reduktion von mehr als 45 % (Schaubild 8.3).

bild 8.2). Bis 2007 stieg der Energieverbrauch wieder auf 7,9 PJ. Mit einem Anstieg um 19,7 % wuchs er jedoch deutlich langsamer als die Produktion. Zwischen 2007 und 2010 verringerte sich der Energieeinsatz um 19,8 % auf 6,3 PJ zurück und sank damit schwächer als die Produktion. 2011 und 2012 nahm er um 11,9 bzw. 1,3 % auf 7,2 PJ zu. Während die Produktion 2011 mit 9,6 % langsamer wuchs als der Energieverbrauch, nahm sie 2012 mit 1,6 % etwas mehr zu. Gegenüber dem Basisjahr konnte der Energieverbrauch um gut 40 % gesenkt werden.

Schaubild 8.2
Produktion und Energieverbrauch der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
 1995 bis 2012



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

Der Gesamtumsatz der Branche ist zwischen 1995 und 2002 deutlich zurückgegangen. Wurden 1995 noch etwa 771 Mill. € an Umsatz erzielt, waren es 2002 nur noch knapp 428 Mill. € (Schaubild 8.1). Erst die seit 2003 gestiegene Nachfrage ließ den Umsatz bis 2007 wieder auf rund 591 Mill. € steigen. Die Wirtschaftskrise führte 2009 zu einem Umsatzrückgang auf 542 Mill. €. Bis 2012 konnte der Umsatz auf 655 Mill. € gesteigert werden. Begleitet wurde die wirtschaftliche Entwicklung der Branche von Betriebsschließungen und einem Beschäftigungsabbau: Lag die Zahl der Beschäftigten 1995 noch bei 7 839 Personen, so waren es 2002 noch rund 4 100 Personen. Zwischen 2005 und 2007 hat die Zahl der Beschäftigten wieder zugenommen auf 5 036 Personen. Bis 2012 sank sie auf 4 784 Personen.

Mit einer Energieintensität von rund 8,1 GJ/t im Jahr 2010 gehört die Industrie der keramischen Fliesen und Platten zu den energieintensiven Sektoren. Die Energieintensität liegt noch über dem Wert für die Feuerfest-Industrie (4,3 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 strapazierfähiger 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.⁷ 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 sogenannten *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

⁷ Neben dem dargestellten sogenannten 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.

Formteile, Spaltplatten und sonstige dickere keramische Fliesen und Platten dagegen häufig in Tunnelöfen oder Kammeröfen hergestellt. 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 (Löbke 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 CO₂-Emissionen je produzierter Tonne Fliesen und Platten* in zwei Etappen angestrebt. Bis 2005 verpflichtete sich die Industrie der keramischen Fliesen und Platten ihren spezifischen CO₂-Ausstoß gegenüber 1990 um 22-26 % zu reduzieren. Auf Basis der spezifischen Emissionsmenge von 567 kg CO₂/t im Jahre 1990 ergab sich für 2005 ein Ziel-Korridor von 420 kg bis maximal 442 kg CO₂/t. Der untere Zielwert wurde bis 2005 zu 89 % erreicht. Zudem sollen bis 2012 die spezifischen Emissionen möglichst bis zu 30 % gegenüber 1990, auf nicht mehr als 397 kg CO₂/t reduziert werden.

Übersicht 8.1

Selbstverpflichtung der Industrie der keramischen Fliesen und Platten

Ziel 2012 Verringerung der spezifischen CO₂-Emissionen möglichst um bis zu 30 % gegenüber 1990 auf maximal 397 kg CO₂/t.

Basisjahr 1990

Nach Angaben des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e.V. (Fliesenverband 2000).

8.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Für die spezifischen Emissionen in der Industrie der keramischen Fliesen und Platten lässt sich bis 2007 eine deutlich sinkende Tendenz erkennen (RWI 2009: 117). Zwischen 1990 und 1995 konnte der Klimagasausstoß auf 481 kg CO₂/t zurückgeführt werden (Tabelle 8.1). Nachdem die spezifischen Emissionen in den Jahren 1996 und 1999 auf 534 bzw. 512 kg CO₂/t stiegen (RWI 2005: 116), konnten sie bis 2007 auf 430 kg CO₂/t reduziert werden. Seit 2008 sind erneut tendenziell steigende spezifische Emissionen festzustellen. 2011 lag der spezifische CO₂-Ausstoß bei 473, 2012 bei 472 kg CO₂/t.

Tabelle 8.1
Spezifische CO₂-Emissionen der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
 1990 bis 2012; Ziel bis 2012: -30 %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spezifische CO ₂ -Emission (in kg/t)	567	481	494	457	464	473	472
Reduktion (in %)	-	15,2	12,9	19,5	18,2	16,6	16,7
Zielerreichungsgrad für 2012 (in %)	-	50,8	43,0	65,1	60,7	55,3	55,7

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

8.6 Ursachenanalyse

Eine Reduzierung der spezifischen CO₂-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.

Tabelle 8.2
Energiemix der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
 1990 bis 2012; gerundeter Anteil der Energieträger am Gesamtverbrauch in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Leichtes Heizöl	0,5	0,4	0,1	-	-	-	-
Erdgas	71,0	71,0	71,9	71,8	69,7	70,1	69,3
Strom	28,4	28,6	28,1	28,2	30,3	29,9	30,7

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

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 CO₂-Emissionen pro GJ, die den jeweiligen Energiemix widerspiegeln, seit 1990 nahezu unverändert bei einem Wert von 58,4 kg CO₂/GJ liegen. Gleichwohl hat der frühe Wechsel zum Erdgas den Einsatz moderner Tech-

nologien ermöglicht, die den Energieeinsatz besser steuerbar machen und damit die Grundlage für eine weitere Optimierung bilden.

Anpassungen der Produktpalette zur Verringerung von CO₂-Emissionen scheiden ebenfalls aus. Hier hält die Tendenz am Markt hin zu Feinsteinzeug, größeren Formaten sowie dickeren Fliesen im gewerblichen Bereich an, der sich die deutschen Hersteller nicht entziehen können und deshalb ihre Produktion entsprechend angepasst haben (Fliesenverband 2009: 1). Da Steinzeug bei höheren Temperaturen gebrannt wird als Steingut, ist diese Entwicklung mit einem steigenden Energiebedarf verbunden.

Die Energieeffizienz insgesamt konnte dagegen weiter gesteigert werden. Bis 2007 sank der spezifische Energieverbrauch auf 7,4 GJ/t (RWI 2009: 119; Tabelle 8.3), stieg danach allerdings wieder auf 8,1 GJ/t in den Jahren 2011 und 2012. Gegenüber 1990 errechnet sich bis 2012 eine Minderung um 16,9 %. Verbesserungen der Energieeffizienz wurden in der Vergangenheit vor allem durch Kapazitätsanpassungen und die Modernisierung der Produktionsanlagen begünstigt. Geringere Kapazitäten waren daher eine wesentliche Ursache für die Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen.

Tabelle 8.3
Spezifischer Energieverbrauch der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spezifischer Energieverbrauch (in GJ/t)	9,7	8,2	8,5	7,8	7,9	8,1	8,1
Minderung (in %)	15,2	5,7	12,7	19,3	18,4	16,7	16,9

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

In welchem Umfang die höhere Energieeffizienz seit 1990 zum Rückgang der spezifischen Emissionen beigetragen hat, lässt sich durch folgende Berechnung belegen: Die spezifischen CO₂-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 CO₂/GJ mit dem spezifischen Energieverbrauch im Jahre 2012 multipliziert, ergeben sich für 2012 fiktive spezifische CO₂-Emissionen in Höhe von 471 kg CO₂/t. Das Resultat stimmt weitgehend mit dem tatsächlichen Wert für die spezifischen Emissionen überein (Tabelle 8.1). Damit ist die Reduktion des spezifi-

schen CO₂-Ausstoßes bis 2012 in erster Linie auf die Verbesserung der Energieeffizienz zurückzuführen.

8.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die Unternehmen der Branche waren in den Berichtsjahren 2011 und 2012 bestrebt, die Effizienzverluste, die sich aus dem Anstieg der Produktion ergeben haben, durch energetische Maßnahmen möglichst gering zu halten. Allerdings war der Spielraum für entsprechende Investitionen gering. In seinem Fortschrittsbericht für die beiden Berichtsjahre verweist der Fliesenverband zudem darauf, dass der Trend zu energetisch aufwendigerem Feinsteinzeug unverändert anhält. Um die Energieeffizienz zu steigern, wurden Maßnahmen zur Verbesserung des Energiemanagements, zur Optimierung der Produktkontrolle und zum Ausbau der Wärmerückgewinnung sowie zum Austausch von Ofenanlagen mit Wärmerückgewinnung durchgeführt (Fliesenverband 2013: 1).

Tabelle 8.4
Ausgewählte Maßnahmen der Industrie der keramischen Fliesen und Platten
 2011 und 2012

Maßnahme	Investitionen (in Tsd. €)	Energieeinsparung
Wärmeverbund Ofen/Trockner und Sprühtürme	600	17,6 GWh/a
Wärmeverbund zur Nutzung der Abwärme	150	0,3 GWh/a
Wärmeverbund zur Nutzung der Abwärme der Öfen in Vortrockner	190	2,5 GWh/a
Wärmerückgewinnung bei Öfen	230	8,0 MWh/a
Wärmerückgewinnung Öfen/Trockner (sechs Nennungen)	1 040,7	18,6 GWh/a
Wärmerückgewinnung Öfen/Sprühturm	180	4,0 GWh/a
Verbesserung der Isolierung	75	0,96 GWh/a
Optimierung der Ofeneinstellung	15	2,2 GWh/a
Ofenerneuerung	950	5,4 GWh/a
Zentrale Druckluftsteuerung	50	15 %
Ersatz Beleuchtung mit LED	1	80 %
Druckregelventil in Druckluft	30	15 %

Nach Angaben des Industrieverbands Keramische Fliesen und Platten e.V. (Fliesenverband 2013)

Beispielhaft werden im Fortschrittsbericht für die Jahre 2011 und 2012 17 Maßnahmen zur Energieeinsparung mit einem Investitionsvolumen von zusammen rund 3,5 Mill. € aufgeführt (Tabelle 8.4). Die höchsten Investitionen entfielen auf eine Ofenerneuerung. In der Mehrzahl wurden Maßnahmen zum Wärmeverbund und zur Wärmerückgewinnung durchgeführt.

Die Höhe der jährlichen Einsparungen variiert bei den umgesetzten Maßnahmen zwischen rund 8,0 MWh durch die Wärmerückgewinnung bei Öfen bis hin zu 17,6 GWh durch einen Wärmeverbund Ofen/Trockner und Sprühturm. Für drei Maßnahmen wurde die Energieeinsparung als prozentualer Wert angegeben. Durch die übrigen 14 Maßnahmen konnten 2011 und 2012 insgesamt rund 51,6 GWh bzw. 185,8 Tj pro Jahr an Energie eingespart werden.

Hohe Effizienzgewinne sind durch Maßnahmen zur Optimierung der Prozessabläufe zu realisieren. Allerdings werden die Produktionsabläufe stark von der Nachfragesituation geprägt. Eine stark schwankende Nachfrage sowie die Notwendigkeit, immer kleinere Losgrößen zu produzieren erschweren einen optimalen Ablauf der Produktion und beeinflussen die Energieeffizienz damit negativ. In Zeiten schwacher Nachfrage wurde in der Fliesenindustrie versucht, der Verschlechterung der Energieeffizienz aufgrund der wirtschaftlich bedingten schlechteren Ofenauslastung durch zeitweise Stilllegung von Anlagen entgegenzuwirken (Fliesenverband 2010: 2).

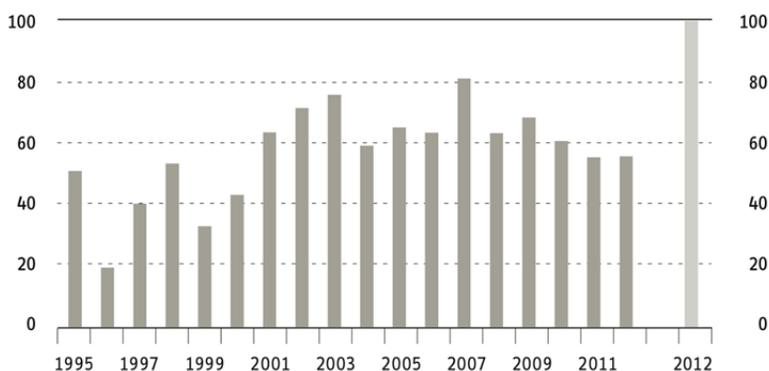
8.8 Bewertung

Die Industrie der keramischen Fliesen und Platten avisiert in ihrer aktuell gültigen Selbstverpflichtungserklärung eine Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 „möglichst in der Nähe von 30 %“ (Fliesenverband 2000) gegenüber 1990. Mit den bis 2007 realisierten Minderungserfolgen konnte bereits ein Zielerreichungsgrad von 81 % erzielt werden (Schaubild 8.3). Die Auswirkungen der wirtschaftlichen Entwicklung in den Jahren 2009 und 2010 haben die Zielerreichung wieder auf rund 61 % sinken lassen. Da der Energieverbrauch 2011 – bei unverändertem Energieträgermix – stärker gestiegen ist als die Produktion stiegen auch die spezifischen Emissionen weiter an und der Zielerreichungsgrad sank weiter auf rund 56 %.

Die Entwicklung des Marktes für keramische Produkte hat letztlich dazu geführt, dass das für 2012 angestrebte Minderungsziel nicht erreicht werden konnte. Seit einigen Jahren gibt es eine steigende Nachfrage nach Steinzeug und hier insbesondere nach gewerblich genutzten Bodenfliesen. 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.

Schaubild 8.3
Zielerreichungsgrad der Industrie der keramischen Fliesen und Platten für 2012
 1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

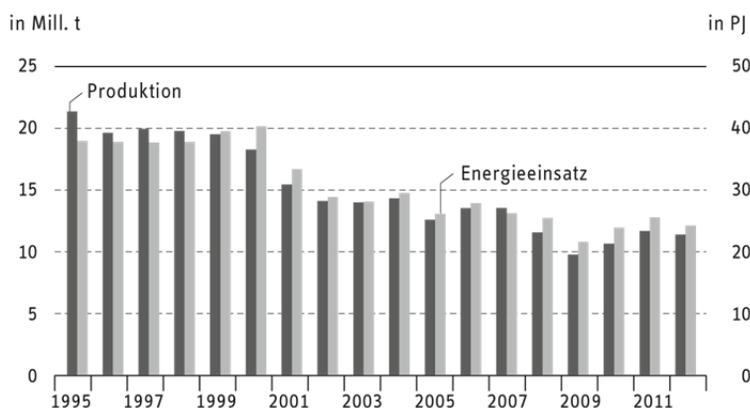
Der Verband weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es im Rahmen des Monitorings beim spezifischen Energieverbrauch zu einer verzerrten Darstellung kommt. Diese beruht auf dem zu Beginn des Monitorings auf Steingutfliesen fokussierten Gewichtsansatz pro qm Fliesen. Durch die zunehmende Produktion des schwereren Feinsteinzeugs wird die Entwicklung der Energieeffizienz um 7-8 % unterzeichnet (Fliesenverband 2013: 3).

Die Brennofenausstattung ist laut Verband auf dem aktuellen Stand der Technik. Nennenswerte Effizienzsteigerungspotenziale sind demnach durch Modernisierungsmaßnahmen derzeit nicht 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. Nennenswerte Einsparpotenziale lassen sich wohl nur noch über eine verbesserte Auslastung der Brennöfen realisieren.

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, der durch die 2008 einsetzende Finanz- und Wirtschaftskrise noch verstärkt wurde. Die Produktion der Ziegelindustrie konnte in den Jahren von 1995 bis 1999 auf einem relativ stabilen Niveau von 20 Mill. t gehalten werden. Bedingt durch die konjunkturelle Abhängigkeit von der Bauwirtschaft sank die Produktionsmenge danach jedoch deutlich, von 19,4 Mill. t im Jahr 1999 auf etwa 11,3 Mill. t gebrannter Ziegel im Jahr 2012 (Schaubild 9.1). Dies entspricht einem Rückgang von etwa 42 %.

Schaubild 9.1
Produktion und Energieverbrauch in der Ziegelindustrie
1995 bis 2012



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 Berichts erfolgende Berechnung der CO₂-Emissionen bildete auch für die Ziegelindustrie bis 2002 die Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes. Der Sektor wird in der Systematik der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008, unter der Position 23.32 „Herstellung von Ziegeln und sonstiger Baukeramik“ geführt (StaBuA 2007a).

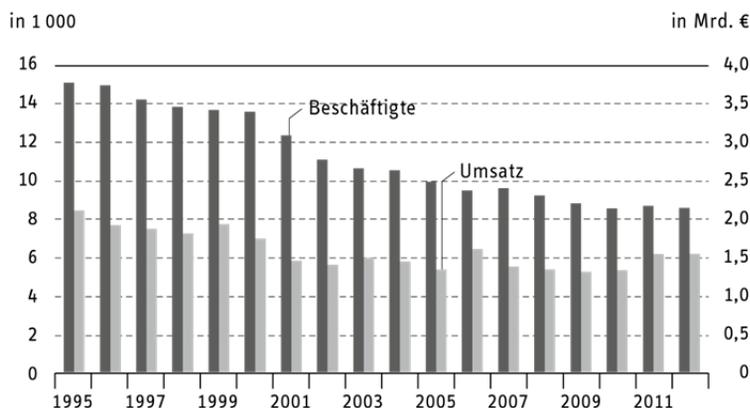
Seit 2003 wird die Energieverwendung vom Statistischen Bundesamt neu erhoben und in einer eigenen Statistik veröffentlicht. Diese ist jedoch für das Monitoring nur eingeschränkt verwendbar, da viele Angaben aus Gründen der Geheimhaltung nicht ausgewiesen werden. Zudem gibt es Abweichungen zur bisherigen Statistik der Reihe 4.1.1 bei Art und Umfang der eingesetzten Energieträger, die bislang nicht geklärt werden konnten. Für die Jahre 2003 und 2004 wurden die amtlichen Daten zum Energieverbrauch um Angaben des Bundesverbandes der Ziegelindustrie ergänzt. Seit 2005 beruhen die im Monitoring verwendeten Daten auf den Ergebnissen einer Erhebung des Bundesverbandes bei allen Mitgliedern und Nichtmitgliedern in Deutschland. Die Rücklaufquote für die Erhebung lag nach Angaben des Verbandes bei 95 %. Fehlende oder unvollständige Angaben wurden durch den Verband hochgerechnet. Informationen zu den durchgeführten Maßnahmen zur CO₂-Minderung basieren auf dem Fortschrittsbericht des Bundesverbandes der Ziegelindustrie (Ziegel 2013). Die Zahl der Betriebe, der Beschäftigten und die Höhe des Umsatzes wird wegen der Umstellung des Berichtskreises auf Betriebe mit 50 und mehr Beschäftigten seit 2007 ebenfalls nicht mehr der Fachserie 4, Reihe 4.1.1 entnommen, sondern dem Jahresbericht für Betriebe des Statistischen Bundesamtes (StaBuA/JB).

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 rund 42,0 % zwischen 1999 und 2012 ging eine vergleichbare Reduktion des Energieverbrauchs um etwa 39,0 % einher. Laut Statistischem Bundesamt erzielte der Industriezweig 2012 mit 8 500 Beschäftigten in 113 Betrieben einen Umsatz von rund 1,5 Mrd. € (Schaubild 9.2). Der seit 2000 anhaltende Rückgang der Beschäftigung setzte sich 2011 und 2012 fort. Mit lediglich 0,1 % aller Beschäftigten im Verarbeitenden Gewerbe und einem Umsatzanteil von ebenfalls 0,1 % in den Jahren 2011 und 2012 handelt es sich bei der Ziegelindustrie um einen vergleichsweise kleinen Industriebereich. Demgegenüber stellt sie sich mit einem Anteil am Gesamtenergieverbrauch in Höhe von 0,7 % als relativ energieintensiv dar.

Schaubild 9.2
Beschäftigte und Umsatz in der Ziegelindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1 und Jahresbericht für Betriebe.

Zieht man das Verhältnis von Energieeinsatz und Umsatz als Indikator für Energieintensität heran, so ist die Ziegelindustrie mit 15,8 MJ/€ im Jahr 2012 zu den energieintensiven Sektoren zu zählen. Lediglich die ebenfalls zur Baustoffbranche zählenden Sektoren Kalk- und Zementindustrie 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. Bezogen auf das Gewicht der gebrannten Ware, hatten Dachziegel nach Angaben des Verbandes 2012 einen Anteil von 18,5 % an der gesamten Produktion, Mauerziegel entsprechend einen Anteil von 81,5 %. 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 Radlader 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 weit-

gehend 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 Tunnelöfen 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 in den Tunnelöfen 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 1150° C gebrannt (Buttermann, Hillebrand 2002: 80).

9.4 Die Selbstverpflichtung

Die Ziegelindustrie hat sich im Dezember 2000 bereit erklärt, ihre spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um 28 bis 30 % gegenüber 1990 zu senken. 1990 wurden 152 kg CO₂/t emittiert. Somit ergibt sich für 2012 ein Reduktionsziel von maximal 109 kg CO₂/t.

Übersicht 9.1

Selbstverpflichtungen der Ziegelindustrie

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 2012 erreichte Minderungen

Der spezifische Energieverbrauch der Ziegelindustrie unterlag in der Vergangenheit erheblichen Schwankungen. Zwischen 1990 und 1995 gelang es, den spezifischen Verbrauch um fast 22 % auf rund 1,8 GJ/t zu senken (Tabelle 9.1). Nachdem er

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

bis 2000 wieder auf etwa 2,2 GJ/t stieg, konnte der spezifische Energieverbrauch bis 2007 auf rund 1,9 GJ/t reduziert werden (RWI 2009: 127). Seitdem war jedoch ein erneuter Anstieg auf bis zu 2,2 GJ/t (2010), gefolgt von einem Rückgang auf 2,1 GJ/t im Jahr 2012 zu verzeichnen.

Tabelle 9.1
Spezifischer Energieeinsatz der Ziegelindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spez. Verbrauch, kJ/kg	2 274	1 776	2 208	2 078	2 243	2 188	2 130
Minderung in %	-	21,9	2,9	8,6	1,4	3,8	6,4

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

Die spezifischen CO₂-Emissionen haben 1995 mit 108 kg CO₂/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 131 kg CO₂/t noch gut 14 % unter dem Wert von 1990.

Tabelle 9.2
CO₂-Emissionen und Zielerreichungsgrad der Ziegelindustrie
1990 bis 2012; Ziel bis 2012: Minderung der spezifischen Emissionen auf 106 bis 109 kg CO₂/t

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Emissionen, 1 000 t CO ₂	2 407	2 304	2 370	1 541	1 408	1 504	1 421
Spez. Emissionen, kg CO ₂ /t	152	108	130	123	133	129	125
Minderung in %	-	28,9	14,4	19,1	12,7	15,0	17,6
Zielerreichungsgrad in %		103,2	51,4	68,4	45,4	53,5	62,7

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

Bis 2007 sanken die spezifischen Emissionen auf 116 kg CO₂/t (RWI 2009: 127). Bis 2010 stiegen sie jedoch wieder um mehr als 14 % auf 133 kg CO₂/t, konnten in den beiden Folgejahren aber wieder auf 129 (2011) bzw. 125 kg CO₂/t im Jahr 2012 reduziert werden. Damit konnte die Minderung des spezifischen CO₂-Ausstoßes seit 2000

nicht durchgängig durchgesetzt werden. Bis 2012 hat die Ziegelindustrie ihr Minderungsziel dennoch zu gut 63 % erreicht.

9.6 Ursachenanalyse

Die offenkundigste Ursache für die Abnahme des absoluten Energieverbrauchs um ca. 39 % zwischen 1999 und 2012 ist im anhaltenden Produktionsrückgang der Ziegelindustrie zu sehen. Die Produktion sank in diesem Zeitraum um etwa 42 %. 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.

Die Auswertung der Energieverbrauchsdaten für die Ziegelindustrie ergibt bis 1995 den größten Rückgang des spezifischen Verbrauchs. Seitdem weist dieser wieder einen steigenden Trend auf. Der Verband wies in diesem Zusammenhang in seinen Fortschrittsberichten für 2008 und 2009 darauf hin, dass Auslastungsprobleme in besonderem Maße zu einem erhöhten spezifischen Energieverbrauch geführt haben (Ziegel 2009: 2 und 2010: 2). Die gestiegene Produktion hat 2011 und 2012 wieder zu einer verbesserten Auslastung geführt (Ziegel 2013a: 1). Wie Tabelle 9.1 zeigt, ist der spezifische Verbrauch dadurch zurückgegangen.

Als Ursache für den gestiegenen spezifischen Energieverbrauch nennt der Verband neben Auslastungsproblemen, 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 wurde in den letzten Jahren verstärkt auf Kundenwünsche eingegangen. Die Folge sind geringere Stückzahlen und höhere Rüstzeiten, die mit einem höheren spezifischen Energieverbrauch einhergehen.

Ferner ist seit 1995 eine Verschiebung der Nachfrage von Mauerziegeln zu Dachziegeln zu erkennen (Tabelle 9.3). 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 sogenannten H-Kassetten gebrannt. Hierbei muss erheblich mehr Masse an Trägermaterial aufgeheizt werden als bei den traditionell verwendeten U-Kassetten. Durch den Einsatz von H-Kassetten erhöhte sich der spezifische Energieeinsatz von 2 400 bis 3 000 kJ/kg auf 2 800 bis 3 500 kJ/kg (Ziegel 2008: 2-3).

Tabelle 9.3
Mauer- und Dachziegelproduktion der Ziegelindustrie
 1995 bis 2012; in Mill. Tonnen

	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Mauerziegel	18,8	15,3	10,1	8,4	9,4	9,2
Dachziegel	2,5	2,9	2,5	2,2	2,3	2,1
Ziegel insgesamt	21,3	18,2	12,5	10,6	11,6	11,3
Mauerziegel in %	88,4	84,1	80,4	79,6	80,5	81,5

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 2012 nur um etwa 6,3 % gesunken (Tabelle 9.1). Der Wert für die spezifischen CO₂-Emissionen lag dagegen 17,8 % unter dem Niveau von 1990 (Tabelle 9.2). Der Grund für diesen Unterschied ist im zunehmenden Verzicht kohlenstoffreicher zugunsten kohlenstoffarmer Energieträger zu sehen. 1990 wurden noch etwa 16 % der Energie aus der Verfeuerung von Braun- und Steinkohle gewonnen. 2012 waren diese Energieträger nahezu gänzlich aus dem Energiemix verschwunden (Tabelle 9.4). Dafür stieg die Bedeutung von Erdgas und elektrischer Energie. Während 1990 knapp die Hälfte der Energie aus Erdgas bezogen wurde, betrug der Anteil 2011 und 2012 bereits etwa 70 %. Der Stromanteil am Energieverbrauch stieg als Folge der verstärkten Aufbereitung der Rohstoffe und dem Einsatz von Abgasreinigungsanlagen zwischen 1990 und 2012 von 21 % auf 25,6 %.

Die Verdrängung kohlenstoffreicher Energieträger spiegelt sich auch im durchschnittlichen Emissionswert je Energieeinheit wider. 1990 betrug dieser noch 66,9 kg CO₂/GJ. Dieser Wert konnte bis 2012 auf 58,9 kg CO₂/GJ reduziert werden. Die Minderung beträgt demnach 8,0 kg CO₂/GJ. Die sich daraus ergebene prozentuale Minderung beträgt 12 % und scheint entsprechend gut den Unterschied in der Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs und der Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionen zu erklären.

Tabelle 9.4
Veränderungen des Energiemix der Ziegelindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohle	0,3	0,2	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohlenbriketts	-	0,1	0,0	-	-	-	-
Steinkohlenkoks	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rohbraunkohlen	-	0,1	-	-	-	-	-
Braunkohlenbriketts	5,4	0,2	0,0	0,0	0,0	-	-
Petrolkoks	-	-	-	0,0	0,1	0,1	0,1
Schweres Heizöl	2,7	1,9	1,2	0,7	0,5	0,5	0,3
Leichtes Heizöl	2,0	2,9	0,9	0,2	0,3	0,2	0,2
Erdgas	17,7	22,9	28,4	18,4	16,5	17,9	17,1
Flüssiggas	-	-	-	-	0,2	0,2	0,1
Kokereigas	0,3	0,5	0,2	-	-	-	-
Brennstoffe insgesamt	28,4	28,8	30,7	19,6	17,6	18,9	17,9
Nettorendstrombezug	7,6	9,0	9,4	6,4	6,2	6,5	6,2
Energiebedarf insgesamt	36,0	37,8	40,1	26,0	23,8	25,4	24,1

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

9.7 Ausgewählte Minderungsmaßnahmen

Die Ziegelindustrie macht 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 2011 und 2012 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 CO₂-Emissionen nicht möglich. Die aufgeführten Maßnahmen führten zu prozessbezogenen Einsparungen, über deren konkrete Höhe zum Teil keine Angaben gemacht wurden. Tabelle 9.5 gibt eine Auswahl der insgesamt über 50 aufgeführten Maßnahmen wieder, die 2011 und 2012 durchgeführt wurden. Intensive Bemühungen zur Energieeinsparung richteten

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

sich auf die Möglichkeiten der Optimierung des Wärmeverbundes zwischen Tunnelöfen und Trocknern sowie auf die Modernisierung bestehender Systeme und Aggregate.

Tabelle 9.5
Energieeinsparmaßnahmen und deren Ergebnisse aus einzelnen Ziegelwerken (Auswahl)
2011 und 2012

Maßnahmen aus einzelnen Ziegelwerken	Energieeinsparung
2011	
Einbau einer Heißgasumwälzung und einer normalen Umwälzung im Tunnelofen.	10 000 MWh/a (Erdgas)
Optimierung der Ziegelgeometrie; Reduzierung der eingesetzten Rohstoffe.	35 MWh/a (Strom) 500 MWh/a (Erdgas)
Druckluftregelung: unterschiedlich große Kompressoren und intelligente Schaltung der Kompressoren.	580 MWh/a (Strom)
Luftumleitung: Optimierte Ausrichtung des Luftstromes auf das zu trocknende Produkt.	440 MWh/a (Strom)
Umbau eines Wasserspeichers, temperaturabhängige Regelung des Wärmetauscherzulaufs, Umsetzen der Überstromventile.	1 000 MWh/a (Erdgas)
Ziegelgewichtsverringering; Einsatz geringer Mengen Leichtkassetten	980 MWh/a (Strom)
2012	
Inbetriebnahme Stretchverpackung	450 MWh/a (Erdgas) pro Anlage
Einbau Wärmetauscher zur Abwärmenutzung der TNV für Trockner.	980 MWh/a (Erdgas)
Optimierung der Einstellungen eines Kammertrockners.	650 MWh/a (Erdgas)
Optimierung der Brennkurveinstellungen durch Ofenspezialist.	530 MWh/a (Erdgas)
Ziegelgewichtsverringering	780 MWh/a (Strom)

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie (Ziegel 2013b).

Neben den größeren Investitionsprojekten wurden laufend technische Maßnahmen an bestehenden Anlagen ergriffen, um den Energieverbrauch zu verringern. Hierzu zählen beispielsweise die Beseitigung von Undichtigkeiten an Trocknern und

Öfen, die Isolierung von Rohrleitungen, die Verbesserung strömungstechnischer Bedingungen und damit des Wärmeübergangs in Trocknern und Öfen sowie Optimierungsmaßnahmen bei der Wärmerückgewinnung und der Steuerungstechnik. Zu den organisatorischen Maßnahmen gehörte beispielsweise die Einführung der 7-Tage-Woche. Sie ermöglicht einen Dauerbetrieb mit kontinuierlicher Abnahme der Ofenkühlluft. Zudem wurde die Rauchgastemperatur abgesenkt. Weitere Energieeinsparungen ließen sich durch Wochenendabsenkungen von Trockenlüftern sowie durch die Einführung bzw. den Ausbau bestehender Energiemanagementsysteme erzielen. Nach Angaben des Verbandes konnten durch organisatorische Anpassungen Einsparungen von bis zu 20 % erreicht werden (Ziegel 2013a: 1). Durch die zunehmende Einführung von Energiemanagementsystemen lassen sich nach Informationen des Verbandes überwiegend bislang ungenutzte Einsparpotentiale beim Stromverbrauch ausschöpfen.

Einen indirekten Einfluss auf das Ergebnis des CO₂-Monitorings hat der Einsatz von Photovoltaik-Anlagen, von denen der Verband berichtet. Hierdurch wird der genutzte Fremdstrom verringert. Da Strom aus erneuerbaren Energien beim Monitoring nicht erfasst wird, verringert sich der Energieverbrauch insgesamt der Branche; sowohl der spezifische Energieverbrauch als die spezifischen Emissionen werden gesenkt.

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, die Lehrgänge der Ziegeltechnik für Meister und Fachleute an der FH Koblenz sowie Seminare des Instituts für Ziegelforschung (IZF) in Essen (Ziegel 2013a: 2).

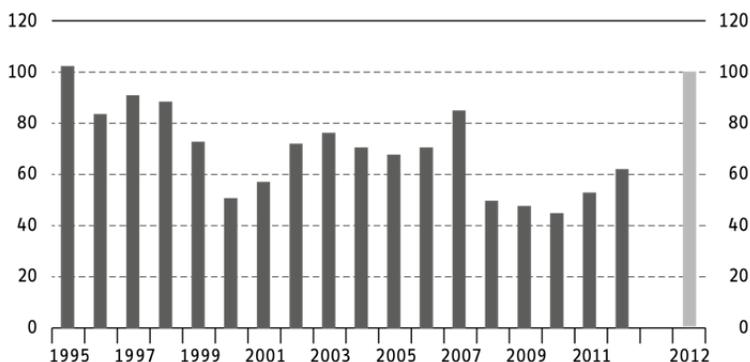
9.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Ziegelindustrie avisiert in ihrer aktuell gültigen Selbstverpflichtungserklärung eine Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen von 1990 bis 2012 zwischen 28 und 30 % auf maximal 109 kg CO₂/t.

Nachdem die Zielmarke bereits 1995 erstmals erreicht werden konnte, ging der Zielerreichungsgrad bis 2000 jedoch wieder zurück (Schaubild 9.3). Nach einer erneuten Steigerung auf fast 86 % bis 2007 sank der Zielerreichungsgrad 2008 wieder auf 50,3 %. Hier spiegelt sich der deutliche Produktionsrückgang wider, dessen Auswirkungen 2009 alle Maßnahmen zur Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen überlagert haben. Die schlechtere Auslastung konnte selbst durch Abschaltung von Öfen nur unzureichend kompensiert werden. Das erneute Anfahr-

ren der Öfen führte zu einem steigenden spezifischen Energieverbrauch (Ziegel 2010: 2). Trotz gesteigerter Produktion dürfte die schlechte Anlagenauslastung dazu geführt haben, dass die spezifischen Emissionen 2010 erneut gestiegen sind und der Zielerreichungsgrad auf rund 45 % sank. Erst die konsequente Umsetzung weiterer Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Minderung der CO₂-Emissionen sowie die Nutzung von Photovoltaik-Anlagen haben 2011 und 2012 zusammen mit dem – wenn auch moderate – Anstieg der Produktion die spezifischen CO₂-Emissionen gesenkt und damit den Zielerreichungsgrad auf rund 63 % verbessert.

Schaubild 9.3
Zielerreichungsgrade der Ziegelindustrie für die Senkung der spezifischen CO₂-Emissionen
1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Generell gibt es verschiedene Ursachen, die der Ziegelindustrie Probleme bereitet haben, das gesteckte Ziel für 2012 zu erreichen: Ganz wesentlich war dabei die seit Jahren rückläufige Baukonjunktur. Die geringe Fertigstellungszahl beim Wohn- und Gewerberaum führte zu einer generell sinkenden Nachfrage nach Mauer- bzw. Dachziegeln und folglich zu einer schlechteren Auslastung der Produktionskapazitäten mit entsprechend steigenden spezifischen Energieverbräuchen und CO₂-Emissionen. 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, also Dachziegel und Backsteine, die für die Fassade verwendet werden, wird verstärkt auf Kundenwün-

sche eingegangen. Die Folge sind geringere Stückzahlen, die mit einem höheren spezifischen Energieverbrauch und höheren spezifischen Emissionen einhergehen.

Die Substitution von kohlenstoffreichen Brennstoffen durch Erdgas trug besonders zur Zielerreichung bei. Die Möglichkeit einer weiteren Substitution dürfte jedoch weitgehend ausgeschöpft sein: Erdgas deckte 2011 und 2012 bereits rund 94 bzw. 96 % 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.

Wahrscheinlich ist, dass in den nächsten Jahren durch eine weitere Marktberreinigung bestehende Überkapazitäten abgebaut werden und dadurch branchenweit die Auslastung und damit die Energieeffizienz wieder steigen. Darüber hinaus kann die Energieeffizienz durch entsprechende technologische Maßnahmen verbessert werden. 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 ist eng mit den konjunkturellen Schwankungen in der Bauwirtschaft verbunden. Eine besonders geringe Zementproduktion war in den Jahren 1996/1997, 2002 und 2005 zu verzeichnen. Infolge der weltweiten Wirtschafts- und Finanzkrise 2009/2010 ging sowohl die inländische Baunachfrage als auch die Zementexporte erheblich zurück und führten in der Zementindustrie zu einem Absatzrückgang von rund 12 %. Dieser Rückgang konnte durch die Erholung in der Bauwirtschaft im Jahr 2011 wieder weitgehend aufgeholt werden. 2012 war durch einen erneuten Absatzrückgang geprägt, der zum einen auf einen deutlichen Rückgang der Exporte, zum anderen auf einen witterungsbedingt niedrigeren Inlandsabsatz zurückzuführen war (VDZ 2013: 4, 7).

10.1 Datenbasis

Die für das CO₂-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). Daten zum Energieverbrauch gibt es allerdings nur bis 2002, da die ab 2003 durchgeführte neue Erhebung des Statistischen Bundesamtes über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes die Verbrauchsdaten aus Geheimhaltungsgründen 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 Wirtschaftszweig Nr. 23.51, 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.

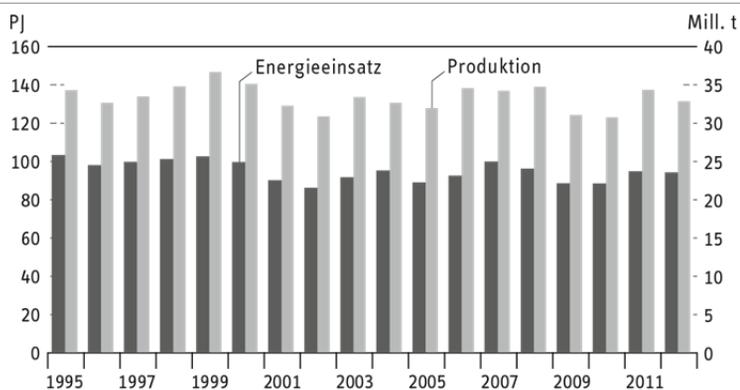
Ein weiterer Grund für Unterschiede lag vermutlich darin, dass das Statistische Bundesamt die Zuordnung von Betrieben zu Sektoren nach deren Haupttätigkeit vornimmt. Manche Zementwerke aber stellen zum Beispiel auch Kalk her und benötigen dafür andere Energieträger, die zwar vom Statistischen Bundesamt, nicht aber bei den Erhebungen des VDZ erfasst werden.

Zu der Branche zählten nach Angaben des Verbandes Ende 2012 insgesamt 21 Unternehmen mit zusammen 18 Mahlwerken und 35 Werken mit Klinkererzeugung. An der aktuellen Umfrage des VDZ für die Jahre 2011 und 2012 haben sich alle 35 Werke mit Klinkererzeugung sowie 14 der 18 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 2013: 9).

10.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Mit einem Produktionsniveau von rund 33,3 Mill. t Zement aus in Deutschland gebranntem Zementklinker – dem Hauptbestandteil von Zement – gelang es der Zementindustrie 2003, den drastischen Rückgang der Produktion der Jahre zuvor zu stoppen (Schaubild 10.1). So wurde 2008 ein Produktionsniveau von 34,7 Mill. t erreicht. Die Zementherstellung fiel bedingt durch die Wirtschaftskrise im Jahr 2009 um etwa 3,7 Mill. t bzw. 10,6 % auf knapp 31,0 Mill. t. Eine Erholung gab es erst 2011 mit einem Anstieg der Produktion um 11,8 % auf 34,2 Mill. t. 2012 ging das Produktionsniveau erneut um 4,4 % auf 32,7 Mill. t zurück.

Schaubild 10.1
Produktion und Energieeinsatz der Zementindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben des VDZ im Rahmen des Monitoring.

Der Rückgang des thermischen Energieverbrauchs fiel zwischen 1995 und 2012 mit durchschnittlich 0,5 % pro Jahr etwas höher aus als der Rückgang der Produktion mit jahresdurchschnittlich knapp 0,3 % und weist damit auf eine geringe Entkoppelung von Produktion und thermischem Energieeinsatz. Diese Tendenz zeigt sich

auch in den einzelnen Wachstumsphasen. Lediglich im Zeitraum 2008 bis 2010 ging der thermische Energieeinsatz mit rund 8,1 % zurück während die Produktion als Folge der Finanz- und Wirtschaftskrise um 11,6 % sank (Schaubild 10.1). 2010 bis 2012 lag der Produktionszuwachs bei 6,9 % während der Energieeinsatz um 6,6 % zunahm.

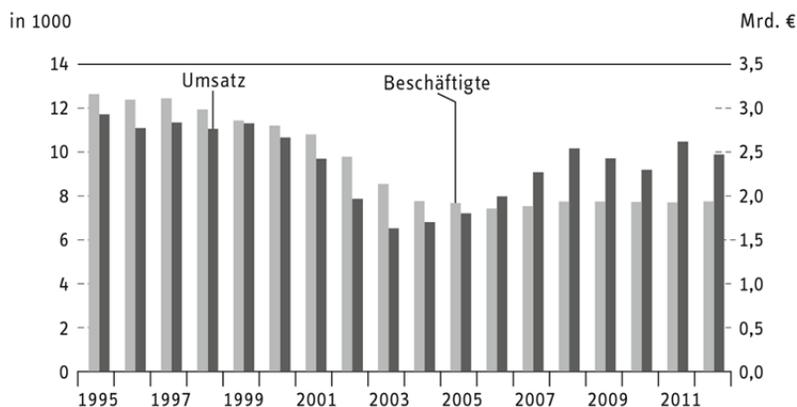
Die Energieverbrauchswerte beinhalten dabei sowohl den Einsatz fossiler Brennstoffe als auch die Sekundärbrennstoffe. Der Anteil der Sekundärbrennstoffe am gesamten Brennstoffeinsatz, der bereits zwischen 1995 und 2000 kontinuierlich von 10,7 % auf 25,7 % erhöht wurde, konnte bis 2010 noch einmal gesteigert werden, auf 61 % bzw. 53,7 PJ und blieb auch 2011 und 2012 mit 57,7 bzw. 57,3 PJ auf diesem Niveau (Tabelle 10.7).

Der absolute Energieverbrauch der Zementindustrie ist deutlich geringer als bei der Chemischen Industrie, der Eisenschaffenden Industrie und der Papierindustrie. Sie zählt jedoch zu den energieintensiven Sektoren im Verarbeitenden Gewerbe, da in kaum einer Branche des Verarbeitenden Gewerbes die Energieintensität – gemessen durch das Verhältnis von Verbrauch und Umsatz höher ist. Verglichen mit dem Verarbeitenden Gewerbe insgesamt wies die Zementindustrie 2012 einen etwa vierundzwanzigmal 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). Die danach einsetzende Preisberuhigung sowie die weiter steigende Nachfrage führten dann bis 2008 zu einem Umsatzanstieg auf etwa 2,5 Mrd. €. Im Jahr 2009 sank der Umsatz krisenbedingt um 4,0 % von 2,5 auf 2,4 Mrd. €. Nach einem weiteren Rückgang um 4,2 % auf rund 2,3 Mrd. € im Jahr 2010 erholte sich der Umsatz 2011 zunächst um 13,0 % auf 2,6 Mrd. €, ging 2012 aber erneut um 3,8 % auf rund 2,5 Mrd. € zurück.

Auf den Absatzzrückgang reagierte die Zementindustrie sowohl mit der Schließung von Werken als auch 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 7 700 im Jahr 2012 (Schaubild 10.2).

Schaubild 10.2
Beschäftigte und Umsatz in der Zementindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1.
 Ab 2007: Jahresbericht für Betriebe.

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 %. Portlandzement⁸ 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*

⁸ 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).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

von etwa 1 400 bis 1 450 Grad Celsius aufgeheizt (VIK 1998: 40). Dieser Prozess wird als *Sinterung* bezeichnet (Lohmann 1999: 25).

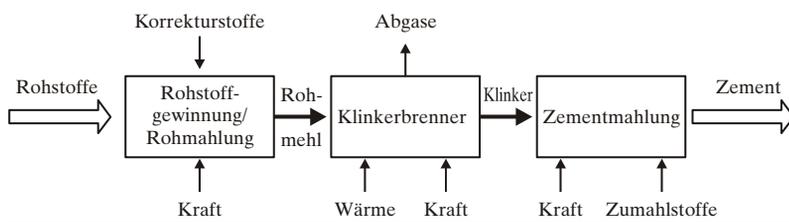
Bereits während der Aufheizung bis zur Sintertemperatur zersetzt sich das Calciumcarbonat (CaCO₃) zu Calciumoxid (CaO) und Kohlendioxid (CO₂). Diesen chemischen Prozess der thermischen Dissoziation von Calcit nennt man *Entsäuern* des Kalksteins. Bei noch höheren Temperaturen entsteht aus Calciumoxid (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 (CaCO₃) wird *rohstoffbedingt* das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt. Die rohstoffbedingten spezifischen CO₂-Emissionen hängen von der Rohstoffrezeptur ab, verändern sich jedoch nur in geringem Maße. Im Jahr 2012 betrug diese etwa 0,398 t CO₂/t. Andere Treibhausgase 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 CO₂-Ausstoß dieser Branche von erheblicher Bedeutung. Obwohl die Beimischung dieser Materialien einen größeren Stromeinsatz aufgrund eines erhöhten Mahlaufwands erfordert, ist der gesamte Energieaufwand zur Herstellung einer Tonne Zement durch die Verwendung von Hüttensand oder Kalkstein dennoch

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 CO₂-Einsparungen reduzieren sich durch das Hinzufügen dieser Ersatzstoffe für Klinker auch die rohstoffbedingten spezifischen CO₂-Emissionen, welche beim Prozess der Entsäuerung anfallen.

Seit geraumer Zeit nimmt die Bedeutung der Zementprodukte mit mehreren Bestandteilen zu: Von 1999 bis 2004 ist deren Anteil von 34 % auf 41,7 % deutlich gestiegen, bis 2012 gar auf rund 70 % (VDZ 2013: 17-19). Derartige Veränderungen des Mix an Zementprodukten stellen eine zunehmend wichtiger werdende Option zur Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung in der Zementindustrie dar.

10.4 Die Selbstverpflichtung

Die deutsche Zementindustrie hat im Jahr 2000 erklärt, die energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um 28 % gegenüber dem Basisjahr 1990 senken zu wollen (VDZ 2000: 19). Hierbei werden die CO₂-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 CO₂-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. Dies entspricht einer Reduktion auf 253 kg CO ₂ /t Zement.
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. Dies entspricht rohstoff- und energiebedingten CO ₂ -Emissionen von 674 kg CO ₂ /t Zement.
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 ver-

brannt werden (VDZ 2000: 36). Dies würde zur Emission von CO₂ und anderen klimarelevanten Spurengasen führen.

Unter Einbeziehung der rohstoffbedingten Emissionen würden sich bei Einhaltung der Verpflichtung der Zementindustrie die spezifischen CO₂-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 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Der energiebedingte spezifische CO₂-Ausstoß betrug 2011 rund 173 kg CO₂ pro Tonne Zement und stieg 2012 auf rund 178 kg CO₂/t. Er war damit um rund 49 % niedriger als im Basisjahr 1990 (Tabelle 10.1). Damals lagen die energiebedingten spezifischen Emissionen bei etwa 352 kg CO₂/t Zement – wohlgermerkt ohne die CO₂-Beiträge der Sekundärbrennstoffe. Das Ziel, die energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um 28 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu reduzieren, war bereits im Jahr 2001 erfüllt, als die Minderung 30,1 % betrug (RWI 2005: 141). 2012 ist dieses Ziel um mehr als 76 % übertroffen worden (Tabelle 10.1).

Tabelle 10.1
Energiebedingte spezifische CO₂-Emissionen in der Zementindustrie
 1990 bis 2012; Minderungsziel bis 2012: 253 kg CO₂ /t Zement bzw. -28 %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Emissionen in kg CO ₂ /t	352	325	263	200	177	173	178
Minderung in %	-	7,7	25,3	43,2	49,7	50,9	49,4
Zielerreichungsgrad in %	-	27,5	90,4	154,2	177,6	181,6	176,5

Nach Angaben des VDZ (2013). – Ohne Sekundärbrennstoffe.

Die implizite Annahme des Verbandes, dass mit Einhaltung dieser Zielgröße auch die gesamten spezifischen Emissionen inklusive der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen bis 2012 um 16 % sinken würden, bestätigte sich ebenfalls bereits für alle Jahre seit 2001 (Tabelle 10.2 und RWI 2005: 142).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 10.2
Rohstoff- und energiebedingte* spezifische CO₂-Emissionen der Zementindustrie
 1990 bis 2012; Minderungsziel bis 2012: 674 kg CO₂/t Zement bzw. -16 %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spezifische Emissionen in kg CO ₂ /t	802	776	694	606	575	556	575
Minderung in %	-	3,2	15,6	24,4	28,3	30,7	28,3

*Nach Angaben des VDZ (2013). - *Ohne Sekundärbrennstoffe.*

Die CO₂-Emissionen durch den Einsatz fossiler Brennstoffe und Strom lagen im Basisjahr 1990 bei rund 12 Mill. t (Tabelle 10.3). 2011 und 2012 betrug sie gut 5,9 bzw. 5,8 Mill. t, womit die Einsparung gegenüber 1990 bei rund 6,1 bzw. 6,2 Mill. t lag. 2010 lag diese Einsparung mit 6,6 Mill. t CO₂ etwas höher. Die CO₂-Emissionen inklusive des rohstoffbedingten Anteils betragen 1990 rund 27,4 Mill. t. Im Jahr 2012 lagen sie mit 18,8 Mill. t um rund 8,6 Mill. t oder 31,4 % niedriger als 1990. Seit 2010 sind die Gesamtemissionen damit wieder etwas gestiegen.

Tabelle 10.3
CO₂-Emissionen und Produktion der Zementindustrie
 1990 bis 2012; in Mill. t

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Energiebedingte Emissionen	12,0	11,1	9,2	6,4	5,4	5,9	5,8
Minderung in %	-	7,5	23,3	46,7	55,0	50,8	51,7
Energie- und rohstoffbedingte Emissionen	27,4	26,5	24,3	19,3	17,6	19,0	18,8
Minderung in %	-	3,3	11,3	29,7	35,8	30,7	31,4
Produktion	34,2	34,2	35,0	31,8	30,6	34,2	32,7
Veränderung geg. 1990 in %	-	0,0	2,3	-7,0	-10,5	0,0	-4,4

Nach Angaben des VDZ (2013).

Die energiebedingten CO₂-Emissionen wurden deutlich von den rohstoffbedingten Emissionen übertroffen: Diese lagen 1990 bei etwa 15,4 Mill. t, was sich aus der Differenz von 27,4 und 12 Mill. t ergibt (Tabelle 10.3). Die rohstoffbedingten CO₂-

Emissionen hatten im Basisjahr folglich einen Anteil von etwa 56,2 % an den CO₂-Emissionen dieses Sektors. Bis 2012 konnten die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen deutlich gesenkt werden: 2011 und 2012 betrug sie 13,1 bzw. 13,0 Mill. t. Ihr Anteil an den gesamten CO₂-Emissionen stieg jedoch auf 68,9 bzw. 69,1 %.

10.6 Ursachenanalyse

Die wesentlichen Gründe für die Senkung des Energieverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen der Zementindustrie sind in 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 der Produktionsveränderungen 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 2012 ca. 10,4 %. Einen großen Beitrag hierzu leistete die Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs, welcher sich im selben Zeitraum ebenfalls um 10,4 % reduzierte.

Tabelle 10.4
Spezifischer und absoluter thermischer Energieverbrauch der Zementindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spez. Verbrauch in kJ/kg Zement	3 200	3 000	2 835	2 785	2 874	2 759	2 866
Minderung in %	-	6,3	11,4	13,0	10,2	13,8	10,4
Verbrauch in PJ	109,5	102,8	99,3	88,7	88,1	94,4	93,9
Minderung in %	-	6,1	9,3	19,0	19,5	13,8	10,4

Nach Angaben des VDZ (2013).

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 2009 mit 14,2 %, während die Produktion im gleichen Zeitraum mit etwa 9,3 % deutlich weniger stark abfiel. Der Rückgang des Verbrauchs an elektrischer Energie ging im Wesent-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

lichen einher mit der Verbesserung des spezifischen Stromverbrauchs. Dieser sank um 5,2 % (Tabelle 10.5). Bis 2012 hingegen stieg der Stromverbrauch gegenüber 2009 wieder um 15,2 %. Der spezifische Stromverbrauch erhöhte sich um 8,8 %.

Tabelle 10.5
Spezifischer und absoluter Verbrauch an elektrischer Energie
1990 bis 2012; gerundete Werte

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	+1,6	102,0	-5,0
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	-9,5	102,1	-4,9
2005	3,24	-11,7	101,9	-5,1
2006	3,42	-6,8	99,4	-7,4
2007	3,40	-7,4	99,7	-7,2
2008	3,43	-6,5	99,0	-7,8
2009	3,15	-14,2	101,8	-5,2
2010	3,37	-8,2	109,8	2,2
2011	3,74	1,9	109,4	1,9
2012	3,63	-1,1	110,8	3,2

Nach Angaben des VDZ (2013).

Der Verband führt mehrere Gründe als Ursache für die aktuelle Entwicklung an. So dürfte seiner Ansicht nach die verstärkte Nachfrage nach leistungsfähigeren Zementen mit feinerer Aufmahlung zum Anstieg beigetragen haben. Ebenso führt er an, dass erforderliche Umweltschutzmaßnahmen mit einem erhöhten Stromverbrauch verbunden sind. Zudem sei der Einsatz an schwerer mahlbarem Hüttensand

als Zementzusatzmahlstoff gegenüber 2009 wieder angestiegen. Dieser war aufgrund der starken Betroffenheit der Stahlindustrie durch die Wirtschaftskrise nur sehr begrenzt verfügbar (VDZ 2013: 13).

Der Rückgang des spezifischen thermischen Energieverbrauchs ist im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen. Dies sind zum einen Effizienzverbesserungen in der Produktion und zum anderen die erhöhte Produktion 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 2000 ist der Anteil der Zementsorten mit mehreren Bestandteilen von 23,2 % auf 38,2 % deutlich gestiegen (Tabelle 10.6). Bis 2012 setzte sich der Anstieg auf etwa 69,7 % fort. Wie hoch die damit verbundenen Energieeinsparungen konkret gewesen sind, lässt sich jedoch aus Mangel an den dafür benötigten Energieinformationen nicht bestimmen.

Tabelle 10.6
Anteile der Zemente mit mehreren Bestandteilen am Inlandsabsatz
 1995 bis 2012; in %

Zementsorte (Zusatzstoffe)	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Portlandhüttenzement (6-35 % Hüttensand)	2,6	15,0	14,7	12,7	14,6	17,2
Portlandkalksteinzement ² (6-20 % Kalkstein)	6,7	8,1	15,5	24,3	21,3	20,0
Hochofenzement (36-80 % Hüttensand)	13,4	14,2	14,4	19,8	21,6	21,9
Portlandpuzzolanzement (6-35 % Trass)	0,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,3
Übrige Zemente	-	0,4	2,5	9,2	10,3	10,3
Insgesamt	23,2	38,2	47,2	66,2	68,0	69,7

Nach Angaben des VDZ (2013).

Die Senkung des spezifischen thermischen Energieverbrauchs um 10,1 % zwischen 1990 und 2012 kann die in Tabelle 10.4 dargestellte Verringerung der *energiebedingten* spezifischen CO₂-Emissionen um mehr als 49 % nur sehr unvollständig erklären. Ein wesentlicher Grund ist der zunehmende Einsatz an Sekundärbrennstoffen, da diese in der Selbstverpflichtung der Zementindustrie als klimaneutral angesehen werden. Seit 1990 konnte der Anteil der Sekundärbrennstoffe kontinuierlich erhöht werden, von 7,4 % oder 8,1 PJ im Basisjahr 1990 auf 61 % oder 57,3 PJ im Jahr 2012.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Um zu einer Abschätzung der durch den vermehrten Einsatz an Sekundärbrennstoffen vermiedenen CO₂-Emissionen zu kommen, wird hier vereinfachend davon ausgegangen, dass diese ausschließlich Steinkohle und Braunkohlenstaub mit jeweils einem CO₂-Emissionsfaktor von 0,093 Mill. t CO₂/PJ⁹ ersetzt haben. Mit den gegenüber 1990 zusätzlich eingesetzten 49,2 PJ an Sekundärbrennstoffen wären demnach 2012 etwa 4,58 Mill. t CO₂ eingespart worden.

Würde man die eingesparte Menge zu den energiebedingten CO₂-Emissionen des Jahres 2012 in Höhe von 5,8 Mill. t hinzuaddieren, lägen diese bei rund 10,4 Mill. t. Bei einem Output von 32,7 Mill. t Zement im Jahr 2012 hätten die energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen in diesem Falle nicht bei 178 kg CO₂ pro Tonne Zement gelegen, wie in Tabelle 10.1 ausgewiesen, sondern bei rund 317 kg/t, mithin eine Differenz von ca. 139 kg/t. Das heißt, von den gesamten spezifischen Emissionseinsparungen in Höhe von 178 kg CO₂/t Zement gegenüber 1990 entfallen 139 kg CO₂/t oder 78,1 % auf die Verwendung von Sekundärbrennstoffen. Ohne Erhöhung des Sekundärbrennstoffeinsatzes hätte die Zementindustrie zwischen 1990 und 2012 folglich erst eine Reduktion auf 317 kg CO₂/t Zement realisiert. Dies entspräche einem Rückgang der energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen um 9,9 %.

Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass die Senkung der energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen nahezu restlos durch zwei Faktoren erklärt werden kann: Durch die Reduktion des spezifischen Brennstoffverbrauchs und zu einem 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 2000 immer unter einem Prozent geblieben ist.

Der Mehreinsatz an Sekundärenergieträgern in Höhe von 49,2 PJ zwischen 1990 und 2012 ist neben der vermehrten Verwendung von Hütensand 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 2012 nur noch rund 9,8 PJ respektive 22,3 PJ (Tabelle 10.7).

⁹ Für Braunkohle verwendet der VDZ (2005: 15) wegen der in der Zementindustrie eingesetzten besseren Brennstoffqualität einen niedrigeren Emissionsfaktor als sonst üblich.

Tabelle 10.7
Brennstoffverbrauch der Zementindustrie
 1990 bis 2012; in PJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohlen	47,5	43,1	31,4	8,7	9,0	10,0	9,8
Braunkohlen	45,8	33,4	30,1	29,1	20,7	23,7	22,3
Petrolkoks	0,8	10,0	8,4	4,2	3,3	2,1	3,2
Schweres Heizöl	4,2	3,3	1,9	2,2	0,6	0,4	0,3
Leichtes Heizöl	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,7
Erdgas	0,8	1,1	0,7	0,5	0,1	0,2	0,2
Sonstige	2,1	0,6	1,0	0,5	0,4	0,1	0,1
Primärbrennstoffe	101,4	91,8	73,8	45,4	34,4	36,7	36,6
Sekundärbrennstoffe	8,1	11,0	25,5	43,3	53,7	57,7	57,3
Brennstoffverbrauch	109,5	102,8	99,3	88,7	88,1	94,4	93,9

Angaben des VDZ (2013).

Der Energiegehalt aller Primärbrennstoffe verringerte sich zwischen 1990 und 2012 um insgesamt 64,8 PJ, von rund 101,4 PJ auf 36,6 PJ, wobei 49,2 PJ durch zusätzliche Sekundärbrennstoffe eingespart werden konnten (Tabelle 10.7). Etwa 24,1 % der Einsparungen an Primärbrennstoffen ist folglich auf die anderen Ursachen zurückzuführen.

Fazit: Zu der im Jahr 2012 ermittelten Minderungsrate der energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen von 49,4 % gegenüber 1990 und damit einem Zielerreichungsgrad von 176,5 % hat die Ausweitung des Einsatzes an Sekundärbrennstoffen zu mehr als drei Viertel beigetragen. Die Senkung des spezifischen Brennstoffeinsatzes um 10,4 % zwischen 1990 und 2012 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 CO₂-Minderung und Bewertung

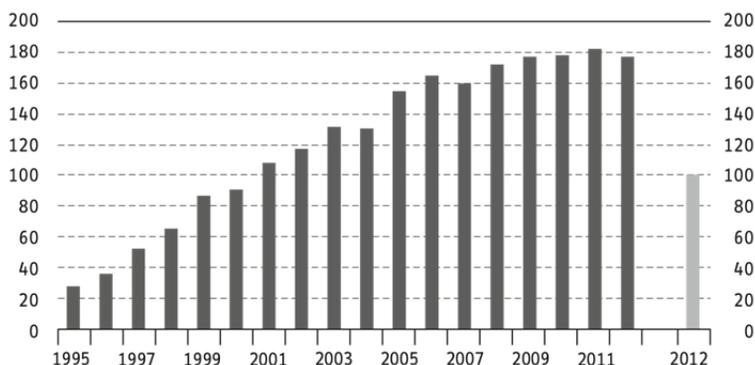
Das bis 2012 gesetzte Ziel für die Minderung der energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen wurde von der Zementindustrie bereits 2001 erreicht. Inzwischen liegt der Zielerreichungsgrad über 176 %.

Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Gründe, die unmittelbar mit den beiden wichtigsten vom VDZ zur CO₂-Minderung angeführten Maßnahmen zusammenhängen: Erstens, die deutliche Ausweitung des Anteils an Sekundärbrennstoffen bis auf 61 % im Jahr 2012. „Da die Brennstoffkosten maßgeblich die Herstellkosten der Zementindustrie beeinflussen und somit eine Substitution von Braun- und Steinkohle durch CO₂-ärmere Energieträger wie Erdgas aus Kostengründen nicht möglich ist, gehen die Bestrebungen der Zementindustrie aus Wettbewerbsgründen auch weiterhin dahin, fossile Brennstoffe verstärkt durch Abfallstoffe zu ersetzen“ (VDZ 2008: 15). Das Motiv der Senkung der Energiekosten durch den Einsatz von Abfallstoffen lässt demnach auch in Zukunft eine weitere Steigerung des Anteils der Sekundärbrennstoffe erwarten.

Zweitens: Die 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 CO₂-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 2012 auf 69,7 % an. Technische Bedeutung haben hierbei 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 (VDZ 2008: 18). Potenzial dürfte es noch bei Portlandkalksteinzementen geben, deren Anteil sich von 1995 bis 2012 von 6,7 % auf 20,0 % gesteigert hat (Tabelle 10.6).

Die erreichten Minderungen der energiebedingten spezifischen CO₂-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 gegenüber den Vorjahren nur geringfügig geändert, festzustellen ist seit Ende der 1990er Jahre eher eine leichte Erhöhung (Bild 1, VDZ 2013: 5).

Schaubild 10.4
Zielerreichungsgrade in der Zementindustrie
 1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Die Erklärung ist nahe liegend: Nach Angaben des VDZ sind die deutschen Zementwerke heute auf einem hohen 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 (2008: 18) im Jahr 2001 in Betrieb. Darüber hinaus befinden sich nach Verbandsangaben keine grundlegend neuen und effizienteren Verfahren zur Klinkerherstellung in der Entwicklung. Entsprechend ist hinsichtlich einer künftigen Steigerung der Energieeffizienz im Produktionsprozess wenig zu erwarten. „Zudem bestand für große Investitionen in energiesparende Maßnahmen [...] kein Spielraum“, so der VDZ (2008: 18) und begründet dies vor allem mit dem rapiden Umsatzrückgang seit 1999 aufgrund nachlassender Bautätigkeit. Erst ab 2006 setzte durch die verbesserte Baukonjunktur sowie durch steigende Exporte ein Erholungseffekt ein. Die Modernisierungen beschränkten sich zunächst nach Angaben des Verbandes auf die für den Erhalt der Anlagen erforderlichen Ersatzinvestitionen. In den Jahren 2006 und 2007 wurden jedoch auch mehrere Projekte zur Modernisierung von Ofen- bzw. Mahlanlagen durchgeführt, die erst in den folgenden Jahren emissionswirksam werden (VDZ 2008: 18). Nach 2010 wurden an mehreren Anlagen Klinkerkühlersysteme modernisiert (VDZ 2013: 17).

Fazit: Auch für die Zukunft ist keine Umkehr des Trends der Senkung der energetisch bedingten spezifischen CO₂-Emissionen zu erwarten. Der Spielraum für eine weitere Verringerung scheint begrenzt zu sein. Voraussetzung hierfür sind eine

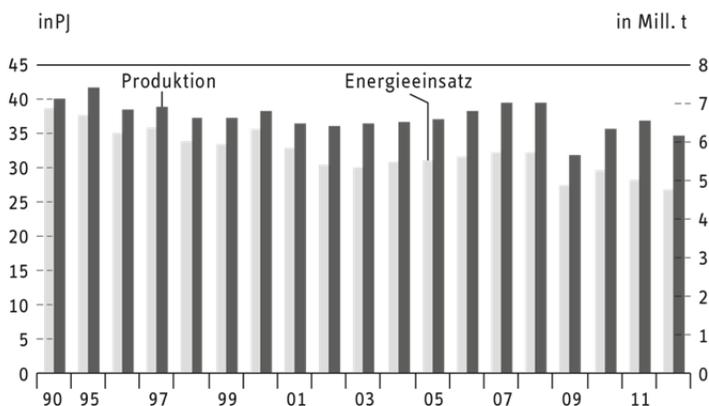
CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

weitere Verbesserung der Marktakzeptanz für Zementprodukte mit mehreren Hauptbestandteilen sowie eine deutliche Erhöhung der Investitionen in die Energieeffizienz verbessernde Maßnahmen oder gar Neuanlagen. Dabei dürfte sich die Erholung der Bauwirtschaft als hilfreich erweisen. Ob der Emissionshandel substanzielle 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 stellen wichtige Vorleistungen für viele andere Sektoren dar. Mit einem Anteil von gut 35 % ist die Eisen- und Stahlindustrie nach Angaben des Verbandes der wichtigste Abnehmer von Kalkprodukten. Es folgen der Bausektor mit knapp 30 % und der Umweltsektor mit 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 % auf 6,6 Mill. t (Schaubild 11.1). Zwischen 2004 und 2008 stieg sie aufgrund der Erholung der Baunachfrage und der stabilen Stahlkonjunktur wieder um 7,5 % auf 7 Mill. t, um dann infolge der Wirtschaftskrise im Jahr 2009 auf 5,7 Mill. t zu sinken. In den Jahren 2010 bis 2012 lag die Kalkproduktion zwischen 6,1 und 6,5 Mill. t.

Schaubild 11.1
Produktion und Energieverbrauch der Kalkindustrie
 1990 bis 2012



Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

11.1 Datenbasis

Die Datengrundlage für die im Rahmen des vorliegenden Berichtes erfolgende Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen wird in Form von Produktions- und Energieverbrauchswerten ausschließlich vom Bundesverband der Deutschen Kalk-

industrie (BV-Kalk) bereitgestellt. Die Informationen zum Energieverbrauch der Kalkindustrie wurden in den früheren Monitoringberichten bis zum Bericht 2000-2002 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 seitdem nicht mehr, da die neue Erhebung des Statistischen Bundesamtes über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes die Verbrauchsdaten für die Kalkindustrie seit 2003 nicht mehr getrennt ausweist.

11.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Kalkindustrie stellte in den Jahren 2011 und 2012 rund 6,5 Mill. t Kalk her (Schaubild 11.1) und befindet sich somit etwa auf dem Niveau von 2010. Der Energieverbrauch ging jedoch um rund 3 PJ zurück. Betrag dieser im Jahr 2010 29,7 PJ, so lag er im Jahr 2012 bei 26,8 PJ.

Schaubild 11.1 verdeutlicht, dass der Zusammenhang zwischen Produktion und Energieverbrauch, die in der Vergangenheit gleichgerichtete Schwankungen aufwiesen, sich in den letzten Jahren leicht gelockert hat. Lag der Korrelationskoeffizient beider Größen für 1995 bis 2004 bei ca. 0,91, betrug er für den Zeitraum 1995 bis 2008 0,71 und stieg für den Zeitraum 1995 bis 2012 auf 0,81 an.

Ein Energiekostenanteil von ca. 40 % an den Herstellungskosten pro Tonne Kalk ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Kalkindustrie zu den energieintensiven Industrien zählt (Landsberg 2004: 52). Dies bestätigt sich, wenn man Energieintensität als das Verhältnis von Energieverbrauch und Umsatz definiert. Der entsprechende Wert lag für die Kalkindustrie im Jahr 2012 bei 38,3 MJ/€. Zum Vergleich: Die innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes ebenfalls zu den energieintensiven Sektoren gehörende Zementindustrie wies im selben Jahr einen Wert von rund 40 MJ/€ auf. Der Anteil der Kalkindustrie am gesamten Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes fällt mit knapp 1 % dennoch gering aus. Mit 0,03 % ist hingegen der entsprechende Umsatzanteil dieses Sektors noch weitaus geringer.

11.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Das Ausgangsmaterial zur Herstellung von Kalkprodukten wie Stückkalk, Feinkalk oder Kalkhydrat ist Kalkstein, das hohe Anteile an Calciumcarbonat (CaCO₃, Kalkstein) enthält. Der Prozess zur Herstellung von Kalkerzeugnissen besteht aus drei Verfahrensschritten. Der erste Schritt umfasst die Exploration, Gewinnung und Aufbereitung des Kalksteins. 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. Ein ähnlicher Prozess läuft auch bei der Herstellung von Zementklinker 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 energieaufwändig.

11.4 Die Selbstverpflichtung

Die Selbstverpflichtungserklärung der Kalkindustrie vom 15.12.2000 sah 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. t 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 % wurde folglich ein Zielwert von fast 384 kg CO_2 /t Kalk angestrebt. Bei einem Verharren der Produktionsmenge auf dem 1990er Niveau von 7,1 Mill. t, impliziert das bei der avisierten Minderung der spezifischen Emissionen eine Senkung der absoluten Emissionen um bis zu 482 800 t CO_2 pro Jahr.

Für die Jahre nach 2005 hat die deutsche Kalkindustrie die Selbstverpflichtungserklärung weiterentwickelt und sich bereit erklärt, eine Reduktion der spezifischen CO_2 -Emissionen um 15 % auch für 2012 gegenüber 1990 anzustreben (BV-Kalk 2008a). Damit ist der Zielwert gleichgeblieben. Zur Begründung wurde angeführt, dass der technische Wirkungsgrad von 85 % durch den Einsatz optimaler Brennaggregate in den Ofenaggregaten der Kalkindustrie technisch kaum noch zu verbessern sei. Die Minderungsmöglichkeiten seien zudem noch dadurch begrenzt, da rund zwei Drittel der Emissionen aus den chemischen Umwandlungsprozessen von Kalkstein zu Kalk, dem sogenannten Prozess der chemischen Entsäuerung, stammen, der nicht zu beeinflussen sei (BV-Kalk 2008a; IPPC 2001: 84).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Übersicht 11.1

Selbstverpflichtung der Kalkindustrie

Ziel	Verringerung der <i>brennstoffbedingt</i> anfallenden spezifischen CO ₂ -Emissionen bis 2012 um bis zu 15 % auf nahezu 384 kg CO ₂ /t Kalk.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

11.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Im Jahr 2012 konnten die spezifischen CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um 15,7 % bzw. auf 381 kg CO₂/t verringert werden (Tabelle 11.1). Damit wurde das für 2012 in der erweiterten Selbstverpflichtung avisierte Minderungsziel von 15 % zu 105 % im Jahr 2012 erreicht. Im Vorjahr betrug der Zielerreichungsgrad 111 %.

Tabelle 11.1

Brennstoffbedingt anfallende spezifische CO₂-Emissionen der Kalkindustrie

1990 bis 2012; gerundete Werte. Minderungsziel: -15 % sowohl bis 2005 als auch bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Emissionen in kg CO ₂ /t	452	398	417	387	391	376	381
Minderung in %	-	11,9	7,7	14,4	13,5	16,7	15,7
Zielerreichungsgrad in %	-	79,3	51,3	95,9	90,0	111,3	104,6

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

Die absoluten CO₂-Emissionen konnten zwischen 1990 und 2012 ebenfalls verringert werden, um rund 0,88 Mill. t bzw. um 27,3 % (Tabelle 11.4). Ihre Reduktionsrate übertraf somit die der spezifischen Emissionen von 15,7 %.

11.6 Ursachenanalyse

Eine Ursache für Veränderungen der absoluten CO₂-Emissionen ist in der Produktionsentwicklung zu sehen. Während zwischen 1990 und 2001 ein deutlicher Rückgang der Produktion von 7,4 Mill. t auf 6,4 Mill. t zum Sinken der Emissionen beitrug, erfolgte bis 2008 erneut ein Produktionsanstieg auf 7 Mill. t, und damit ein Emissionen steigernder Impuls. In Folge der Wirtschaftskrise sank die Produktion im Jahr 2009 um knapp 1,3 Mill. t auf den bisher mit Abstand niedrigsten Produktionswert von 5,7 Mill. t. Im Zuge der wirtschaftlichen Erholung wurde seit 2010 ein erneuter Anstieg auf leicht oberhalb von 6 Mill. t realisiert.

Insgesamt sank die Produktion zwischen 1990 und 2012 um 16,0 %. Wäre 2012 ebenso viel produziert worden, wie im Jahr 1990, das heißt gut 1 Mill. t mehr, wären bei dem spezifischen CO₂-Emissionswert des Jahres 2012 von 381 kg CO₂/t rund 381 000 t CO₂ mehr ausgestoßen worden, als dies tatsächlich geschehen ist.

Tabelle 11.2
Spezifischer Energieverbrauch der Kalkindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Verbrauch in GJ/t	5,425	5,094	5,255	4,716	4,697	4,329	4,361
Minderung in %	-	6,1	3,1	13,1	13,4	20,2	19,6

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

Emissionsminderungen wurden daneben vor allem durch die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs erzielt. Dieser konnte in der Kalkindustrie zwischen 1990 und 2012 um 19,6 % auf rund 4,36 GJ/t Kalk verringert werden (Tabelle 11.2). Dabei sank der spezifische Energieverbrauch zwischen 1990 und 2005 um 13,1 % von 5,425 GJ/t auf 4,716 GJ/t; zwischen 2003 und 2008 war der Rückgang mit 0,7 % auf 4,5905 GJ/t nur noch gering. Im Jahr des wirtschaftlichen Einbruchs 2009 stieg der spezifische Verbrauch deutlich, auf 4,828 GJ/t, an (Tabelle 11.2). Die Ursache für diesen Anstieg ist darin zu sehen, dass die Brennöfen der Kalkindustrie wegen des drastischen Produktionseinbruchs nicht ausgelastet waren und damit wärmespezifisch nicht optimal eingesetzt wurden. Mit dem Produktionsanstieg seit dem Jahr 2010 ging eine Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs einher.

Die spezifischen Emissionen sanken zwischen 1990 und 2012 mit 15,7 % weniger stark als der spezifische Energieverbrauch mit 19,6% (Tabelle 11.1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der anfängliche Trend hin zu kohlenstoffärmeren Energieträgern wie Erdgas sich ab 1999 umkehrte (Tabelle 11.3).

Zwischen 1990 und 1999 halbierte sich der Steinkohleeinsatz, Braunkohlenkoks wurde kaum mehr verbraucht und der Einsatz an Steinkohlenkoks und Braunkohlenstaub wurde deutlich zurückgefahren. 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 einen maßgeblichen Anteil daran, dass die spezifischen CO₂-Emissionen im selben Zeitraum deutlich um 13,1 % gesenkt werden konnten, während der spezifische Energieverbrauch nur um 7,0 % abnahm.

Zwischen 1999 und 2012 nahm der gesamte Brennstoffbedarf um 11,5 PJ ab. Davon entfielen etwa 9,1 PJ auf Erdgas (Tabelle 11.3). Gemessen am gesamten Energiever-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

brauch sank sein Anteil dabei von rund 43,8 % im Jahr 1999 auf 18,4 % im Jahr 2012. Vermutlich infolge deutlich gestiegener Erdgaspreise reduzierte sich damit der Einsatz an Erdgas auf ein Niveau, das weit unter dem von 1990 lag. Mehr als ausgeglichen wurde dies durch den Mehreinsatz an Braunkohlenstaub. Dieser deckte 2012 knapp zwei Drittel des Energieverbrauchs ab.

Tabelle 11.3
Veränderungen des Energiemix der Kalkindustrie
1990 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	1990	1999	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohle	3,5	1,8	1,6	1,1	3,7	4,1	3,5
Steinkohlenkoks	10,7	7,3	7,1	4,7	0,8	0,3	0,1
Braunkohlenkoks	0,7	0,1	0,1	0,0	0	0,0	0,0
Braunkohlenstaub	6,8	5,4	7,9	11,0	14,3	16,2	16,2
Schweres Heizöl	1,5	1,7	1,8	0,9	0,1	0,1	0,0
Leichtes Heizöl	0,4	0,5	0,8	1,3	0,0	0,0	0,0
Erdgas	11,3	13,6	13,3	9,1	8,1	4,9	4,5
Flüssiggas	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Sonstige Brennstoffe	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1
Brennstoffverbrauch	36,0	31,0	33,2	28,6	27,4	25,9	24,5
Nettofremdstrombezug	2,6	2,4	2,5	2,4	2,3	2,4	2,3
Energieverbrauch	38,6	33,4	35,7	31,0	29,7	28,3	26,8

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die CO₂-Intensität des Brennstoffmixes im letzten Jahrzehnt aufgrund der Substitution von Braunkohlenstaub durch Erdgas angestiegen ist. Die im Jahr 2012 gegenüber 1990 erreichten CO₂-Minderungen sind folglich sowohl auf den Produktionsrückgang als auch auf die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs zurückzuführen. Der Wandel im Energieträgermix hat keinen Beitrag geleistet.

Tabelle 11.4
Produktion und CO₂-Emissionen der Kalkindustrie

1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Produktion in Mill. t	7,13	7,41	6,80	6,57	6,32	6,54	6,15
Veränderung in %	-	3,9	-4,6	-7,9	-11,4	-8,3	13,8
Emissionen in Mill. t	3,22	2,95	2,84	2,54	2,47	2,46	2,34
Minderung in %	-	8,4	11,8	21,8	23,3	23,6	27,3

Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie.

11.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

CO₂-Emissionen entstehen vor allem im Kalkbrennprozess. Aber auch auf die dem Brennprozess nachfolgenden Lösch- und Mahlprozesse entfallen erhebliche Mengen an Emissionen (IPCC 2001: iv). Dementsprechend bezwecken viele Maßnahmen die Optimierung und Erneuerung von Brennöfen. Die Minderungsmaßnahmen der Kalkindustrie konzentrieren sich zudem auf die Optimierung des gesamten 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 IPCC-Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung niedergelegt sind.

Der Verband der Kalkindustrie hat in seinem Fortschrittsbericht beispielhaft Maßnahmen zur Energieeinsparung einzelner Unternehmen für die Jahre 2011 und 2012 zusammengestellt, teilweise mit Angaben zur Höhe der Energie- bzw. Energiekosteneinsparung und zur Höhe der dazu erforderlichen Investitionen (BV-Kalk 2013). Einige der durch den Verband genannten Einsparungsmaßnahmen werden im Folgenden dargestellt.

So wurde ein Unternehmen angeführt, das durch den Bau und die Inbetriebnahme eines Förderbandes zum Ofensteintransport jährlich ca. 350 000 kWh einspart. Das Investitionsvolumen betrug etwa 3 Mill. € (Tabelle 11.5). Ein anderes Unterneh-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

men optimierte Anlagen durch energiesparende Elektromotoren und Getriebe, die zu einem Einspareffekt von etwa 10 % bis 15 % führen. Weiterhin wurde Abwärme aus der Druckluftherzeugung zum Beheizen von Produktionsräumen genutzt. Die Kosten beider Maßnahmen beliefen sich auf rund 25 000 Euro. Ein drittes Unternehmen optimierte den Energieverbrauch durch die Einführung eines Energiemanagementsystems. Bei Geräteanschaffungen wurde auf die Energieeffizienzklasse IE-2 geachtet. Zudem wurden Zwischenzähler für den Stromverbrauch installiert, um unterschiedliche Stromverbraucher besser zu identifizieren.

Tabelle 11.5
Ausgewählte Maßnahmen der Kalkindustrie zur Energieeinsparung
2011 und 2012

Maßnahmen	Energiekosten- einsparung bzw. Energieeinsparung	Investitionen in €
Optimierte Transportwege durch Inbetriebnahme eines Förderbandes	350 000 kWh	3 Mill. Euro
Einsatz energiesparender Elektromotoren und Getriebe, sowie Abwärmenutzung	10 % - 15 % Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs	25 000 Euro
Einführung eines Energiemanagementsystems	-	-
Substitution 2er Öfen durch jeweils einen GGR-Ofen	20 % Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs	jeweils 8 Mill. Euro
Optimierung von Produktionsanlagen	445 000 kWh	29 000 Euro

Nach Angaben aus dem Fortschrittsbericht des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie (BV-Kalk 2013).

Im Jahr 2012 installierten zwei Unternehmen jeweils einen GGR-Ofen im Austausch gegen bestehende Anlagen. Dadurch konnte der spezifische Energieeinsatz pro Tonne Kalk um bis zu 0,8 GJ pro Tonne gesenkt werden, was einer Reduktion von rund 20 % entspricht. Die Kosten der Investition beliefen sich jeweils auf rund 8 Mill. Euro.

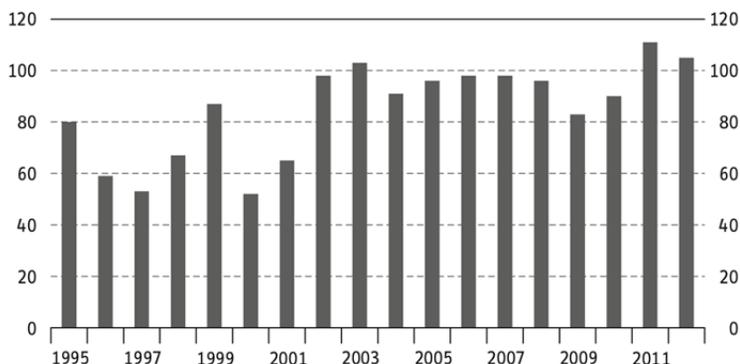
Ein weiteres Unternehmen optimierte seine Produktionsanlagen, darunter Kühlwasserpumpen, Rollenpressen und Filter, wodurch rund 29 000 Euro und Energieeinsparungen von etwa 445 000 kWh erzielt werden konnten.

11.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Kalkindustrie hat sich in der erweiterten Selbstverpflichtung zum Ziel gesetzt, die spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um bis zu 15 % gegenüber 1990 zu senken. 2012 konnten die spezifischen CO₂-Emissionen um 15,7 % bzw. auf 381 kg CO₂/t verringert (Tabelle 11.1) und damit das anvisierte Ziel zu 105 % erreicht werden (Schaubild 11.2).

Die im Jahr 2012 gegenüber 1990 erreichten CO₂-Minderungen gingen sowohl auf einen Produktionsrückgang als auch auf die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs zurück. Zwar vollzog sich mit dem Wechsel von kohlenstoffreichen Brennstoffen wie Steinkohle, Steinkohlen- und Braunkohlenkoks zu kohlenstoffarmen Energieträgern, vor allem Erdgas, vornehmlich im Zeitraum zwischen 1990 und 1999 auch eine Substitution hin zu CO₂-ärmeren Energieträgern. Die umgekehrte Entwicklung, d.h. die Veränderung des Energiemix zugunsten kohlenstoffreicher Brennstoffe, speziell Braunkohlenstaub, konnte jedoch zwischen 1999 und 2012 beobachtet werden.

Schaubild 11.2
Zielerreichungsgrade für die Kalkindustrie
 1995 bis 2012; in %



Aus Sicht der Umwelt ist erfreulich, dass die absoluten jährlichen CO₂-Emissionen der Kalkindustrie zwischen 1990 und 2012 um rund 0,9 Mill. t gesenkt werden konnten (Tabelle 11.4). Auch in der Zukunft ist ein verringerter CO₂-Ausstoß als wahrscheinlich einzustufen. So führen strukturelle Veränderungen in der Eisen- und Stahlindustrie zu einem dauerhaft verringerten Kalkeinsatz.

12. Die Eisenschaffende Industrie

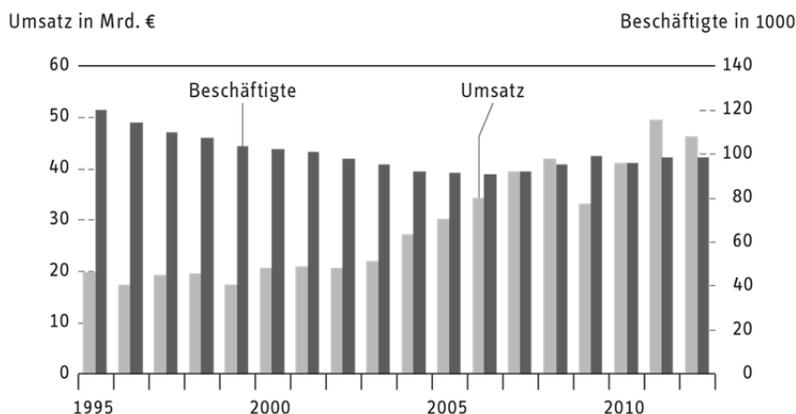
Die Eisenschaffende Industrie, im Folgenden Stahlindustrie genannt, produziert Eisen und Stahl. Die von der Stahlindustrie hergestellten hochwertigen Stahlfertigerzeugnisse sind u. a. zentrale Ausgangsstoffe für die Kraftfahrzeugindustrie, den Maschinen- und Anlagenbau und die Bauwirtschaft. Damit ist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

Die Stahlindustrie erzielte in den Jahren 2011 und 2012 mit 49,7 Mrd. € bzw. rund 46,3 Mrd. € etwa 22 % bzw. 14 % mehr als im Jahr 2010 (Schaubild 12.1). Gleichzeitig sank die Rohstahlproduktion von etwa 43,8 Mill. t im Jahr 2010 auf rund 44,3 Mill. t im Jahr 2011 bzw. 42,7 Mill. t im Jahr 2012. Die Beschäftigung sank ebenfalls um rund 2 000 Personen auf insgesamt etwa 88 000 Beschäftigte.

Schaubild 12.1

Umsatz und Beschäftigte der Betriebe der Stahlindustrie

1995 bis 2012; Beschäftigungsstand jeweils am Jahresende



Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl 2008, 2009)
ab 2009 statistisches Bundesamt

12.1 Datenbasis

Die Stahlindustrie wird vertreten durch die Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl). Im Rahmen des CO₂-Monitorings stellt die WV Stahl Angaben zur Rohstahlproduktion und zum Energieverbrauch bereit. Darüber hinaus publiziert das Stahlzentrum jährlich umfangreiches Datenmaterial über die Branche (Stahlzentrum 2011). Hieraus können Informationen zum Umsatz und zur Beschäftigung entnommen werden. Weitere internationale Vergleichszahlen zur Produktion stellt die

Worldsteel Association (ehemals *International Iron and Steel Institute*) bereit (IISI 2010).

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

In der Wirtschaftszweigklassifikation WZ2008 führt das Statistische Bundesamt die Stahlindustrie unter den Positionen 24.1 „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen“ (in WZ2003 geführt unter Position 27.10) und Position 24.2 „Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl“ (ehemals Position 27.22). Der Verbrauch an Brennstoffen und elektrischer Energie wird im Rahmen der Eisen- und Stahlstatistik regelmäßig publiziert (BGS 2011).

Die Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl und des Statistischen Bundesamts zum emissionsrelevanten Energieverbrauch zeigen sich weitgehend deckungsgleich. Geringfügige Abweichungen ergeben sich durch unterschiedliche Annahmen bezüglich der Heizwerte, dem Feuchtigkeitsgehalt der Kohle und Bereinigungen in der Statistik. Wie zuvor bilden daher die Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl die Berechnungsgrundlage für den vorliegenden Monitoringbericht über die Stahlindustrie.

Bei der Stahlindustrie muss zwischen Netto- und Bruttoenergieverbrauch unterschieden werden. Der Bruttowert berücksichtigt über den Nettowert hinaus auch den Energieverbrauch, 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. Indessen ist der Kohlenstoffgehalt der Kuppelgase bereits mit den verwendeten Primärenergieträgern berücksichtigt. Um Doppelzählungen bei den CO₂-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 CO₂-Emissionen, der für die Zielerreichung der Stahlindustrie relevanten Kenngröße, bilden die im Nettoenergieverbrauch berücksichtigten Energieträger die Basis.

Der Nettoenergieverbrauch und der Energiemix der Stahlindustrie sind in Tabelle 12.1 dargestellt. Die Energieträger Strom und Koks nehmen eine herausragende

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Rolle im Energiemix ein. Etwa 45,8 % der netto verbrauchten Energie wurde 2010 aus Steinkohlenkoks und -koksgrus gewonnen, der Anteil des fremdbezogenen Stroms lag bei rund 16,2 %. Rechnet man zu dem Nettoenergieverbrauch den Verbrauch an Kuppelgasen hinzu, ergibt sich der Bruttoenergieverbrauch von gut 795 PJ im Jahr 2010. Im Jahr 2012 fiel der Bruttoenergieverbrauch inklusive der Kuppelgase um rund 32 PJ auf rund 763 PJ.

Tabelle 12.1
Energieverbrauch der Eisenschaffenden Industrie
1990 bis 2012; in PJ; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Steinkohle	56,6	57,9	80,3	96,2	64,5	128,2	123,1	129,8
Koks und Koksgrus (trocken)	408,8	351,2	357,6	318,4	250,9	322,8	308,6	289,4
Schweres Heizöl	43,4	62,2	36,6	31,3	11,7	12,7	13,6	10,2
Erdgas, sonstige Gase	103,0	88,6	93,6	89,0	70,9	90,9	79,0	88,5
Kokereigas	66,2	51,1	39,2	36,8	29,6	35,1	36,0	36,1
Nettofremdstrombezug	130,5	145,5	165,8	136,2	119,7	114,4	128,6	125,5
Nettoenergieverbrauch	823,6	757,0	773,5	707,9	547,3	704,1	688,8	679,5
Bruttoenergieverbrauch (inkl. Kuppelgase)	790,2	811,2	852,9	787,2	609,6	794,6	k.A	762,7

Nach Angaben des Stahl-Zentrums im Rahmen des Monitorings sowie eigene Berechnungen.

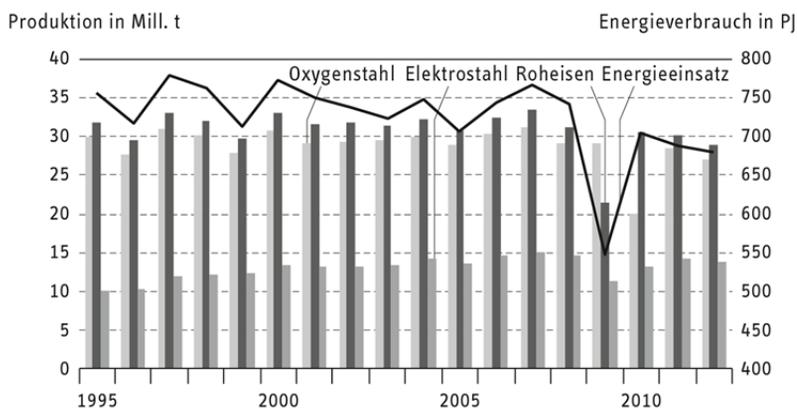
12.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Stahlindustrie als Lieferant eines der zentralen Ausgangsstoffe des produzierenden Gewerbes hängt erheblich von konjunkturellen Schwankungen ab. Die Stahlindustrie erzeugte 2010 in ihren Hochofenanlagen rund 28,6 Mill. t Roheisen und insgesamt 43,8 Mill. t Rohstahl, davon rund 30,6 Mill. t Oxygenstahl. Elektro-stahl hatte 2010 einen Anteil von knapp 30 % an der gesamten Rohstahlerzeugung. An warmgewalzten Stahlerzeugnissen wurden 2010 mit 36,8 Mill. t rund 8 Mill. t mehr als gegenüber dem Vorjahr produziert. Im Jahr 2012 wurden etwa 42,7 Mill. t Rohstahl erzeugt. Die Menge an warmgewalzten Stahlerzeugnissen betrug rund 36,5 Mill. t.

Für das Monitoring relevant ist indessen der Nettoenergieverbrauch, der 2012 bei gut 680 PJ lag (Schaubild 12.2). Gemessen daran wurden netto 15,9 GJ je t Rohstahl

an Energie aufgewendet, eine Minderung von rund 15,2 % gegenüber dem Vergleichswert von 18,76 GJ je t aus dem Jahr 1990.

Schaubild 12.2
Produktion und Nettoenergieverbrauch in der Stahlindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl 2007b, 2009)

12.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Rohstahl wird in Deutschland 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 gebrochen und gesiebt, bevor sie in den Hochofen kommen. Damit eine Durchgasung des Hochofens möglich ist, müssen Feinerze vor der Ofenbeschickung durch Pelletieren oder Sintern agglomeriert werden.

Die Pelletierung verdichtet die angefeuchteten Feinsterze mechanisch. Die Pellets werden anschließend getrocknet und bei Temperaturen oberhalb von 1 000°C

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

gebrannt. Pelletieranlagen stehen vorwiegend bei Eisenerzeugern; 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 Sinterrohmschmelze 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.

Die aufbereiteten Primärrohstoffe – der Möller – werden dem Hochofen über ein Band oder einen Aufzug (Skip) zugeführt. Zentral für den Hochofenprozess sind die Reduktionsmittel. Diese enthalten Kohlenstoff (C) und werden benötigt, um durch Reaktion mit Windsauerstoff CO-Gas zu bilden und damit den im Eisenoxid vorhandenen Sauerstoff (O) zu binden und das Eisen (Fe) zu isolieren. Dabei entsteht unter anderem Kohlendioxid (CO₂). Das in der Stahlindustrie alles überragende Reduktionsmittel ist Koks. Teilweise wird Koks durch Kohle, Öl, Gas oder aufbereitete Altkunststoffe ersetzt.

Der Hochofen hat die Aufgabe, unter Zuhilfenahme von Reduktionsmitteln aus Eisenerzen flüssiges Roheisen zu erzeugen. Ein Hochofen arbeitet nach dem Gegenstromprinzip: Der Möller (Eisenerze und Koks) sinkt von oben nach unten und das im Unterofen durch Reaktion von Luftsauerstoff mit Kohlenstoff entstehende Reduktionsgas steigt von unten nach oben (Tauben 1998: 64). Das Gichtgas (Hochofengas) wird am oberen Ende des Hochofens abgeführt und gereinigt. Es besteht etwa zu 49 % aus Stickstoff und zu je 23 % aus Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂) und 5 % Wasserstoff. Nach einer Reinigung kann es als Brennstoff genutzt werden, beispielsweise im Verbund mit Hüttenkokereien zur Koksproduktion und/oder im Verbund mit einem Kraftwerk zur Stromerzeugung. Der Kohlenstoffgehalt der Kupelgase wird bereits mit den verwendeten Primärenergieträgern einbezogen, weswegen deren Verwendung zur Energieerzeugung im Monitoring nicht berücksichtigt wird.

Der Ofen wird von oben schichtweise mit Eisenerzmöller und Koks befüllt. Die Schichten durchlaufen nun verschiedene thermische Zonen. Dabei nimmt die Temperatur zum Hochofenfuß hinzu. Im untersten Teil des Hochofens sammeln sich das flüssige Roheisen und die entstandene Schlacke, die unter anderem Gangartbestandteile der Erze und der Reduktionsmittel enthält. Roheisen und Schlacke werden aus dem Hochofen abgestochen und voneinander getrennt. Ein erheblicher Teil der Schlacke findet in granulierter Form als Hüttsand Verwendung in der Zementindustrie und ersetzt dort den Zementklinker. Der verstärkte Einsatz von Hüttsand bei der Zementherstellung stellt grundsätzlich eine aus Ressourcensicht

bedeutende Möglichkeit dar, den auf die Tonne Zement bezogenen Energieverbrauch und damit CO₂-Emissionen zu senken.

Um den Hochofenprozess in Gang zu halten, muss der Ofen dauerhaft mit Heißwind versorgt werden. Dazu wird Luft verdichtet und in Winderhitzern durch per Brenner erhitzten Feuerfestbesatz regenerativ auf Temperatur gebracht. Als Brennstoff wird häufig gereinigtes Gichtgas benutzt (Taube 1998: 53). Im unteren Bereich des Hochofens 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 (O₂) des Windes zunächst CO₂. Durch die in dieser Schmelzzone herrschende hohe Temperatur bildet sich entsprechend dem Boudouard-Gleichgewicht aus Kohlendioxid (CO₂) und dem in den Reduktionsmitteln enthaltenen 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.

Das entstehende Kohlenmonoxid steigt im Hochofen auf und erreicht somit die Reduktion der Erze. Die aufsteigenden Gase erwärmen die Beschickung. Im Eisen lösen sich geringe Mengen Kohlenstoff, wodurch die Schmelztemperatur des Eisens von etwa 1 534° C auf etwa 1 300° C gesenkt wird. Die Begleitelemente der Einsatzstoffe bilden eine flüssige Schlacke und können so abgetrennt werden. Roheisen und Schlacke sammeln sich im unteren Bereich des Hochofens und verlassen den Hochofen über ein zu öffnendes Stichloch im unteren Bereich mit einer Temperatur von rund 1500 °C. Die übrige Menge an Reduktionsgas (CO) steigt hingegen weiter auf in die kühleren Hochofenzonen.

Das erzeugte flüssige Roheisen enthält neben Silizium (0,4 %), Schwefel (0,04 %) und Phosphor (0,07 %) 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 in das Roheisen eingebracht und der enthaltene Kohlenstoff oxidiert. Bei diesem als „Frischen“ bezeichneten exothermen 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). 2010 wurden etwa

398 Mill. m³ (i.N.) Konvertergas in der Stahlindustrie erzeugt (BGS 2010), von denen rund 58 % dem Selbstverbrauch zugeführt wurde.

Bei der Herstellung von Elektro Stahl 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 Verfahrensrouten jedoch Strom.

Der über die Hochofen-Konverter-Route 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 Stahlschmelze vergossen. Heutzutage wird der flüssige Stahl in der Regel kontinuierlich im Stranggussverfahren zu Brammen, Vorblöcken oder Knüppeln vergossen. In Deutschland liegt heute der Anteil des im Stranggussverfahren erzeugten Stahls bei rund 97 %.

12.4 Die Selbstverpflichtung

Die Stahlindustrie hat im März 1996 eine Selbstverpflichtungserklärung abgegeben, in der sie die Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen bis 2005 um mindestens 16 % im Vergleich zu 1990 zusagte. Dabei wurden die spezifischen Emissionen mit Bezug zur Walzstahlfertigung errechnet. Im Mai 2001 wurde mit Blick auf das Zieljahr 2012 eine erweiterte Selbstverpflichtungserklärung zur Klimavorsorge abgegeben, in der eine „um 5 bis 6 Prozentpunkte gegenüber dem ursprünglichen Zieljahr 2005 erhöhte spezifische CO₂-Minderung“ zugesagt wurde (Stahl-Zentrum 2001).

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

Angaben nach Stahlzentrum (2001).

Ferner wurde in der erweiterten Erklärung die Bezugsbasis von Walzstahlerzeugung auf Rohstahlerzeugung geändert. Ein Grund für den Wechsel der Bezugsbasis in der erweiterten Selbstverpflichtungserklärung waren Änderungen bei der statistischen Berichterstattung der Walzstahlerzeugung, welche fortan nicht mehr vom Statistischen Bundesamt ausgewiesen wurde. Bezogen auf die erzeugte Menge an

Rohstahl wurde daher für 2012 eine Reduktion des rohstoff- und energiebedingten spezifischen CO₂-Ausstoßes um 22 % gegenüber 1990 zugesagt (Übersicht 12.1).

1990 wurden bei einer Rohstahlerzeugung von 43,9 Mill. t insgesamt etwa 70 Mill. t CO₂ emittiert (Tabelle 12.2). Dies entspricht einem spezifischen Emissionswert von 1 594 kg CO₂/t Rohstahl. Die Stahlindustrie verpflichtet sich folglich mit ihrer erweiterten Selbstverpflichtung, die spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 auf maximal 1 243 kg CO₂/t zurückzuführen.

Tabelle 12.2
Produktion, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Stahlindustrie
1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Rohstahl, Mill. t	43,9	42,0	46,4	44,5	32,7	43,8	44,3	42,7
davon: Oxygenstahl	33,1	31,9	33,1	30,9	21,3	30,6	30,1	28,9
davon: Elektrostahl	8,9	10,1	13,3	13,7	11,4	13,2	14,2	13,8
Roheisen, Mill. t	30,1	30,0	30,9	28,9	20,1	28,6	27,9	27,0
Bruttoenergieverbrauch, PJ	902,9	811,2	852,9	787,2	609,6	794,6	k.A.	762,7
Nettoenergieverbrauch, PJ	823,6	756,9	773,5	707,9	547,3	704,1	688,8	679,5
Emissionen, Mill. t	70,0	63,7	65,5	60,2	46,2	60,8	59,2	57,8

Nach Angaben des Stahl-Zentrums im Rahmen des Monitoring. Im Jahr 1990 wurden zudem noch etwa 2 Mill. t Rohstahl über das Siemens-Martin-Verfahren erzeugt.

Hinsichtlich der in der Selbstverpflichtung von 2001 gewählten Bezugsgröße der Rohstahlerzeugung hat die WV Stahl (Stahlzentrum 2009) in einer Zusatzerklärung zu ihrem Fortschrittsbericht darauf hingewiesen, dass auf allen Stufen der Wertschöpfungskette, angefangen von der Sinterung bis zur Roheisen-, Rohstahl- und Walzstahlproduktion, CO₂-Emissionen anfallen und dies bei der korrekten Ermittlung des Wertes der spezifischen CO₂-Emissionen berücksichtigt werden sollte. Dazu die Rohstahlerzeugung als Bezugsgröße heranzuziehen, erscheint nicht adäquat. Um einen Eindruck von dem Effekt einer wechselnden Bezugsgröße zu geben, wird im Folgenden ergänzend eine alternative Betrachtung der Ergebnisse auf Basis der Walzstahlerzeugung gegeben. Ungeachtet dessen ist der CO₂-Monitoringauftrag an die im Jahr 2001 abgegebene Selbstverpflichtungserklärung mit der Bezugsbasis Rohstahlerzeugung gebunden.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

12.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Die absoluten CO₂-Emissionen der Stahlindustrie betragen 2012 rund 57,8 Mill. t und betrug somit rund 3 Mill. t weniger im Vergleich zum Jahr 2010 (Tabelle 12.2). Grund dafür ist in erster Linie die konjunkturbedingte Verringerung der produzierten Menge an Rohstahl und Roheisen gegenüber dem Jahr 2010.

Die spezifischen CO₂-Emissionen hingegen sanken im Jahr 2012 auf 1 356 kg CO₂ je t Rohstahl (Tabelle 12.3). Gegenüber 1990 entspricht dies einer Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen um 15,0 %. Die Stahlindustrie hat damit im Jahr 2012 ihre Minderungszusage für 2012 zu rund 68 % erfüllt.

Tabelle 12.3
Spezifische CO₂-Emissionen je Tonne Rohstahl
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Spez. Emissionen, kg CO ₂ /t	1 594	1 515	1 412	1 351	1 414	1 387	1 336	1 356
Minderung, %	-	5,0	11,4	15,3	11,3	13,0	16,2	15,0
Zielerreichung, %	-	22,7	51,8	69,6	51,4	59,0	73,6	68,2

Nach Angaben des Stahl-Zentrum im Rahmen des Monitoring.

Tabelle 12.4
Spezifische Emissionen je Tonne Stahlfertigprodukte
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Stahlfertigprodukte, Mill. t	37,0	36,2	40,7	39,9	30,6	40,8	k.A.	38,6
Spez. Emissionen, kg CO ₂ /t	1 891	1 761	1 608	1 508	1 512	1 489	k.A.	1 496
Minderung, %	-	6,9	15,0	20,2	20,0	21,3	k.A.	21,0

Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl und des Stahlinstituts VDEh im Rahmen des Monitoring. Stahlfertigprodukte bildet die Summe aus warmgewalzten Stahlerzeugnissen, nahtlosen Stahlrohren und Schmiedefertigerzeugnissen ab.

Bezogen auf den gesamten Bereich der CO₂-Entstehung, wie warmgewalzte Stahlfertigprodukte, nahtlose Stahlrohre und Schmiedefertigerzeugnisse, wird auch die Effizienzsteigerung für den Bereich der Weiterverarbeitung durch z. B. die Steigerung des Stranggießanteils, die Verringerung des Aufkommens von Kreislaufschnitt

und entsprechende Prozessverbesserungen berücksichtigt. Damit konnte die Eisenausbringung von 85 % im Jahr 1990 auf rund 90 % gesteigert werden. Das bedeutet, dass je Tonne Fertigprodukt weniger Eisen benötigt wird und somit weniger CO₂-Emissionen entstehen. Folgerichtig verringern sich die spezifischen CO₂-Emissionen in Bezug auf die Stahlfertigprodukte stärker als in Bezug auf die Rohstahlproduktion – nämlich um 21,0 % von 1,891 t CO₂/t im Jahr 1990 auf 1,496 CO₂/t im Jahr 2012. (Tabelle 12.4). So berechnet wäre man dem Ziel, die spezifischen Emissionen bis zum Jahr 2012 um 22 % zu senken, bereits zu gut 95% erreicht.

12.6 Ursachenanalyse

Die kohlenstoffintensive Roheisenproduktion ist die wesentliche CO₂-Quelle in der Stahlindustrie. Schaubild 12.3 zeigt – jeweils gemessen zum Vorjahr – die prozentuale Veränderung des Nettoenergieverbrauchs, der CO₂-Emissionen und der Roheisenproduktion. Die beiden entsprechenden Kurven liegen zumeist ununterscheidbar übereinander, d.h. die Entwicklung dieser Größen verlief seit 1996 nahezu Hand in Hand. Deutlich erkennbar ist der Einbruch der Roheisenproduktion im Jahr 2009, um fast 31 % gegenüber dem Vorjahr. Die im Vergleich etwas weniger stark ausgeprägte Emissionsreduktion um 27 % dürfte insbesondere auf die sinkende Auslastung und die daraufhin nicht mehr optimale Fahrweise der Hochofenanlagen zurückzuführen sein. Im Jahr 2010 stiegen in Folge der wirtschaftlichen Erholung parallel zur Roheisenproduktion der Nettoenergieverbrauch und entsprechend die CO₂-Emissionen an. Das Verhaltensmuster blieb allerdings dasselbe, so dass die Kurven weiterhin zumeist ununterscheidbar übereinander liegen. In den Jahren 2011 und 2012 kehrte das Verhältnis von Roheisenproduktion zu Nettoenergieverbrauch und CO₂-Emissionen zurück.

Mit Blick auf die Rohstahlproduktion sind im langfristigen Vergleich zum Referenzjahr 1990 indessen sinkende CO₂-Emissionen bei steigender Rohstahlproduktion zu beobachten. Ursächlich für diese Entwicklung ist auch die zunehmende Bedeutung des Elektrostahls an der Gesamterzeugung. Damit verbunden ist ein abnehmender Produktionsanteil der Rohstahlproduktion über die kohlenstoffreiche Hochofenroute. Der Anteil von Elektrostahl an der gesamten Rohstahlerzeugung stieg von 20,1 % im Jahr 1990 auf inzwischen rund 32,3 % im Jahr 2012 (Tabelle 12.2), gleichzeitig reduzierte sich der Anteil von Sauerstoffstahl auf 68 %.

Elektrostahl ist sowohl weniger kohlenstoff- als auch energieintensiv, weil in der Erzeugung kein Kohlenstoff in Form von Koks zur Reduktionsarbeit benötigt wird, sondern Schmelzenergie in Form von Strom verwendet wird. Für die Produktion von Elektrostahl wird zu mehr als 90 % Strom eingesetzt; in vergleichsweise geringen Mengen auch Erdgas und Steinkohle. Mit diesem Produktionsweg ist ein im

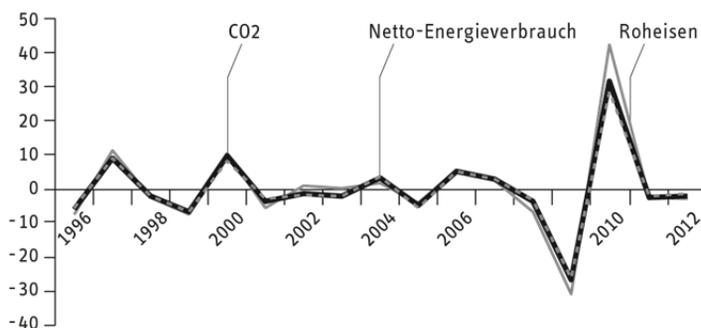
CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Vergleich zur Hochofen-Konverter-Route geringerer CO₂-Ausstoß je t Rohstahl verbunden, da insbesondere der sehr kohlenstoffhaltige Koks nicht verwendet wird. Nach Angaben der Branche werden inzwischen auch zunehmend Qualitäts- und Edelstahl auf der Elektrostahl-Route produziert.

Schaubild 12.3

Veränderung der Roheisenerzeugung, des Nettoenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen

1996 bis 2012; in Prozent im Vergleich zum Vorjahr



Eigene Berechnung

Auf der Hochofenroute betreibt die Stahlindustrie verstärkt Anstrengungen, die Kohlenstoffintensität zu mindern. Hierfür steht der Branche eine Reihe von Möglichkeiten offen, wie effiziente Sinterung oder Änderungen in der Reduktionsmittelzusammensetzung. Ein weiterer kaum zu unterschätzender Effekt zur Einsparung von CO₂-Emissionen ist die Möglichkeit, die im Produktionsprozess anfallenden Kuppelgase wie Hochofen- und Konvertergas zu nutzen und auf diesem Wege den Verbrauch z.B. an Erd- und Koksofengas zu reduzieren. Mehr als Dreiviertel der bei der Roheisenerzeugung verwendeten Energie aus Brenngasen – beispielsweise für die Erzeugung von Heißwind zur Hochofenbefuerung oder zur Eigenstromerzeugung – wird aus Kuppelgasen gespeist. Da im Monitoring der Kohlenstoffanteil dieser Gase bereits mit den im Produktionsprozess eingesetzten Primärenergieträgern wie Koks und Steinkohle berücksichtigt worden ist, wird der Energiegehalt dieser Gase genutzt, ohne dass zusätzlich CO₂ emittiert wird.

12.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Neben der ständigen Optimierung der Anlagen können u. a. für die Berichtsjahre 2011 und 2012 beispielweise die folgenden Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Verringerung der CO₂-Emissionen genannt werden:

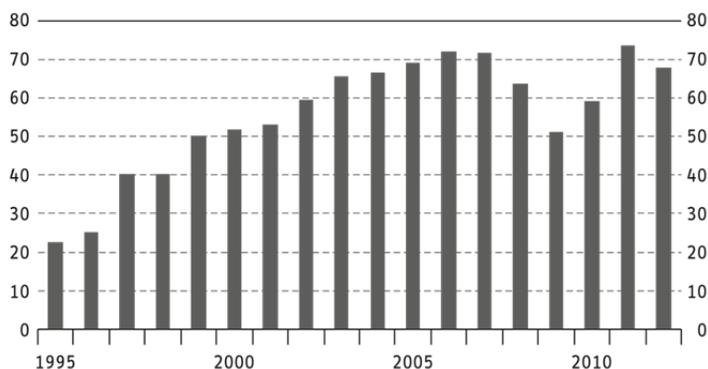
Im Jahr 2012 lag die Produktion leicht unterhalb der des Jahres 2010. Die von der Stahlindustrie in diesem wirtschaftlichen Umfeld durchgeführten Maßnahmen zur Emissionsverringerung werden im 11. CO₂-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie (Stahl-Zentrum 2013) dargestellt. So wurde beispielsweise die Nutzung im Produktionsprozess entstehender Kuppelgase in einem Oxygenstahlwerk verbessert. In der Folge sinkt der Energieverbrauch in der Produktion um rund 55 000 GJ pro Jahr. Weiterhin konnte der Stromverbrauch durch veränderte Bauweisen sowie die Modernisierung von Sensoren in einem Beispiel um 24 000 MWh pro Jahr vermindert werden. Dies entspricht CO₂-Emissionen von rund 16 000 t. In einem dritten Fall konnte der Erdgasverbrauch durch den Austausch von Brennern um rund 30 % reduziert werden und somit eine CO₂-Einsparung in Höhe von etwa 8 000 t pro Jahr erzielt werden.

12.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Stahlindustrie hat in ihrer Selbstverpflichtung zur Klimavorsorge bis 2012 eine Reduktion des auf die Rohstahlerzeugung bezogenen rohstoff- und energiebedingten spezifischen CO₂-Ausstoßes um 22 % gegenüber 1990 zugesagt. Bis 2012 konnten die spezifischen Emissionen weitgehend kontinuierlich auf 1 356 kg CO₂ je t Rohstahl gesenkt werden. Damit betrug der Zielerreichungsgrad im Jahr 2012 rund 68 %.

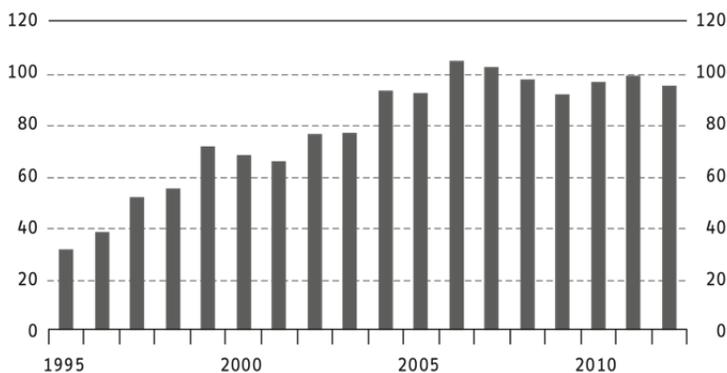
Die Wirtschaftsvereinigung Stahl hat darauf hingewiesen, dass die Rohstahlerzeugung als Bezugsbasis zur Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen ungeeignet ist, weil die Rohstahlerzeugung nur einen Teilausschnitt der energieintensiven Produktion darstellt. Tatsächlich bilden beispielsweise warmgewalzte Stahlfertigprodukte das Endresultat der Produktion. Dem Energieverbrauch für das Warmwalzen eines Importüberschusses an Rohblöcken und Halbzeug steht keine adäquate Bezugsgröße in der inländischen Rohstahlerzeugung gegenüber. Mit einer Erzeugung von 42,7 Mill. t Rohstahl im Jahr 2012 wurden im Vergleich zu 1990 rund 2,7 % weniger Rohstahl erzeugt. Die Fertigung von Walzstahl stieg im selben Zeitraum um 23 %. Die in den Walzwerken für die Verarbeitung des Importüberschusses an Rohblöcken und Halbzeug anfallenden CO₂-Emissionen werden in Relation zu einer stagnierenden Bezugsgröße gesetzt, und schlagen daher bei der Berechnung der spezifischen Emissionen pro Tonne Rohstahl stark erhöhend zu Buche.

Schaubild 12.4
Zielerreichungsgrad der Stahlindustrie
1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen

Schaubild 12.5
Zielerreichungsgrad der Stahlindustrie
1995 bis 2012; in %; Bezugsgröße: Stahlfertigprodukte



Eigene Berechnungen

Bezieht man die CO₂-Emissionen in einer Alternativbetrachtung auf die Menge an erzeugten Stahlfertigprodukten, mithin auf die Summe an warmgewalzten Stahlfertigprodukten, nahtlosen Stahlrohren und Schmiedefertigerzeugnissen, so ergibt

sich der in Schaubild 12.5 dargestellte Minderungspfad für die spezifischen Emissionen. Ausgehend von 1 891 kg CO₂ je t Stahlfertigerzeugnis im Jahr 1990, sinkt dieser Wert bis 2010 auf 1 496 kg CO₂/t. Dies entspricht einer Minderung um 21,0 % (Schaubild 12.5). Diese alternative Betrachtung verdeutlicht, dass man das Ziel, die spezifischen Emissionen bis zum Jahr 2012 um 22 % zu senken, bereits zu rund 95 % erfüllt hätte, wenn man als Bezugsgröße die Erzeugungsmenge an Stahlfertigerzeugnissen wählen würde.

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 und Bearbeitung von Aluminium hat die volumenmäßig größte Bedeutung (WVM 2004).

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 Vorprodukte in Form von Metallen und Legierungen an andere Branchen. Wichtigste Abnehmer für die Produktion der NE-Metallindustrie sind das Baugewerbe, die Kraftfahrzeug-, Luft- und Raumfahrzeugindustrie, die Elektrotechnik sowie der Maschinenbau (WVM 2003, 2005).

Die wirtschaftliche Situation der Branche wird neben 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 2003: 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 24.4, „Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen“, geführt. Die Angaben zur produzierten Menge wurden von der Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM) auf Grundlage der Fachserie 4, Reihe 3.1, des Statistischen Bundesamtes zusammengestellt.

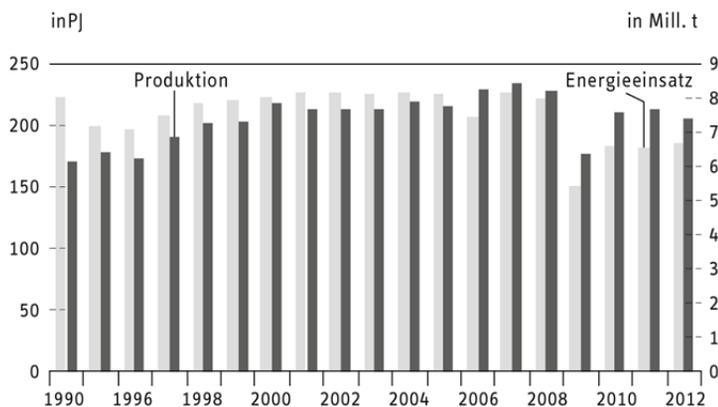
Als Grundlage für die Angaben zum Energieeinsatz diente bis 2002 die Fachserie 4, Reihe 4.1.1. Das Statistische Bundesamt hat die Energieverwendungsstatistik jedoch grundlegend überarbeitet. Methodische und konzeptionelle Änderungen bei der Erhebung haben ab dem Berichtsjahr 2003 zu teilweise erheblichen 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. Seit 2005 führt die WVM eine

vollständige Eigenerhebung durch, um dem beschleunigten Monitoringverfahren Rechnung zu tragen.

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 der Gütergruppe 24.4, sondern in der Gießereiindustrie (24.5) ausgewiesen wird. Die Zusammenfassung des Energieverbrauchs der Bunt- und Leichtmetallgießereien (24.53 und 24.54) mit dem des Wirtschaftszweigs 24.4 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 CO₂-Emissionen werden im Fortschrittsbericht des Verbandes beschrieben (WVM 2011).

Schaubild 13.1
Produktion und Energieverbrauch der NE-Metallindustrie
 1990 bis 2012



WVM (2013).

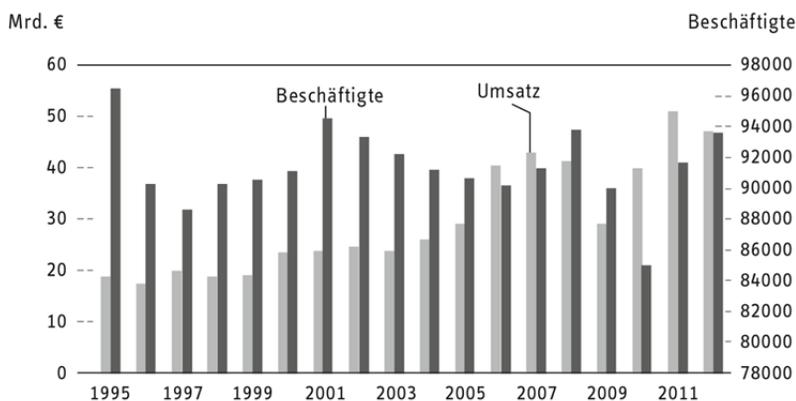
13.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Die produzierte Menge an NE-Metallen wuchs zwischen 1995 und 2008 von 6,1 Mill. t auf 8,2 Mill. t, fiel in Folge der Wirtschaftskrise im Jahr 2009 um knapp 1,8 Mill. t auf 6,4 Mill. t ab und stieg im Jahr 2010 auf 7,6 Mill. t an. Im Jahr 2012 lag die Produktion bei rund 7,4 Mill. t (Schaubild 13.1). Somit betrug das durchschnittliche Produktionswachstum zwischen 1990 und 2012 etwa 1,0 %. Der Energiever-

brauch lag 1990 bei mehr als 224 PJ, sank aber bis 1995 auf knapp 200 PJ. Bis 2005 stieg der Verbrauch erneut auf ein Niveau von knapp 226 PJ. Im Jahr 2008 reduzierte sich der Energieverbrauch infolge des leichten Produktionsrückgangs gegenüber dem Vorjahr um etwa 4 PJ auf knapp 223 PJ. Infolge des krisenbedingten Produktionsrückgangs von etwa 1,5 Mill. t einschließlich der Halbierung der Erzeugung von Primäraluminium gegenüber dem Jahr 2008, sank der Energieverbrauch erheblich und betrug im Jahr 2009 knapp 151 PJ, bzw. 32% weniger gegenüber dem Vorjahr. Im Jahr 2010 stieg der Energieverbrauch auf rund 183 PJ, im Jahr 2012 auf rund 186 PJ an.

Im Vergleich aller am Monitoring beteiligten Industriebereiche lag die Nichteisen-Metallindustrie damit auf dem vierten Rang hinter der Eisenschaffenden, der Chemischen sowie der Zellstoff- und Papierindustrie. Die Energieintensität – gemessen als Verhältnis aus Energieverbrauch und Umsatz – betrug im gleichen Jahr 4,0 MJ/€. Dies entspricht im Vergleich zu den anderen energieintensiven Industriezweigen im Monitoring einem mittleren Rang.

Schaubild 13.2
Beschäftigte und Umsatz der NE-Metallindustrie
1995 bis 2012



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

Der Umsatz der NE-Metallindustrie stieg zwischen 1995 und 2008 um durchschnittlich 6,4 % pro Jahr auf etwa 41 Mrd. €. In 2009 fiel der Umsatz gegenüber dem Vorjahr jedoch aufgrund krisenbedingt gesunkener Metallpreise und rückläufiger Produktionsmengen um knapp 12 Mrd. € bzw. 29 % auf 29 Mrd. € ab. Der Umsatz des Jahres 2010 war mit rund 39,6 Mrd. € knapp 10 Mrd. € höher im Ver-

gleich zum Vorjahr. Gleichzeitig sank die Beschäftigung auf etwa 85 000 Beschäftigte ab, wovon knapp 56 000 in der Erzeugung und ersten Bearbeitungen und etwa 29 000 im Guss arbeiteten. Seitdem sind die Produktion, der Umsatz und auch die Anzahl der Beschäftigten angestiegen. So erwirtschafteten im Jahr 2012 die rund 94 000 Beschäftigten mit einer Produktion von etwa 7,4 Mill. t rund 47 Mrd. € Umsatz.

13.3 Beschreibung des Produktionsprozesses

Nach Darstellung des WVM umfasst die Herstellung von NE-Metallen eine große Anzahl verschiedener Verfahren, die sowohl pyrometallurgischer als auch hydro-metallurgischer 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 werden: Pyrometallurgische Schmelzprozesse finden meist im Hochtemperaturbereich über 1 000° C statt. Auch Raffinations- oder Reduktions-elektrolysen haben einen hohen Energiebedarf. So liegt der Stromverbrauch für die Herstellung von Primäraluminium bei etwa 13,5 MWh/t (WVM 2004). 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 % (WVM/Metallstatistik 2008: 1). Die Metallerzeugung aus sekundären Materialien verbraucht im Vergleich zur Primärproduktion deutlich weniger Energie. Bei der

Herstellung von Sekundär-Aluminium sind beispielsweise weniger als 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.

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 2006). Die Erklärung von 1996 wird durch die neue Selbstverpflichtung nicht außer Kraft gesetzt, welche daher erst ab dem Berichtsjahr 2006 zugrunde zu legen ist.

Nach der Selbstverpflichtungserklärung vom März 1996 wurde 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 CO₂-Ausstoß wird nicht genannt.

Übersicht 13.1

Selbstverpflichtung der NE-Metallindustrie

Ziel 2005	Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs um 22 % auf 28,5 GJ/t.
Ziel 2012	Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs um 24 % auf 27,8 GJ/t.
Basisjahr	1990

Angaben aus WVM (1996: 3 und 2006: 2).

13.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Die NE-Metallindustrie hat bei der Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs beachtliche Erfolge aufzuweisen. Bis 2000 gelang es, den spezifischen Energieeinsatz auf 28,4 GJ/t zu verringern (Tabelle 13.1). Bezogen auf das Zieljahr 2005 entspricht dies einem Zielerreichungsgrad von 101,2 %. Dieser niedrige spezifische Verbrauch konnte allerdings nicht beibehalten werden: 2005 lag er bei 29,0 GJ/t. Das Ziel, den spezifischen Energieverbrauch bis 2005 um 22 % gegenüber 1990 zu mindern, wurde dennoch zu 94 % erreicht; im Vergleich zum Zieljahr 2012 mit einer Minderung um 24 % entsprach dies einem Zielerreichungsgrad von 86 % (Schaubild 13.3 und Tabelle 13.1). Bei der Bewertung dieses Ergebnisses ist jedoch

zu berücksichtigen, dass aufgrund des Übergangs zum beschleunigten Monitoringverfahren und der damit notwendigen Eigenerhebung der Energieverwendungsdaten das Endjahr der ersten Selbstverpflichtung mit einem Methodenwechsel in der Datenerfassung zusammenfällt. Dies könnte den Zielerreichungsgrad beeinflusst haben.

Zu einem besonders starken Rückgang des spezifischen Verbrauchs kam es 2006: Der Wert sank um mehr als 13 % auf 25,1 GJ/t. Der Grund für die Verringerung des spezifischen Energieeinsatzes war ein hohes Produktionswachstum bei gleichzeitig sinkendem Energieeinsatz. Nach Informationen der WVM sank 2006 durch die vorübergehende Stilllegung der Aluminiumelektrolyse in Hamburg der Stromverbrauch in der NE-Metallindustrie um rund 1,8 TWh bzw. fast 19 PJ. Der Rückgang der Produktion von Hüttenaluminium war dagegen mit rund 121 000 t vergleichsweise gering. Zudem gab es gleichzeitig ein hohes Wachstum bei der Gewinnung von Sekundärmetallen sowie der Produktion von Halbzeug und Metallguss. Insgesamt wuchs die Produktion in der NE-Metallindustrie 2006 um mehr als 6 % (Tabelle 13.6). Da die Herstellung von Halbzeug und Guss sowie die Gewinnung von Sekundärmetallen weit weniger energieintensiv ist, als die Produktion von Hüttenaluminium, wurde 2006 rund 18 PJ bzw. rund 8 % weniger Energie eingesetzt, als 2005 (Tabelle 13.3). Obwohl die Produktion in der besagten Aluminiumhütte im Laufe des Jahres 2007 wieder hochgefahren wurde und der spezifische Verbrauch daraufhin wieder stieg, lag der Zielerreichungsgrad immer noch bei rund 110 %. Der hohe Zielerreichungsgrad wurde auch durch die endgültige Stilllegung der Aluminiumhütte in Stade Ende 2006 beeinflusst. Mit etwa 55 000 t Primäraluminium lag der Produktionsausfall unterhalb der Produktionszunahme der Aluminiumhütte in Hamburg. Insgesamt stieg der Stromverbrauch im Jahr 2007 gegenüber 2006, weil auch die Erzeugung anderer Metalle und die Metallbearbeitung leicht wuchsen.

Im Jahr 2008 stieg der spezifische Energieeinsatz im Vergleich zum Vorjahr trotz allgemeinem Produktionsrückgang leicht an. Dies ist auf den Anstieg der energieintensiven Produktion von Primäraluminium zurückzuführen. Dem Erreichen des Emissionszieles im Jahr 2012 steht dies aber nicht entgegen, da es bereits zu 108,6 % im Jahr 2008 realisiert werden konnte (Tabelle 13.1).

Im Jahr 2009 sank der spezifische Energieeinsatz um fast 12 % gegenüber dem Vorjahr ab und erreichte mit 23,8 GJ/t einen Tiefststand, der mit einem Zielerreichungsgrad von 145,7 % einhergeht. Die Ursache für die Absenkung des spezifischen Energieeinsatzes liegt im drastischen Rückgang der besonders energieintensiven Metallerzeugung, vor allem der Erzeugung von Primäraluminium, die um rund 50 % gegenüber 2008 einbrach. Die geringe Auslastung der Aluminiumelekt-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

rolysen und die Stilllegung der Zinkelektrolyse in Datteln Ende 2008 haben den Stromverbrauch um rund 5 TWh reduziert.

Mit dem Beginn der wirtschaftlichen Erholung im Jahr 2010 stieg der spezifische Energieeinsatz gegenüber dem Vorjahr leicht an und erreichte mit 24,0 GJ/t einen Wert, der mit einer Zielerreichung von rund 143 % einhergeht. Dies hing vor allem mit niedrigen Auslastungsgraden in der energetisch aufwendigen Primäraluminiumherstellung zusammen. So war die größte deutsche Aluminiumelektrolyse im Jahr 2010 nur zu gut 20 % ausgelastet. Im Jahr 2012 lag der spezifische Energieeinsatz mit rund 25 GJ/t leicht höher als 2 Jahre zuvor.

Tabelle 13.1
Spezifischer Energieeinsatz der NE-Metallindustrie

1990 bis 2010; Ziel: Minderung des spez. Energieeinsatzes bis 2005 um 22 % und bis 2012 um 24 % gegenüber 1990

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Spez. Energieeinsatz, GJ/t	36,6	31,1	28,4	29,0	23,8	24,0	23,5	25,0
Minderung in %	-	15,0	22,3	20,6	35,0	34,4	35,7	31,8
Zielerreichungsgrad in %								
Ziel 2005	-	68,3	101,2	93,8	-	-	-	-
Ziel 2012	-	62,6	92,8	86,0	145,7	143,3	148,8	132,6

Nach Angaben der WVM (2013).

Auch die spezifischen CO₂-Emissionen konnten seit 1990 deutlich verringert werden. Bis 2000 sanken sie auf 1 816 kg CO₂/t, was einer Reduktion von fast 24 % gegenüber 1990 entspricht. Nachdem die spezifischen Emissionen bis 2005 wieder etwas gestiegen waren, gingen sie 2006 gegenüber 1990 um mehr als 33 % auf 1 583 kg CO₂/t zurück. Ursache ist die vorübergehende Stilllegung der Aluminiumhütte in Hamburg. Zwar stiegen die spezifischen Emissionen 2007 erneut, lagen mit 1 701 kg CO₂/t aber 28,5 % unter dem Wert von 1990. Demgegenüber blieb die Gesamtemissionsmenge 2005 und 2007 etwa auf dem Niveau des Basisjahres. Im Jahr 2008 reduzierten sich die Gesamtemissionen gegenüber dem Vorjahr um etwa 400 000 Tonnen und betragen etwa 14 Millionen Tonnen CO₂. Dies entspricht etwa 1 709 kg CO₂ pro Tonne hergestellter und bearbeiteter Nichteisenmetalle, sodass die Reduktion der spezifischen Emissionen gegenüber dem Basisjahr 28,1 % betrug. Im

Jahr 2012 lag der spezifische Energieeinsatz mit 25 GJ/t rund 32 % unter dem von 1990 (Tabelle 13.1).

Vergleichbar zum Rückgang des spezifischen Energieverbrauchs sanken die CO₂-Emissionen im Jahr 2009 gegenüber dem Vorjahr um fast 300 kg CO₂/t auf 1 420 kg CO₂/t. Dies entspricht einem Rückgang von mehr als 40 % gegenüber dem Jahr 1990. Im Jahr 2010 stieg der spezifische Energieeinsatz gegenüber dem Vorjahr leicht an. Infolge dessen erfolgte ebenfalls ein leichter Anstieg der spezifischen Emissionen um 10 kg CO₂/t auf insgesamt rund 1 430 kg CO₂/t. Damit lagen die spezifischen Emissionen im Jahr 2010 um 39,9 % niedriger im Vergleich zum Jahr 1990. Im Jahr 2012 steigen die spezifischen Emissionen mit 1 483 kg CO₂/t gegenüber 2010 leicht an, blieben aber rund 32 % niedriger im Vergleich zu 1990.

Tabelle 13.2
CO₂-Emissionen der NE-Metallindustrie
1990 bis 2010

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Emissionen, Mill. T	14,6	12,9	14,3	14,3	9,0	10,9	10,8	11,0
Spez. Emissionen, kg CO ₂ /t	2 378	2 005	1 816	1 834	1 420	1 430	1 398	1 483
Reduktion in %	-	15,7	23,6	22,9	40,3	39,9	41,2	37,6

Nach Angaben der WVM (2013).

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, ab 2000 hat sich dieses Verhältnis umgekehrt (WVM 2005: 86). So stieg beispielsweise der Anteil von Sekundäraluminium an der gesamten Aluminiumproduktion zwischen 1990 und 2008 von fast 43 % auf 54 % und betrug 2009 krisenbedingt sogar 66 % (WVM/Metallstatistik 2001, WVM 2010). Im Jahr 2010 ging dieser Anteil auf 60 % zurück, obwohl die Produktion von Sekundäraluminium um etwa 50 000 t anstieg. Im Jahr 2012 betrug der Anteil von Sekundäraluminium etwa 61 % und war somit fast unverändert gegenüber 2010. Allerdings lässt sich die Auswirkung des Recyclings auf den spezifischen Energieverbrauch nicht exakt quantifizieren, da detaillierte Informationen zum spezifischen Energieverbrauch für die Produktion aus Primär- bzw. Sekundärrohstoffen nicht

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

vorliegen und die Sekundärerzeugung zum Teil vom hohen Energieeinsatz der Primärerzeugung profitiert (z. B. Einschmelzen von Altmetall).

Tabelle 13.3
Energiemix der NE-Metallindustrie
1990 bis 2012; in PJ; gerundet

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Steinkohlen	-	-	-	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
Steinkohlenbriketts	3,0	1,3	0,4	-	-	-	-	-
Steinkohlenkoks	6,1	4,9	3,6	0,2	0,4	0,3	0,0	0,3
Braunkohlenstaub	-	-	-	0,0	-	-	-	-
Schweres Heizöl	2,0	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,4	1,4
Leichtes Heizöl	4,5	3,7	3,2	2,2	1,3	1,9	1,0	0,6
Erdgas	23,1	26,1	33,4	35,2	30,6	37,2	34,4	37,4
Flüssiggas	-	-	-	0,4	0,1	0,1	0,0	0,5
Kokereigas	1,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	-	-
Sonst. Regelbrennstoffe	-	-	-	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
Primärbrennstoffe	40,0	37,5	42,0	40,0	34,9	41,4	37,7	41,3
Nettoremfremdstrombezug	184,1	162,3	181,7	186,0	116,2	141,5	144,1	144,4
Energieverbrauch	224,1	199,8	223,7	226,0	151,1	182,9	181,8	185,7

Nach Angaben der WVM (2013).

Die spezifischen CO₂-Emissionen gingen von 1990 bis 2012 um 37,6 % auf 1483 kg CO₂/t zurück (Tabelle 13.2) und 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 2012 auf 20,1 %. Damit ist der Energieträgerwechsel zum Erdgas nach Angaben des WVM weitgehend abgeschlossen. Gleichzeitig nahm die Bedeutung kohlenstoffreicher Brennstoffe wie Steinkohlenbriketts und Steinkohlenkoks ab, während Strom nach wie vor den Energiemix in der NE-Metallindustrie dominiert. Kohlenstoffreiche Energieträger wie zum Beispiel Steinkohlen- oder Petrolkoks werden in der NE-Metallindustrie heute überwiegend stofflich verwendet oder im Produktionsprozess als Reduktionsmittel (vor allem zum

Metallrecycling) eingesetzt. Aufgrund der Selbstverpflichtung, den spezifischen Energieverbrauch zu senken, sind jedoch nicht-energetische Verwendungsarten nicht Gegenstand des Monitorings.

Dividiert man die CO₂-Emissionen durch den Energieverbrauch, so ergeben sich durchschnittliche Emissionen je Energieeinheit, gemessen in kg CO₂/GJ. Der moderate Wandel im Energiemix hin zu kohlenstoffarmen Energieträgern spiegelt sich in dieser Größe wider (Tabelle 13.4). Während 1990 noch 65,1 kg CO₂/GJ emittiert wurden, reduzierte sich dies bis 2012 auf 59,5 kg CO₂/GJ. Damit geht nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen auf den Wandel im Energiemix zurück.

Tabelle 13.4
CO₂-Emissionen je Energieeinheit der NE-Metallindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
kg CO ₂ /GJ	65,1	64,6	63,9	63,2	59,6	59,5	59,4	59,5

Nach Angaben der WVM (2013).

Der weitaus größere Teil kam durch die Steigerung der Energieeffizienz sowie des steigenden Anteils der Verarbeitung gegenüber der Metallherzeugung zustande. Der spezifische Energieeinsatz als Maß hierfür sank seit 1990 um 31,8 % auf 25,0 GJ/t im Jahr 2012 (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.

13.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die Unternehmen der NE-Metallindustrie haben im Jahr 2011 und 2012 die Anstrengungen zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs fortgesetzt. Energieeffizienz ist eine wesentliche Voraussetzung, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können. Zudem entzieht das im internationalen Vergleich sehr hohe Niveau der Energiepreise Investitionsmittel zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz (WVM 2013).

Die Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz konzentrierten sich in den Jahren 2011 und 2012 wiederum auf kontinuierliche Verbesserungsprozesse, Abwärmenutzung sowie Querschnittstechnologien. Der höchste Energieverbrauch entfällt auf die Elektrolyse. Hier sind die technischen Potenziale weitgehend ausgereizt und im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses in den kommenden Jahren nur noch kleine Fortschritte zu erzielen. Bei der Wärmebehandlung,

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

die etwa ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs ausmacht, bestehen noch etwas größere Effizienzpotenziale. Schwerpunkt war die verbesserte Nutzung von Abwärme. Auf Querschnittstechnologien entfallen branchenweit weniger als 10 % des gesamten Energieverbrauchs. Gleichwohl realisieren die Unternehmen vielerorts in Bereichen elektrische Antriebe, Heizung und Kühlung, Druckluft sowie Beleuchtung spezifische Verbesserungen.

Von einer Vielzahl von Maßnahmen der NE-Metallindustrie zur Senkung des CO₂-Ausstoßes werden im Folgenden einige näher betrachtet (Tabelle 13.5). Die Umrechnung der Energieeinsparungen erfolgte dabei 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 CO₂-Faktor 0,67 t CO₂/MWh umgerechnet. Der Umrechnungsfaktor für Erdgas beträgt 0,18 t CO₂/MWh und setzt sich aus dem Produkt der beiden Faktoren 3,249 GJ/MWh und 0,056 t CO₂/GJ zusammen.

Tabelle 13.5
Ausgewählte CO₂-Minderungsmaßnahmen der NE-Metallindustrie
2011 und 2012

Maßnahme	Zeitraum	Jährliche Reduktion	Jährliche CO ₂ -Minderung
Nutzung von Abwärme	2011-2012	35 Mio.kWh (Erdgas)	6 300 t CO ₂
Verbesserte Ofenabdeckungen	2012-2013	1,3 Mio. kWh (Strom)	870 t CO ₂
Effizienzverbesserungen / Abwärmee-nutzung	2011-2012	3,5 Mio. kWh (Erdgas)	630 t CO ₂
Austausch von Pumpen	2011	0,63 Mio. kWh (Strom)	420 t CO ₂
Modernisierung von Warmhalteöfen	ab 2012	0,09 Mio. kWh (Strom)	60 t CO ₂
Effizienzverbesserungen bei Lost Foam Aluminiumguss	2011-2013	0,06 Mio. kWh (Strom)	40 t CO ₂

Nach Angaben der WVM (2013).

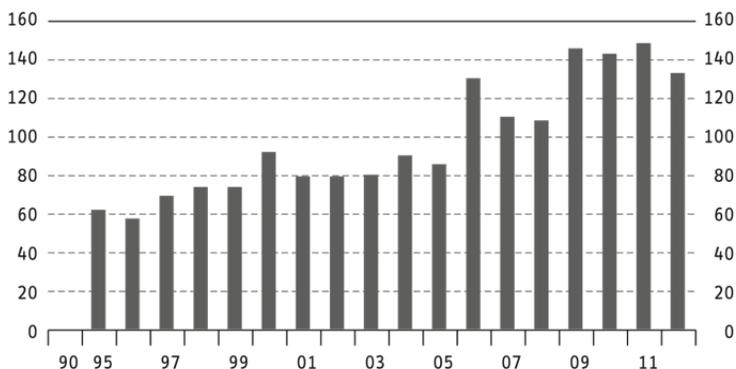
Unterstellt, die Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in der NE-Metallindustrie waren jeweils zu Beginn eines Jahres wirksam, führten die aufgeführten Maßnahmen zu einer jährlichen Energieeinsparung von insgesamt 40,6 TJ, der überwiegende Teil davon durch einen geringeren Erdgasverbrauch. Die CO₂-

Emissionen reduzieren sich durch die beschriebenen Maßnahmen um etwa 12 150 t pro Jahr.

13.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die NE-Metallindustrie hat ihr für 2012 formuliertes Ziel, den spezifischen Energieverbrauch um 24 % gegenüber 1990 zu reduzieren, im Jahr 2012 bereits zu 133 % erreicht (Schaubild 13.3). Neben der konsequenten Realisierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ist der Erfolg sowohl auf das verstärkte Recycling als auch auf marktbedingte Veränderungen im Produktmix der NE-Metallindustrie zurückzuführen.

Schaubild 13.3
Zielerreichungsgrade der NE-Metallindustrie
 1995 bis 2012; in %



Der Einfluss des Recyclings und des Produktmix auf den spezifischen Energieverbrauch wird im Zeitablauf deutlich: Während das Produktionsvolumen zwischen 1990 und 2012 um 20,5 % auf 7,8 Mill. t stieg (Tabelle 13.6), fiel der Energieverbrauch um etwa 17 % (Tabelle 13.3). Das gesetzte Minderungsziel für 2012 wurde unter anderem deshalb erreicht, weil der Anteil der besonders energieintensiven Erzeugung von Primärmetallen bis 2012 von fast 55 % im Jahr 1990 auf knapp 39 % sank. Im Gegenzug erhöhte sich die weniger energieintensive Erzeugung von Sekundärmetallen. Zudem erhöhte sich der Anteil der Produktion von Halbzeug am Produktmix der NE-Metallindustrie im gleichen Zeitraum von knapp 46 % auf etwa 54 % (Tabelle 13.6).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 13.6
Produktmix der NE-Metallindustrie
1990 bis 2012; in 1 000 t

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Metalle	2 662	2 362	2 834	2 736	2 143	2 368	2 469	2 412
Halbzeug	2 816	3 312	4 202	4 162	3 545	4 305	4 283	4 106
Guss	660	643	842	899	690	942	974	925
Insgesamt	6 138	6 317	7 878	7 797	6 378	8 036	8 088	7 788
Primärmetalle	1 393	1 255	1 401	1 311	821	1 107	1 141	1 093
Sekundärmetalle	1 154	1 108	1 353	1 425	1 291	1 261	1 293	1 285

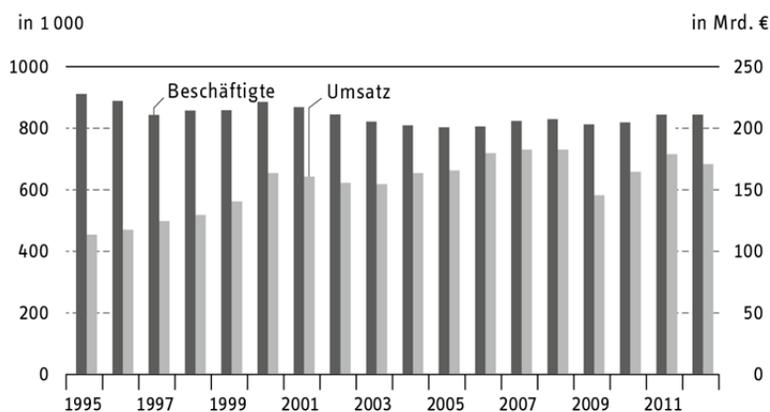
Nach Angaben der WVM (2013).

Abgesehen von Sonderfaktoren in einzelnen Jahren sind offenbar auch für die Erfüllung der Minderungszusage bis 2012 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 durch die Rohstoffmärkte beeinflusst.

14. Die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

Die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie ist Lieferant wesentlicher Basis- und Querschnittstechnologien sowohl für Produkte des Endverbrauchs als auch für Vorleistungsgüter. Ihr breitgefächertes Produktportfolio umfasst Sparten wie die Herstellung von industriellen Prozesssteuerungsanlagen und Elektromotoren über Bauelemente, medizinische Geräte und orthopädischer Vorrichtungen bis hin zur Telekommunikations- Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik sowie Haushaltsgeräten.

Schaubild 14.1
Beschäftigte und Umsatz in der Elektroindustrie
 1995 bis 2012



Nach Angaben des ZVEI.

Dieser im Folgenden kurz mit Elektroindustrie bezeichnete Industriezweig wies nach Angaben des Zentralverbandes Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) zwischen 1995 und 2010 mit 2,9 % ein durchschnittliches Umsatzwachstum auf, das leicht über dem des gesamten Verarbeitenden Gewerbes lag (Schaubild 14.1). Einen Höhepunkt des Wachstums dieses Sektors markierte das Jahr 2000, in welchem ein Umsatz von rund 163 Mrd. € erzielt wurde. Danach sank der Umsatz bis 2003 auf ein Niveau von etwa 154 Mrd. € zurück, um bis 2007 auf 182 Mrd. € anzusteigen. Auf diesem Niveau verharrte der Umsatz auch 2008. 2009 führte die Wirtschaftskrise auch hier zu einem tiefen Einbruch um mehr als 20 %. Im Jahr 2010 konnte mit einem Umsatzwachstum von 13 % auf 164 Mrd. € ungefähr die Hälfte des Verlustes von 2009 wieder aufgeholt werden. 2011 konnte der Umsatz auf 178 Mrd. € gesteigert werden, 2012 betrug er 170 Mrd. €. Die wirtschaftliche Situation der Elektroin-

dustrie folgte damit in etwa der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, die nach einem wachstumsstarken Jahr 2000 von einer dreijährigen Phase der Stagnation gekennzeichnet war. Danach erfolgte erneut ein mehrjähriger Aufschwung, der 2008 zu einem Ende kam und 2009 in eine tiefgehende Wirtschaftskrise mündete. Bereits 2010 nahm das Verarbeitende Gewerbe wieder um 14,5 % zu. 2012 blieb die wirtschaftliche Entwicklung der Elektroindustrie dagegen hinter dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes zurück.

Das Umsatzwachstum dieser Branche wurde begleitet von einem leichten Abbau der Arbeitsplätze (Schaubild 14.1). Insgesamt ist zwischen 1995 und 2010 ein jahresdurchschnittlicher Rückgang von 0,5 % auf 841 000 Beschäftigte zu verzeichnen. Die Zahl der Arbeitskräfte sank damit in der Elektroindustrie etwas langsamer als im Verarbeitenden Gewerbe.

Die Elektroindustrie zählt mit einem Anteil von knapp 10 % am Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes neben dem Fahrzeug- und Maschinenbau zu den bedeutendsten Wirtschaftszweigen. Der entsprechende Anteil am Energieverbrauch beträgt hingegen nur gut 4 %. Die Elektroindustrie kann somit als energieextensive Branche bezeichnet werden.

14.1 Datenbasis

Die wesentliche Datengrundlage, für die im Rahmen des vorliegenden Monitoringberichtes erfolgende Berechnung der CO₂-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 aktuell nach der Systematik der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008) in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes unter den folgenden Nummern aufgeführt werden: 23.44 Herstellung von keramischen Erzeugnissen für sonstige technische Zwecke 26.1 Herstellung von elektronischen Bauelementen und Leiterplatten, 26.20 Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten und peripheren Geräten, 26.30 Herstellung von Geräten und Einrichtungen der Telekommunikationstechnik, 26.40 Herstellung von Geräten der Unterhaltungselektronik, 26.51.1 Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- u.ä. Instrumenten und Vorrichtungen, 26.60 Herstellung von Bestrahlungs- und Elektrotherapie- und elektromedizinischen Geräten, 27.1 Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren, 27.20 Herstellung von Batterien und Akkumulatoren, 27.3 Herstellung von Glasfaserkabeln und sonstigen elektronischen und elektrischen Drähten und Kabeln, 27.40 Herstellung von elektrischen Lampen und Leuchten,

27.51 Herstellung von elektrischen Haushaltsgeräten, 27.90 Herstellung von sonstigen elektrischen Ausrüstungen und Geräten a.n.g.¹⁰, 28.11 Herstellung von Verbrennungsmotoren und Turbinen (ohne Straßenfahrzeuge usw.), 29.31 Herstellung von elektrischen und elektronischen Ausrüstungen für Kraftwagen, 32.50.1 Herstellung von medizinischen und zahnmedizinischen Apparaten und Materialien, 33.20 Installation von Maschinen und Ausrüstungen a.n.g.

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 als auch bei der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten 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.

Aufgrund 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 1995 mit Hilfe eines entsprechenden Produktionsindex ermittelt (ZVEI 2005a: 5). Diese Produktionswerte stellen die Basis für die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs und der spezifischen Emissionen dar.

Die WZ 2008 führt gegenüber der WZ 2003 zu erheblichen Änderungen der Produktzuordnung bei Energieverbrauch und Produktion. Da die Umstellung auf die WZ 2008 beim Energieverbrauch schon für 2008 erfolgte, bei der Produktion die neue Klassifikation erst für 2009 eingeführt wurde, enthalten die jeweiligen Veränderungsraten dieser Jahre einen Bruch. Bei den Werten für den spezifischen Energieverbrauch und die spezifischen Emissionen des Jahres 2008 ist zu berücksichtigen, dass Zähler und Nenner dieser Quotienten unterschiedlichen Klassifikationen zuzurechnen sind.

Da Energieverbrauchsdaten des Statistischen Bundesamtes für das Berichtsjahr 2012 nicht vorlagen, wurde der Energieverbrauch vom ZVEI wie in den Monitoringberichten zuvor auf der Basis einer Befragung ermittelt. Der Energieverbrauch der

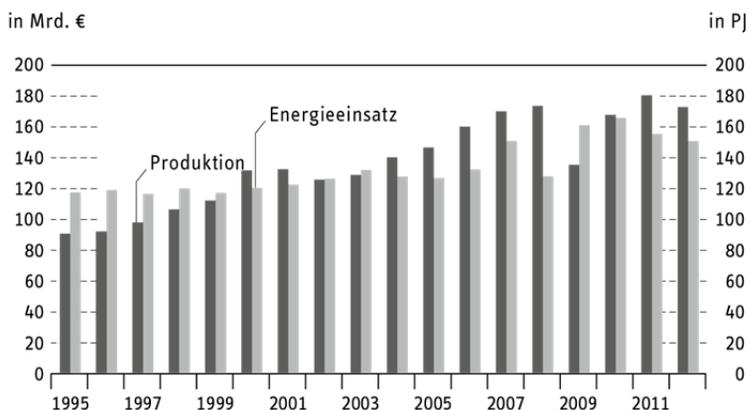
¹⁰ a.n.g. = *anders nicht genannt*.

antwortenden Unternehmen wurde auf die Branche hochgerechnet. Die effektiven Werte des Statistischen Bundesamtes von 2011 wurden dann mit den Veränderungs-raten aus den hochgerechneten Schätzwerten der Jahre 2011 und 2012 fortgeschrieben.

14.2 Energieverbrauch und Produktion

Schaubild 14.2 vermittelt einen Eindruck von der später zu diskutierenden Entkopplung des Energieverbrauchs von der Entwicklung der Produktion. Zwischen 1995 und 2000 blieb der Energieverbrauch in etwa konstant mit Schwankungen 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 um 2,7 %.

Schaubild 14.2
Produktion und Energieeinsatz in der Elektroindustrie
1995 bis 2012



Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

Auffällig ist allerdings, dass 2002 und 2003 der Energieverbrauch weiter zunahm, während die Produktion sank bzw. schwächer anstieg. Ab 2004 gelang wieder eine deutliche Entkopplung des Energieverbrauchs von der Produktionsentwicklung. Diese Entkopplung wird auch in der langfristigen Betrachtung deutlich: Während die Produktion von 1995 bis 2012 im Durchschnitt um 3,9 % pro Jahr wuchs, nahm der Energieverbrauch lediglich mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 1,5 % zu. Bei einem Produktionswachstum von 7,6 % im Jahr 2011 und einem

Rückgang der Produktion um 4,2 % im Jahr 2012 sank der Energieverbrauch um 6,4 bzw. um rund 3,0 %.

14.3 Beschreibung der Produktionsprozesse

Das Spektrum der von der Elektroindustrie hergestellten Produkte ist breit gefächert. Es reicht von Investitionsgütern wie Elektromotoren, Transformatoren, Smart Meter, elektronischen Bauteilen und elektromedizinischen Diagnosegeräten bis zu Konsumgütern wie MP3-Player, elektrischen 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, das 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 CO₂-Emissionen bei den Abnehmern aus Industrie, Stromerzeugung, Haushalten und Verkehr bei. Ziel der Branche ist, sowohl die Haupt- als auch die Nebenprozesse eigener und anderer Produktions- und Verwaltungsbereiche bzgl. der Energiekosten und des Energieverbrauchs zu optimieren und Energie- und CO₂-Einsparungen über den gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte zu erzielen. Nach Angaben des ZVEI könne allein in den Bereichen elektrische Antriebe, Beleuchtung und Kühl-/Gefriergeräte der Stromverbrauch durch den Einsatz elektrotechnischer Produkte um rund 60 Milliarden Kilowattstunden pro Jahr gesenkt werden. Hinzu kommen weitere Energie-Einsparpotenziale durch intelligente Prozessautomatisierung.

Dadurch können pro Jahr ca. 10 Milliarden Kilowattstunden Strom sowie Primärenergie (wie Kohle, Öl und Gas) entsprechend 40 Milliarden Kilowattstunden eingespart werden. 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 CO₂-Emissionen bis 2005 um 35 % und bis 2012 um 40 % gegenüber 1990 zu verringern (Übersicht 14.1). Der erste Teil dieser Verpflichtung konnte realisiert werden. 2005 konnte mit einer Reduktion von 43,6 % ein Zielerreichungsgrad von 125 % erreicht werden (RWI 2008: 191).

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.

Übersicht 14.1

Selbstverpflichtungen der Elektroindustrie

Ziel	Verringerung der spezifischen CO ₂ -Emissionen bis 2012 um 40 %.
Basisjahr	1990

Nach Angaben des ZVEI (2001).

Die Zusage zur Minderung der spezifischen, nicht aber der absoluten CO₂-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 (CO₂) sind für die Elektroindustrie zwei weitere Klimagase relevant, polyfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆). Zur Reduzierung dieser Emissionen verweist der ZVEI auf europäische und internationale Initiativen, die unter maßgeblicher Beteiligung der in Deutschland produzie-

renden 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 SF₆ im Bereich Energieerzeugung und -verteilung wurde 2005 zusammen mit dem Lieferanten von SF₆ und den Stromnetzbetreibern eine Selbstverpflichtung gegenüber dem Bundesumweltministerium abgegeben (VDN 2007). Das Ziel, bis 2020 die Gesamtemissionen von SF₆ auf 17 t/a zu begrenzen, ist nach Informationen des ZVEI trotz fortlaufender jährlicher Produktionssteigerung bereits 2012 mit 17,2 t/a in greifbarer Nähe gerückt.

14.5 Bis 2012 erzielte CO₂-Minderungen

Das Ziel, die spezifischen CO₂-Emissionen bis 2012 um 40 % gegenüber 1990 zu senken, konnte bereits 2000 zum ersten Mal erreicht werden, wurde aber 2001 bis 2003 wieder knapp verfehlt (Schaubild 14.3). 2004 bis 2008 konnte diese Marke erneut unterschritten werden. 2009 und 2010 blieb die Minderungsrate bezogen auf 1990 mit 31,6 % und 34,9 % wieder deutlich unter der anvisierten Zielmarke (RWI 2011: 202). In den Jahren 2011 und 2012 konnten die spezifischen Emissionen wieder gesenkt werden, so dass ein Zielerreichungsgrad bei dem hier unterstellten Wachstum des Energieverbrauchs von rund 110 bzw. 108 % erreicht wurde.

Tabelle 14.1
Spezifische CO₂-Emissionen und Zielerreichungsgrade der Elektroindustrie
 1990 bis 2012; Ziel: -40 % bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Spez. Emissionen, g CO ₂ /€	97,27	82,82	58,22	54,82	63,37	54,61	55,22
Minderung in %	-	14,9	40,1	43,6	34,9	43,9	43,2
Zielerreichungsgrad in %		37,1	100,4	109,1	87,1	109,6	108,1

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

Die absoluten CO₂-Emissionen gingen zwischen 1990 und 1995 deutlich zurück, von 9,3 auf 7,5 Mill. t (Tabelle 14.2). Mit geringen Abweichungen hielten sie sich bis 1999 auf etwa diesem Niveau, bevor bis 2003 wieder ein Anstieg auf 8,4 Mill. t erfolgte (RWI 2007: 187). Auf dieser Höhe verharrten die Emissionen dann bis 2006. 2007 stieg der CO₂-Ausstoß auf 9,54 Mill. t und damit über den Wert von 1990 hinaus. 2009 sank er dann infolge des Produktionseinbruchs bei gleichzeitig sich

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

deutlich verschlechternden spezifischen Emissionen auf knapp 9 Mill. t (RWI 2010: 203). 2010 erhöhten sich die Emissionen nur um 4,1 % auf 10,6 Mill. t, dieses Mal bei deutlichem Produktionsanstieg und wieder verbesserten spezifischen Emissionen. In den Jahren 2011 und 2012 konnten die Emissionen bei steigender Produktion weiter gesenkt werden. Insgesamt stiegen die CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2012 lediglich um etwa 2,7 %, während die Produktion um fast 81 % zunahm. Als Resultat sind die spezifischen Emissionen in diesem Zeitraum um 43,2 % gefallen (Tabelle 14.1).

14.6 Ursachenanalyse

Der wesentliche Grund für den Rückgang der spezifischen CO₂-Emissionen ist in der Senkung des spezifischen Energieverbrauchs bzw. in der weitgehenden Entkopplung des Energieverbrauchs von der Produktionsentwicklung zu sehen. (Tabellen 14.2 und 14.3).

Tabelle 14.2
Produktion und absolute CO₂-Emissionen der Elektroindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
CO ₂ -Emissionen, Mill. t	9,27	7,47	7,64	8,01	10,59	9,82	9,52
Minderung in %	-	19,4	17,6	13,6	-14,3	6,0	2,7
Produktion, Mrd. €	95,3	90,2	131,2	146,1	167,2	179,9	172,4
Veränd. geg. 1990, in %	-	-5,4	37,7	53,3	75,4	88,8	80,9

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

Während der neunziger Jahre ist ein kontinuierlicher Anstieg der Energieeffizienz zu konstatieren (Tabelle 14.3). Zwischen 1990 und 1995 sank der spezifische Energieverbrauch, gemessen in MJ pro € Produktionswert, um 12,2 % nicht zuletzt auch infolge der Wiedervereinigung. Von 1995 bis 2000 konnte er sogar um 20 % verringert werden.

Tabelle 14.3
Energieverbrauch in der Elektroindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Energieverbrauch, PJ	141,2	116,9	119,9	126,3	165,3	154,8	150,2
Minderung in %	-	17,2	15,1	10,6	-17,1	9,6	6,4
Spez.Verbrauch, MJ/€	1,48	1,30	0,91	0,86	0,99	0,86	0,87
Minderung in %	-	12,2	38,5	41,9	33,1	41,9	41,2

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

Nach einer vorübergehenden Verschlechterung in den Jahren 2001 bis 2003 (RWI 2007: 188) fiel der spezifische Energieverbrauch bis 2008 auf den bisher niedrigsten Wert von 0,75 MJ/€ Produktionswert, um dann 2009 auf 1,05 MJ/€ zu steigen. 2011 und 2012 lag der spezifische Energieverbrauch bei 0,86 und 0,87 MJ/€.

Tabelle 14.4
Energiemix in der Elektroindustrie
 1990 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohlenbriketts	0,5	0,3	0,0	-	-	-	-
Steinkohlenkoks	0,3	0,3	0,6	-	-	-	-
Rohbraunkohlen	4,2	0,0	-	-	-	-	-
Braunkohlenbriketts	0,0	0,1	0,1	-	-	-	-
Schweres Heizöl	1,9	0,3	0,1	-	-	-	-
Leichtes Heizöl	8,6	8,1	4,6	4,1	3,3	3,0	2,7
Erdgas	15,3	17,0	15,6	17,8	6,3	17,9	18,6
Kokereigas	0,6	0,3	0,4	-	-	-	-
Primärbrennstoffe	31,5	26,4	21,4	21,9	9,7	21,1	21,3
Nettofremdstrombezug	110	91	99	104	156	134	129
Energieverbrauch	142	117	120	126	165	155	150

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Die spezifischen CO₂-Emissionen konnten zwischen 1990 und 1995 mit 14,9 % etwas stärker reduziert werden als der spezifische Energieverbrauch mit 12,2 %. Zurückzuführen ist dieser Unterschied auf die in diesem Zeitraum stattfindende nahezu vollständige Substitution kohlenstoffreicher Brennstoffe wie Rohbraunkohle und schweres Heizöl durch den kohlenstoffarmen Energieträger Erdgas (Tabelle 14.4).

Von 1995 bis 2012 haben sich der spezifische Energieverbrauch und die spezifischen CO₂-Emissionen sehr ähnlich entwickelt. Während der spezifische CO₂-Ausstoß um 43,2 % sank, ging der spezifische Energieverbrauch mit 41,2 % etwas langsamer zurück. Dabei nahm der Anteil des Nettofremdstrombezugs zwischen 1995 und 2000 zu Lasten von Erdgas und leichtem Heizöl kontinuierlich von 77,4 % auf gut 82 % zu; danach blieb er mit leichten Schwankungen in etwa auf diesem Niveau. In der Abschwungphase 2003 war mit 78,4 % ein relativ geringer Stromanteil festzustellen, in der letzten Boomphase waren es höhere Werte, so 84,7 % im Jahr 2007. 2009 entsprach der Anteil des Nettofremdstrombezugs trotz des Produktionseinbruchs mit 82,6 % dem des Vorjahres.

Die seit 1995 in etwa parallel verlaufende Entwicklung von CO₂-Emissionen und Energieverbrauch ist darauf zurückzuführen, dass die Auswirkungen der Substitution von leichtem Heizöl durch Strom in Bezug auf die CO₂-Emissionen durch den Ersatz des Erdgases durch Strom neutralisiert wurden. 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. In der Zwischenzeit spielen Substitutionseffekte kaum noch eine Rolle, da der Anteil des Nettostrombezugs am gesamten Energieverbrauch bei deutlich über 80 % liegt.

Gründe für die Senkung des spezifischen Energieverbrauchs sieht der Verband in der sog. „Softwareisierung“ sowie der zunehmenden Bedeutung von Serviceleistungen rund um den Kern der Güterproduktion, ebenso auch im Trend zur Miniaturisierung der Produkte.

Als wesentliche Ursache für Effizienzverbesserungen führt der ZVEI daneben spezielle Energieeinsparmaßnahmen an, die von Unternehmen der Branche vielfach im Rahmen von Modernisierungen oder Erneuerungen der Produktionsanlagen, der Gebäudetechnik und Verwaltungseinrichtungen durchgeführt wurden.

Berücksichtigt werden muss laut ZVEI auch, dass die Elektroindustrie in ihren Bemühungen, die Produkte umweltfreundlich zu gestalten, häufig mehr anstatt weniger Energie zur Produktion einsetzt. Zum Beispiel wird bei Elektromotoren mehr Kupfer benötigt, um deren Wirkungsgrad zu erhöhen. Diese Prozesse benöti-

gen mehr Energie und beeinflussen die Energieeffizienz negativ (ZVEI 2001). Der Zusammenhang zwischen Produktionswachstum und Energieverbrauch erscheint insgesamt aufgrund des fehlenden unmittelbaren prozesstechnischen Zusammenhangs eher als lose.

Als Grund für den Anstieg des spezifischen Energieverbrauchs in den Jahren 2002 bis 2004 hatte der ZVEI angeführt, dass speziell Abschwungphasen in dieser Branche durch einen höheren spezifischen Energieverbrauch gekennzeichnet zu sein scheinen, der dann bei steigendem Auslastungsgrad wieder sinkt. Zu Effizienzverbesserungen in konjunkturellen Hochphasen trägt nach Verbandsangaben ebenfalls das Outsourcen von Teilen der Produktion auf Zulieferer oder ins Ausland bei. Wenn die Unternehmen im Ausland ansässig sind, zählt der Umsatz des outsourcenden Unternehmens zur Elektroindustrie, nicht aber der Energieaufwand zur Herstellung der Güter. Dadurch wird der Effizienzanstieg in konjunkturellen Hochphasen überzeichnet. Dies führt der ZVEI als einen Grund für den Effizienzschub zwischen 2003 und 2008 an (ZVEI 2009: 8; 2010: 8). Dieser statistische Effekt kann nach seiner Ansicht jedoch nicht quantifiziert werden. Zusammen mit der Tatsache, dass bei einer Vielzahl von Produkten und Prozessen ein loser Zusammenhang zwischen Energieeinsatz und Produktion vorherrscht, führt dies dazu, dass die Effizienzentwicklung im konjunkturellen Verlauf hohe Schwankungen aufweist.

In dieses Bild passt auch die deutliche Verschlechterung des spezifischen Verbrauchs im Jahr 2009, der den Produktionseinbruch begleitet hat. Produktionseinbrüche haben aufgrund eines in vielen Bereichen fehlenden prozesstechnischen Zusammenhangs den Energieaufwand relativ unberührt gelassen. Hierzu hat auch die Kurzarbeit beigetragen, die zur Fortführung des Betriebsablaufs geführt hat. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass das Outsourcing zurückgegangen ist.

Im Zuge der Produktionsbelegung 2010 wiesen der spezifische Energieverbrauch mit 0,99 MJ/€ und die spezifischen Emissionen mit 63,37 g CO₂/€ wieder deutlich bessere Werte als im Vorjahr auf (Tabelle 14.3 und 14.1). In den Berichtsjahren 2011 und 2012 konnte sowohl der spezifische Energieverbrauch als auch die spezifischen Emissionen weiter gesenkt werden: Während der spezifische Energieeinsatz auf 0,86 bzw. 0,87 MJ/€ zurückging, verminderten sich die spezifischen Emissionen auf 54,61 bzw. 55,22 g/€. Da es sich bei den Angaben für 2012 um Schätzungen des Energieverbrauchs durch den ZVEI handelt, wurde zur Absicherung eine Schätzung des exponentiellen Trends der Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs vorgenommen. Zur Ermittlung der spezifischen Emissionen wurde dabei die durchschnittliche Energieträgerstruktur der Jahre 2005 bis 2009 unterstellt. Zugrunde gelegt wurde der Stützbereich 2000 bis 2011. Der geschätzte Werte für den spezifi-

schen Energieverbrauch 2012 beträgt 0,91 MJ/€. Die hiervon abgeleiteten spezifischen CO₂-Emissionen betragen 57,83 g CO₂/€.

Der geschätzte Trendwert für die spezifischen CO₂-Emissionen liegt 4,7 % über dem Schätzwert des ZVEI. Trotz der ungünstigeren Trendfortschreibung läge der Zielerreichungsgrad immer noch bei 101,1 %. Unabhängig davon, ob der Schätzwert des ZVEI die aktuelle konjunkturelle Situation widerspiegelt, weicht er damit nicht vom Trend der vergangenen Jahre ab.

14.7 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die Elektroindustrie hat auch in den Jahren 2011 und 2012 zahlreiche Maßnahmen zur Minderung des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstosses ergriffen. Der größte Teil dieser Maßnahmen wurde nach Auskunft des ZVEI ganz oder teilweise im Jahr 2012 realisiert (ZVEI 2013).

Übersicht 14.2

Ausgewählte Maßnahmen einzelner Unternehmen der Elektroindustrie zur Energieeinsparung 2011 und 2012

- Modernisierung der Raumbelichtung (LED, Energiesparlampen, Bewegungsmelder)
 - Optimierung der Druckluftversorgung
 - Wärmerückgewinnung aus Prozessen; Einbau von Wärmetauschern
 - Neue Roll- und Falttore; neue Klimaanlage
 - Ersatz der Feuerungsanlagen; Nutzung von BHKW
 - Modifizierung der Fahrzeugflotte (Anschaffung E-Autos, Reduzierung des Umfangs)
 - Einführung von Energiemanagementsystemen (DIN EN ISO 50.001)
 - IT-Verbesserungen (lüfterlose PC, „Green IT“, Kaltgangeinhausung)
 - Sensibilisierung / Schulung der Mitarbeiter
 - Installation von PV-Anlagen auf dem Firmengrundstück
-

Nach Angaben des ZVEI im Rahmen des Monitoring.

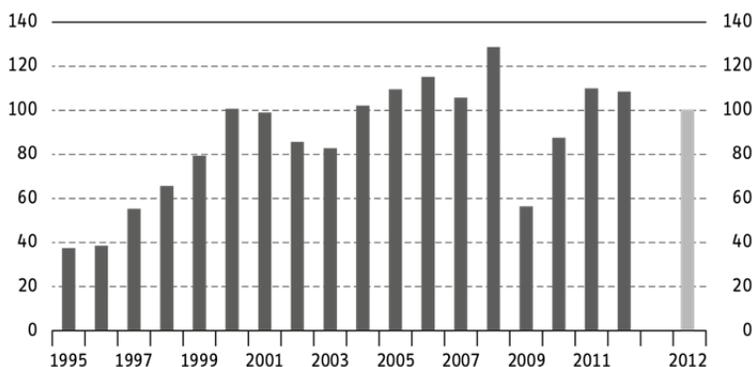
Einen Einblick in die Vielfalt der Maßnahmen zur Energieverbrauchs- und CO₂-Minderung gewährt die Übersicht 14.2. Die Maßnahmen reichen von der Gebäudesanierung über die Modernisierung der Produktionsstätten (z.B. durch die Installation schnellaufender Rolltore, Umstellung der Beleuchtung auf energiesparende

Systeme wie LED oder Lichtsteuerung etc.) bis hin zum optimierten Flottenmanagement bei den Dienstfahrzeugen. Im Bereich Produktionsprozesse lag ein Schwerpunkt auf der Optimierung der Drucklufttechnik, insbesondere die Identifizierung von Druckluftleckagen. Eine wachsende Bedeutung erlangt ein effizientes Wärme- und Abluftmanagement. Um die Mitarbeiter noch stärker zu sensibilisieren und die gesetzten Ziele zu erreichen, wurden Schulungen durchgeführt. Aussagen zu den insgesamt in den Jahren 2011 und 2012 durchgeführten Maßnahmen sind allerdings nicht möglich. Der ZVEI betont jedoch, dass die aus den Effizienzverbesserungen resultierenden Energieeinsparungen maßgeblich zur CO₂-Reduktion beigetragen haben.

14.8 Zusammenfassung und Bewertung

Die in Schaubild 14.3 dargestellten Zielerreichungsgrade zeigen, dass das für 2012 angestrebte Ziel einer 40-prozentigen Senkung seit 2004 deutlich übertroffen wurde. Lediglich 2009 und 2010 sank der Zielerreichungsgrad vorübergehend wieder unter 100 %. 2011 und 2012 errechnen sich Werte von 109,6 und 108,1 %.

Schaubild 14.3
Zielerreichungsgrad der Elektroindustrie für das Minderungsziel 2012
 1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Als wesentliche Determinante gilt der spezifische Energieverbrauch. Dessen Entwicklung wird neben Einflüssen aus Softwaresierung, der zunehmenden Bedeutung von Dienstleistungen für die Kernproduktion und speziellen Energieeinsparmaßnahmen vor allem auch durch konjunkturelle Schwankungen bestimmt: In Abschwungphasen nimmt der spezifische Energieverbrauch aufgrund des fehlenden prozesstechnischen Zusammenhangs eher zu, in Boomphasen führt ein statistischer

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Effekt zur zusätzlichen Überzeichnung der Effizienzverbesserung durch Outsourcing ins Ausland.

So sanken 2008, dem Jahr mit dem bis dahin höchsten Produktionswert, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen um 15,2 bzw. 14,2 %, während die Produktion um 2,0 % gegenüber einem auch 2007 schon vergleichsweise hohen Wert zunahm. Der spezifische Verbrauch verbesserte sich um 17,0 % auf den bis dahin niedrigsten Wert von 0,74 MJ/€. Ähnliches lässt sich auch für 2011 gegenüber 2010 feststellen.

Trotz des drastischen Produktionseinbruchs im Zuge der Wirtschaftskrise stieg der Energieverbrauch 2009 um rund 26 % und die CO₂-Emissionen um etwa 24 %. Damit kam es zu einem Anstieg des spezifischen Energieverbrauchs auf 1,19 MJ/€.

Trotz des Produktionsrückgangs um 4,2 % im Jahr 2012 wurde vom ZVEI von einem Anstieg des Energieverbrauchs von 6,4 % und der CO₂-Emissionen von 2,7 % ausgegangen und eine Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs um 1,2 % errechnet. Schätzungen ergaben, dass dieser Wert dem Trend der letzten Jahre entspricht.

Über Energieeinsparungen durch Effizienzverbesserungen hinaus gibt es in der Elektroindustrie kaum mehr Möglichkeiten zur CO₂-Reduktion. Von der Substitution kohlenstoffreicher durch kohlenstoffarme Energieträger sind keine erheblichen CO₂-Einsparungen mehr zu erwarten. 2004 hatte das kohlenstoffarme Erdgas bereits einen Anteil von knapp 72 % bei den fossilen Brennstoffen erreicht. Darüber hinaus dürfte der in den vergangenen Jahren beobachtete kontinuierliche Anstieg des Anteils an Strom am gesamten Energieeinsatz dieser Branche auf über 80 % bestehen bleiben. Aufgrund des hohen CO₂-Emissionsfaktors von Strom dürfte ein weiter steigender Stromanteil eher zu einer Erhöhung der spezifischen Emissionen führen, da dann Strom vor allem Gas ersetzen würde. Um dem entgegenzusteuern, wurde nach Auskunft des Verbandes in den Jahren 2011 und 2012 verstärkt Strom aus CO₂-neutralen Energieträgern eingesetzt. Diese Energieträger werden zwar durch das CO₂-Monitoring nicht erfasst, senken aber indirekt die (spezifischen) Emissionen, da sie den Bedarf an fossilen Energieträgern und Fremdstrom verringern.

Die Unternehmen der Elektroindustrie haben in den letzten Jahren noch eine Vielzahl von weiteren Maßnahmen durchgeführt, weshalb der Verband zwischenzeitlich nur noch geringe Effizienzverbesserungen erwartet hat (ZVEI 2009: 9). Mittelfristig hat sich jedoch gezeigt, dass das für 2012 gesetzte Ziel zwar anspruchsvoll aber dennoch erreichbar war: Die Verringerung der CO₂-Emissionen um 40 % bis 2012 ist trotz der weltweiten konjunkturellen Unwägbarkeiten gelungen.

15. Der Steinkohlenbergbau

Der deutsche Steinkohlenbergbau befindet sich seit Beginn der sechziger Jahre in einem, während der beiden Ölkrisen zeitweilig unterbrochenen, Anpassungs- und Schrumpfungsprozess. Die wesentliche Ursache ist die fehlende Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Importsteinkohle aufgrund der geologisch schwierigen Abbaubedingungen in Deutschland.

Die kohlepolitische Vereinbarung vom 13. März 1997 sah vor, die heimische Förderung zwischen 1997 und 2005 von 47 auf 26 Mill. t verwertbare Förderung und die Belegschaft von 78 000 auf 36 000 Beschäftigte zu reduzieren. Die kohlepolitische Verständigung vom 7. Februar 2007 beinhaltet die Beendigung der subventionierten Förderung der Steinkohle in Deutschland in 2018 und geht von einer voraussichtlichen Förderkapazität von 12 Mill. t im Jahr 2012 aus (GVSt 2009a: 3). Sie wurde inzwischen mit dem Gesetz zur Finanzierung der Beendigung des subventionierten deutschen Steinkohlenbergbaus zum Jahr 2018 (Steinkohlefinanzierungsgesetz) vom 28. Dezember 2007 umgesetzt. Mitte 2008 wurde die neue Bergbauplanung verabschiedet, in der die Standort-, Kapazitäts- und Personalplanung für die sozialverträgliche Anpassung in den Bergbauunternehmen bis 2012 vorgezeichnet ist (GVSt 2009a: 3). Der subventionierte Steinkohlenbergbau in Deutschland wird gemäß politischem Beschluss zum Ende des Jahres 2018 endgültig und unwiderruflich beendet. Mit Inkrafttreten der neuen EU-Beihilferegelung und der Änderung des Steinkohlenfinanzierungsgesetzes im Jahr 2011 existiert nun ein rechtsverbindlicher Rahmen, auf dessen Basis die deutsche Steinkohle ihre Strategie für die Beendigung des Bergbaus zum Ende des Jahres 2018 konkretisieren kann (GVSt 2013: 3).

Im Jahr 2011 gehörten zur deutschen Steinkohlenindustrie noch fünf Steinkohlenbergwerke – drei im Ruhrgebiet, eines an der Saar und eines in Ibbenbüren – sowie die Kokerei Prosper in Bottrop. Diese letzte Zechenkokerei wurde zur Vermeidung einer Stilllegung im Jahr 2018 zum 1. Juni 2011 an den Stahlproduzenten Arcelor Mittal Bremen GmbH verkauft. Am 30. Juni 2012 wurde das letzte Bergwerk im Saarland, das Bergwerk Saar in Ensdorf, stillgelegt, am 31. Dezember 2012 schloss das Bergwerk West am Niederrhein. Der Sektor beschäftigte Ende 2012 insgesamt noch rund 17 600 Mitarbeiter (GVSt 2013: 4). Die Steinkohlenförderung in Deutschland wird von der RAG Aktiengesellschaft (RAG) und ihrer Beteiligungsgesellschaft RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH wahrgenommen, die mit den weiteren Beteiligungsgesellschaften RAG Mining Solutions, RAG Montan Immobilien, RAG Konzernrevision, RAG Ruhranalytik und RAG Verkauf den RAG Konzern bilden (GVSt 2013: 4).

15.1 Datenbasis

Der Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, heute der Gesamtverband Steinkohle (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 Monitoringberichtes erfolgende Berechnung der CO₂-Emissionen bilden die vom GVSt gelieferten Daten über den Verbrauch der einzelnen Energieträger und die Produktionsmenge in Tonnen verwertbarer Förderung (t v. F.), die im Folgenden verkürzend mit Tonnen (t) wiedergegeben werden. Ebenso liefert der Verband Daten über das Methan- (CH₄-)Aufkommen und die Methanverwertung in aktiven und stillgelegten Bergwerksteilen. Die Mengen werden in CO₂-Äquivalenten mit einem Äquivalenzwert von 21 entsprechend dem 2. Sachstandsbericht des IPCC ausgewiesen (OECD 2001: III.3).

Werte zum Energieverbrauch dieses Sektors sind darüber hinaus in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1, des Statistischen Bundesamtes unter der Bezeichnung Steinkohlenbergbau und -brikettherstellung, zu finden: bis 2008 entsprechend der Systematik der Wirtschaftszweige 2003 unter der Kennziffer 10.1, seit 2009 entsprechend der Systematik der Wirtschaftszweige 2008 unter der Kennziffer 5.1. Die Verbandsdaten und die vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Angaben sind allerdings nicht miteinander vergleichbar, da erstere Angaben zum Energieverbrauch von Unternehmen enthalten, welche ihren Schwerpunkt in der Stromerzeugung und im Anlagenbau haben, so wie die frühere RAG-Tochtergesellschaft STEAG GmbH – heute Evonik Steag GmbH – (GVSt 2002: 4). Gegenstand des Monitoring sind hingegen lediglich die Steinkohlenförderung sowie die Kokserzeugung der RAG. Die stark abweichenden Angaben zum Energieverbrauch sind in erster Linie auf den Energieeinsatz in den Kraftwerken zurückzuführen.

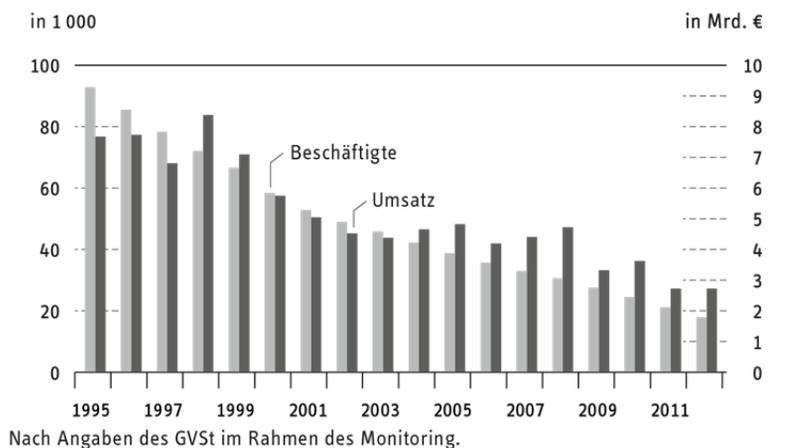
Bei den Angaben zu Umsatz, Beschäftigten, Investitionen und Rationalisierungsmaßnahmen wird ebenfalls auf Informationen des GVSt zurückgegriffen. Der Verband stellt zudem sieben Fortschrittsberichte mit Angaben zu den zwischen 1990 und 2012 vollzogenen Maßnahmen zur CO₂-Minderung zur Verfügung (GVSt 2005, 2007, 2008, 2009a, 2009b, 2010, 2011 und 2013).

15.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Im deutschen Steinkohlenbergbau wurden 2012 noch 10,8 Mill. t Steinkohle gefördert (Tabelle 15.3), wobei ihr Anteil an der inländischen Versorgung im Jahr 2012 bei 20,1 % lag (GVSt 2013: 5). 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.

Schaubild 15.1
Beschäftigte und Umsatz in der Steinkohlenindustrie
 1995-2012



Der Energieverbrauch ist zwischen 1990 und 1999 um 51,8 % auf 62,8 PJ gesunken (Tabelle 15.4), während die Steinkohlenförderung im gleichen Zeitraum hingegen nur um 43,8 %, von 69,8 auf 39,2 Mill. t, zurückging (Tabelle 15.3). Ein ähnlicher Verlauf zeigt sich auch zwischen den Jahren 2000 und 2012. Der Rückgang des Energieverbrauchs auf 14,3 PJ im Jahr 2012 beträgt 75,5 %, die Produktion nahm hingegen nur um 67,6 % ab.

Die Produktion des Bergwerks Saar wurde gemäß einem neuen Abbaukonzept im Jahr 2010 stark eingeschränkt, sodass mehrere Bereiche stillgelegt werden mussten. Das Konzept erlaubte nur noch einen Restabbau im Saarrevier bis zur Mitte des Jahres 2012 und die Förderkapazität des Bergwerks Saar wurde auf lediglich 1 bis 1,5 Mill. t pro Jahr reduziert. Aufgrund der Aufrechterhaltung der nötigen Grubensicherheit erhöhte sich der spezifische Energieverbrauch im Jahr 2010 erheblich. Auch bei den drei in 2008 bis 2010 stillgelegten Bergwerken im Ruhrrevier bestand bis zur Schachtverfüllung noch ein nicht unerheblicher Energiebedarf, dem allerdings keine Förderung entgegen stand. Nach der Stilllegung des Bergwerks Saar und dem Verkauf der Kokerei Prosper ging der Energieverbrauch erheblich zurück (GVSt 2013: 5).

Der Umsatz nahm zwischen 1995 und 2000 um rd. 24 % auf 5,9 Mrd. € ab und sank anschließend bis 2004 auf 4,6 Mrd. €, was einem Rückgang um 22,0 % entsprach, der ähnlich stark war wie der der Fördermenge. Nicht zuletzt aufgrund des Preisanstiegs für Importkohle war der Umsatzrückgang zwischen 2004 und 2007 mit 5,5 % nur schwach ausgeprägt, wohingegen im Jahr 2008 der Umsatz gegenüber dem Vorjahr um rund 18 % auf 4,6 Mrd. € stieg. Seitdem sank er bis 2012 auf 2,7 Mrd. €, während die Fördermenge 2012 gegenüber dem Jahr 2010 um 16,5 % zurückging (GVSt 2013: 6).

Parallel zum Sinken der Steinkohlenförderung schrumpfte die Zahl der Beschäftigten von rund 130 300 im Jahr 1990 auf etwa 42 000 im Jahr 2004 und setzte sich entsprechend der kohlepolitischen Vereinbarung auf 17 600 Mitarbeiter im Jahr 2012 fort (Schaubild 15.1).

15.3 Kurzbeschreibung des Produktionsprozesses

In Deutschland wird Steinkohle unter Tage in bis zu 1 500 Meter Tiefe gewonnen, wo die Rohkohle in Brechanlagen zerkleinert wird, um auf Förderbändern transportiert und über den Schacht zu Tage gefördert werden zu können (GVSt 2002: 5f und 2008: 5). Über Tage gelangt die Rohkohle über Förderbänder in die Aufbereitungsanlage, in der sie von nicht brauchbaren Bestandteilen getrennt wird, die etwa 50 % der Rohkohlenförderung ausmachen (Energiewelten 2005).

Zum Abbau der Kohle werden Walzenschrämlader und Kohlenhobel eingesetzt (GVSt 2002: 4). Letzterer, der vor allem in geringmächtigen Flözen oder bei weicher Kohle zum Einsatz kommt, wird am Flöz entlang gezogen und schält die Kohle mit Meißeln aus dem Flöz heraus. Dies geschieht mit einer Geschwindigkeit von 180 bis 220 Metern pro Minute und einer Schnitttiefe von 3 bis 8 cm. Bei härterer Kohle und größeren Mächtigkeiten wird der Walzenschrämlader eingesetzt, dessen rotierenden Walzen einen etwa 80 cm breiten Streifen herausschneiden. Der effiziente Einsatz dieser Maschinen wird durch Sensoren und Mikrochips in der Steuerungs- und Regelungstechnik geregelt. Alle Gewinnungsvorgänge unter Tage werden über Monitore von der Grubenwarte aus überwacht und gesteuert (DSK 2005).

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 etwa 60 % mittels Bohr- und Sprengtechnik und zu rund 40 % mit sogenannten Streckenvortriebsmaschinen (GVSt 2005: 9). Der Abbau entwickelt sich auch weiter in die Tiefe, wobei die Gewinnungstiefe durchschnittlich um 17 Meter pro Jahr wächst. Je größer indessen die Abbautiefe, desto höher sind die herrschenden Gebirgstemperaturen: Pro 100 Meter steigen diese um rund drei Grad

Celsius (°C), sodass bei rund 1 000 Meter Abbautiefe Gebirgstemperaturen von ca. 50 °C vorliegen (GVSt 2011: 4). 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 Lüfter die verbrauchte Luft ab, während Frischluft über andere Schächte ins Bergwerk gelangt. 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. Beim Grubengas handelt es sich zu 90 bis 95 % um Methangas, dessen Anteil abhängig von der Kohleart ist. Die Freisetzung von Methan wird zudem von den Abbaubedingungen, dem atmosphärischen Druck und der Fördermenge bestimmt. Die Verhinderung eines explosionsfähigen Gasgemisches wird, falls erforderlich, ergänzend zu den Wetterströmen mit Hilfe von Absaugvorrichtungen im Vorfeld der Kohlegewinnung sichergestellt (RAG 2003; GVSt 2008: 6f). Mit Einführung des EEG im Jahr 2000 ist die energetische Verwertung des Grubengases wirtschaftlich geworden, sodass seitdem die Absaugung und entsprechende Verwertung forciert werden.

Aufgrund der durch das EEG eingetretenen Wirtschaftlichkeit wird seitdem ebenfalls die Verwertung des Grubengases aus stillgelegten Bergwerken betrieben. In den abgebauten Bereichen verbleiben nach Stilllegung noch etwa 10 bis 30 % des ursprünglichen Gasgehalts. Gemeinsam mit Partnern aus der mittelständischen Industrie wurden unter dem Dach der RAG Aktiengesellschaft 2000/2001 hierzu zwei Methanverwertungsgesellschaften gegründet. Zur Methangewinnung werden noch vorhandene Rohrsysteme genutzt oder Bohrungen nach Auswertung vorliegender Karten und Daten dort durchgeführt, wo größere Gasvorkommen vermutet werden. Das Grubengas wird aus der Lagerstätte abgesaugt und verdichtet. Der in Blockheizkraftwerken erzeugte Strom wird in regionale Netze eingespeist und die anfallende Wärme soweit wie möglich zur Wärmeversorgung der Bergwerke oder Dritter eingesetzt (GVSt 2009b).

Die Produktionsprozesse des Steinkohlenbergbaus erfordern große Mengen an Energie, da auf engem Raum ständig große Mengen an Schüttgütern abgebaut, zerkleinert und transportiert, schwere, sperrige Materialien bewegt sowie das Personal befördert werden. In den Bergwerken der RAG werden pro Tag 100 000 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 120 km und macht somit etwa ein Fünftel des gesamten Streckennetzes aus. Jedes Jahr kommen etwa 35 km an neuen Abbaustrecken und etwa 13 km an allgemeinem Grubengebäude hinzu. Mit fort-

schreitendem Abbau wird bereits beim Gewinnungsprozess der nicht weiter benötigte Teil der Abbaustrecken abgeworfen. Im Zuge der Optimierung des übrigen Streckennetzes werden weitere Strecken stillgelegt, allerdings bleibt insgesamt die Länge des Streckennetzes im Normalbetrieb etwa konstant. Auch für die Frischluftzufuhr zur Einhaltung der Klimagrenzwerte und zum Ausschluss von Schlagwetterexplosionen ist ein hoher Energieeinsatz erforderlich (GVSt 2002: 4 und 2011: 8).

Schließlich ist auch die Herstellung von Koks – das vor allem in den Hochöfen der Stahlhüttenwerke Verwendung findet – aus qualitativ hochwertiger Kokskehle mit einem erheblichen Energieaufwand verbunden. In Kokereien wird Kokskehle unter Luftabschluss über 25 Stunden bis auf 1 100 °C erhitzt. Am Ende entstehen ungefähr 75 % Koks und 25 % Rohgas, das wertvolle Kuppelprodukte wie Teer, Benzol und Ammoniak enthält und dem gewonnenen Rohgas bei der Abkühlung entzogen werden. Rund 40 % des eigenen Kokereigas benötigt eine Kokerei für die Beheizung ihrer Koksöfen (GVSt 2005: 8), während die restlichen 60 % in das Fernnetz eingespeist werden.

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 CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2005 um 70 % und bis 2012 um 75 % gegenüber 1990 zu verringern (Übersicht 15.1). Das erste Ziel, die Emissionen um 70 % zu reduzieren, wurde bereits 2001 erreicht und im Jahr 2005 lag der Zielerreichungsgrad bei 105,6 %.

Übersicht 15.1

Selbstverpflichtung des deutschen Steinkohlenbergbaus

Ziele	Verringerung der absoluten CO ₂ -Emissionen 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 GVSt (2002: 2 und 2005: 21).

Der Steinkohlenbergbau bindet seine Zusage in der Selbstverpflichtung an die Umsetzung der vereinbarten Kohlepolitik. Der Verband geht zudem davon aus, dass die Bundesregierung auf zusätzliche ordnungsrechtliche und fiskalische Regelun-

gen 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. Die Anschlussregelung vom Juli 2003 legte eine Absenkung der Steinkohlenförderung bis auf 16 Mill. t im Jahr 2012 fest, die mit der kohlepolitischen Verständigung von 2007 abermals auf nur noch 12 Mill. t reduziert wurde. Da die Bergbauplanung, die sich mit Änderung des Steinkohlenfinanzierungsgesetzes an die gegebenen Erfordernisse anpasst, nun eine Reduzierung der Jahresförderung auf unter 12 Mill. t vorsieht, verringert sich damit auch die Höhe der CO₂-Emissionen. Laut Fortschrittsbericht von 2011 wurde eine Minderung der Emissionen bis 2012 um rund 80 % gegenüber 1990 für plausibel erachtet (GVSt 2009a: 9).

Darüber hinaus sollen die Methanemissionen, die aus aktiven wie auch aus stillgelegten Bergwerken entweichen, bis 2012 um 70 % gegenüber 1990 reduziert werden. Methan gehört aufgrund seiner Klimawirksamkeit, die hier entsprechend dem 2. Sachstandsbericht des IPCC 21 Mal höher angesetzt ist als die des Kohlendioxids (OECD 2001: III.3), zu den im Kyoto-Protokoll erfassten klimawirksamen Gasen. Die Minderung der Methanemissionen gilt daher als wesentlicher Bestandteil der Klimavorsorgevereinbarung des Steinkohlenbergbaus (GVSt 2002: 5), der nach Angaben des Verbandes trotz Umstrukturierungen der Branche weiterhin unverändert zu diesen Verpflichtungen steht.

15.5 Bis 2012 realisierte CO₂- und Methangasminderungen

Dem Steinkohlenbergbau gelang es, die CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2012 um 90,3 % zu senken (Tabelle 15.1), wobei das für 2012 avisierte Reduktionsziel von 75 % bereits 2006 übertroffen wurde und der Zielerreichungsgrad im Zieljahr 2012 bei 120,4 % lag (Schaubild 15.2).

Die in die Atmosphäre abgegebenen CH₄-Emissionen aus aktiven und stillgelegten Bergwerksteilen konnten von 19,7 Mill. t CO₂-Äquivalenten im Jahr 1990 auf 3,0 Mill. t im Jahr 2012 reduziert werden, mithin um rund 85 %, wodurch mit einem Zielerreichungsgrad von 121,1 % das angestrebte Ziel deutlich übererfüllt wurde (Tabelle 15.2). Die CH₄-Emissionen aus aktiven Bergwerken sanken in diesem Zeitraum um 83,8 %, die aus stillgelegten Bergwerksteilen um knapp 95 %.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 15.1

CO₂-Emissionen und Zielerreichungsgrade der Steinkohlenindustrie

1990 bis 2012; Minderungsziel gegenüber 1990: 75 % bis 2012

	1990	1995	1999	2000	2005	2010	2011	2012
CO ₂ -Emissionen, Mill. t	9,3	6,7	3,7	3,4	2,4	1,6	1,2	0,9
Minderung in %	-	28,0	60,2	63,4	74,2	82,8	87,1	90,3
Zielerreichungsgrad in %	-	37,3	80,3	84,6	98,9	110,4	116,1	120,4

Nach Angaben des GVSt.

Tabelle 15.2

In die Atmosphäre abgegebene CH₄-Emissionen und Zielerreichungsgrade im Steinkohlenbergbau

1990 bis 2012; in Mill. t CO₂-Äquivalenten, Minderungsziel gegenüber 1990: 70 % bis 2012

	1990	2000	2005	2010	2011	2012
Aus lebenden Bergwerken	17,9	9,6	5,6	2,7	2,4	2,9
Aus stillgelegten Bergwerksteilen	1,8	2,7	0,1	0,1	0,1	0,1
CH ₄ -Emissionen insgesamt	19,7	12,3	5,7	2,8	2,5	3,0
Minderung geg. 1990, in %	-	37,6	71,1	85,8	87,3	84,8
Zielerreichungsgrad in %	-	53,7	101,5	122,6	124,7	121,1

Nach Angaben des GVSt.

15.6 Ursachenanalyse der CO₂-Minderung

Der drastische Rückgang der CO₂-Emissionen ist in erster Linie Folge der Stilllegung von Bergwerken und den dazugehörigen Nebenbetrieben, die mit dem Abbau der Steinkohlenförderung einhergingen. Zwischen 1990 und 2012 sank die Zahl der aktiven Bergwerke durch Stilllegung und Zusammenlegungen von 27 auf 4, womit eine Drosselung der Förderung um 84,5 % auf 10,8 Mill. t verbunden war (Tabelle 15.3). Im selben Zeitraum konnten die CO₂-Emissionen um 90,3 % auf 0,9 Mill. t und damit etwas stärker als die Produktion gesenkt werden (Tabelle 15.1). Neben dem Förderrückgang, der für den größten Teil der CO₂-Emissionsminderungen

verantwortlich war, trug auch die Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs um 28,9 % dazu bei.

Zwischen 1990 und 1999 gelang es, den spezifischen Energieverbrauch um 14,4 % von 1,87 auf 1,60 GJ/t zu senken, (Tabelle 15.3). Im Jahr 2000 erfolgte gemäß der Vereinbarungen der Kohlerunde von 1997 eine Stilllegung von drei Bergwerken und eine Rückführung der Förderkapazität um 6 Mill. t. Damit einhergehend stieg im selben Jahr der spezifische Verbrauch auf 1,75 GJ/t, der bis 2007 erneut um weitere 8 % gesenkt werden konnte. Den kurzzeitigen Anstieg im Jahr 2006 führt der Verband auf technische und geologische Störungen zurück, die auf einigen Bergwerken zu Betriebsunterbrechungen führten (GVSt 2008: 10). Die Verschlechterung des spezifischen Verbrauchs auf 1,87 GJ/t 2009 und 2,08 GJ/t 2010 ist zum einen auf die Folgen des Erschütterungsereignisses auf dem Bergwerk Saar zurückzuführen, wo aufgrund der anschließenden Teilstilllegung mit gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Grubensicherheit seitdem nur eine verminderte Produktion erfolgt. Entsprechende unvorhergesehene Maßnahmen bedingen nach Angaben des GVSt einen höheren Energiebedarf. Zum anderen beruht der gestiegene Energiebedarf auf den bis zur Schachtverfüllung durchzuführenden Arbeiten in den in den Jahren 2008 bis 2010 stillgelegten Bergwerken im Ruhrrevier (GVSt 2013: 10). Der hohe Rückgang des spezifischen Energieverbrauchs in den Jahren 2011 und insbesondere 2012 ist auf die Schließung des Bergwerks Saar sowie auf den Verkauf der Kokerei Prosper zurückzuführen.

Tabelle 15.3
Förderung, spezifischer Energieverbrauch und spez. CO₂-Emissionen der Steinkohlenindustrie

1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	1999	2000	2005	2010	2011	2012
Förderung, in Mill. t	69,8	53,1	39,2	33,3	24,7	12,9	12,1	10,8
Veränd. geg. 90, in%	-	23,9	43,8	52,3	64,6	81,5	82,7	84,5
Spez. Emissionen, in kg/t	132	125	95	102	98	121	99	85
Minderung, in %	-	5,3	28,4	22,7	25,7	8,3	25,0	36,0
Spez. Verbrauch, in GJ/t	1,87	1,72	1,60	1,75	1,66	2,08	1,63	1,33
Minderung, in %	-	8,0	14,4	6,4	11,2	-11,2	12,8	28,9
CO ₂ -Intensität, in kg/GJ	70,7	72,7	59,0	58,3	59,2	58,2	60,7	63,6

Nach Angaben des GVSt.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Der spezifische Energieverbrauch lag 2012 mit 1,33 GJ/t um 28,9 % unter dem des Jahres 1990, während sich die spezifischen Emissionen um 36,0 % reduzierten (Tabelle 15.3). Besonders prononciert war der Rückgang der spezifischen CO₂-Emissionen von 125 kg/t im Jahr 1995 auf 96 kg/t im Jahr 1996, was einem Rückgang von 23,2 % innerhalb nur eines Jahres entsprach. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Strombedarf seit 1996 gänzlich durch Lieferungen von außen gedeckt wird und die eigenen Zechenkraftwerke stillgelegt wurden (GVSt 2002: 7). Der im Rahmen des Monitorings für Fremdstrombezüge festgelegte CO₂-Emissionsfaktor ist niedriger als der der Steinkohle, welche in den eigenen Kraftwerken zur Stromerzeugung eingesetzt wurde. Der Strombezug erhöhte sich zwischen 1995 und 1996 von 24,2 auf 50,6 PJ deutlich (Tabelle 15.4), was zu einem starken Rückgang des Einsatzes an Steinkohlen als Brennstoff von 40,2 PJ 1 PJ führte. Insgesamt ist der Einsatz des kohlenstoffreichen Energieträgers Steinkohle seit der Jahrhundertwende von 56,1 PJ im Jahr 1990 auf nahezu Null reduziert worden.

Tabelle 15.4
Der Energiemix der Steinkohlenindustrie
1990 bis 2012; gerundete Werte in PJ

	1990	1995	1999	2000	2005	2010	2011	2012
Steinkohlen	56,1	40,2	0,4	0,2	0,01	0,07	0,03	0,02
Steinkohlenkoks	0,2	0,03	0,03	0,03	-	-	-	-
Schweres Heizöl	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Leichtes Heizöl	0,4	1,1	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1
Kokereigas	34,1	14,6	12,8	14,5	7,9	7,7	3,3	-
Gichtgas	0,8	0,9	-	-	-	-	-	-
Grubengas	9,5	10,4	7,9	6,1	4,4	0,6	0,2	0,9
Fossile Energieträger	101,7	67,2	21,7	21,4	12,4	8,4	3,6	1,0
Nettofremdstrombezug	28,6	24,2	41,1	37,0	28,6	18,4	16,1	13,3
Energieeinsatz	130,3	91,4	62,8	58,4	41,0	26,8	19,7	14,3

Nach Angaben des GVSt.

Im Jahr 2012 lag der spezifische Energieverbrauch auf dem niedrigsten Niveau seit 1990; er konnte gegenüber dem Vorjahr um 18,4 % und im Jahr zuvor bereits um 21,6 % reduziert werden. Die Gründe hierfür sind zum einen die Beendigung der Nacharbeiten an den in den Jahren zuvor stillgelegten Bergwerken sowie die end-

gültige Schließung des Bergwerks Saar, zum anderen der Verkauf der Kokerei Prosper. Da der Energieverbrauch der Kokerei in die hiesigen Berechnungen einfließt, die Koksproduktion jedoch nicht zur Steinkohlenproduktion hinzugezählt wird, sinkt der spezifische Gesamtenergieverbrauch mit dem Wegfall der Kokerei erheblich. Mitunter aufgrund der Bergwerksstilllegungen im Ruhrrevier und der im Bergwerk Saar eingeleiteten Maßnahmen nahm der spezifische Energieverbrauch zwischen 1999 und 2010 um 30,0 % zu, während die spezifischen CO₂-Emissionen um 27,4 % stiegen.

In den vergangenen Jahren nahm die Bedeutung des Stromverbrauchs mit einem CO₂-Emissionsfaktor von 0,064 t/GJ weiter zu. So stieg der Anteil des Nettostrombezugs von 1999 bis 2012 von 65,4 % auf 93,0 %. Jedoch erhöhte sich gleichzeitig die Bedeutung des kohlenstoffarmen Kokereigases mit einem Emissionsfaktor von 0,044 t CO₂/PJ. Der Anteil an Kokereigas sank zwar zunächst von 20,2 % im Jahr 1999 (12,8 PJ) auf 15,3 % in 2001 (6,8 PJ), was vor allem auf den Rückgang der Koksproduktion zurückzuführen ist, bei der Kokereigas als Nebenprodukt entsteht (Kohlenstatistik 2008). Danach veränderte sich die Einsatzmenge kaum noch, sodass es 2010 noch 7,7 PJ bei einem deutlich niedrigeren Energieverbrauch insgesamt und damit einem Anteil von 29 % waren. Auf das halbe Jahr 2011 hochgerechnet stieg der Anteil sogar auf 33 %. Für das Jahr 2012 fällt mit dem Verkauf der Kokerei auch der Kokereigasbezug komplett weg. Weitere substantielle Änderungen des Energiemixes sind allerdings nicht festzustellen.

Der Verbrauch an Grubengas, das mit 0,054 t CO₂/PJ einen leicht höheren Emissionsfaktor als Kokereigas aufweist, lag zwischen 2000 und 2004 bei durchschnittlich 6 PJ jährlich. Bis 2007 halbierte sich der Einsatz und verringerte sich bis zum Jahr 2011 auf nur noch 0,2 PJ, was einen Anteilsverlust am gesamten Energieverbrauch gegenüber 1999 von 10,4 % auf 1,0 % im Jahr 2011 implizierte. Der Grund hierfür ist nach Angaben des GVSt, dass nur noch ein Bergwerk Grubengas direkt nutzt, während die anderen die Abwärme aus den Blockheizkraftwerken der Grubengasverwertungsgesellschaft Mingas Power beziehen (GVST 2009a: 12). Der Anteil des Grubengases am Gesamtenergieverbrauch stieg aufgrund einer stark erhöhten Methanverwertung des Bergwerks Ibbenbüren in 2012 auf 6,3 % (GVSt 2013: 13).

Der Effekt dieser Änderungen im Energiemix auf die Emissionen wird ebenfalls sichtbar, wenn man die spezifischen Emissionen pro Energieeinheit oder CO₂-Intensität berechnet, d.h. den Quotienten aus Gesamtemissionsmenge und Gesamtenergieverbrauch bildet. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 15.3 aufgeführt und zeigen, dass Veränderungen im Energiemix nur zwischen 1990 und 1999 positive Auswirkungen auf die Emissionen ergaben und anschließend bis 2012 keine großen Änderungen mehr nach sich zogen.

15.7 Ursachenanalyse der Minderung der Methanemissionen

Die im aktiven Bergbau auftretenden CH₄-Gasmengen setzen sich aus dem Methanaufkommen, das bei der Steinkohleförderung anfällt sowie den Ausgasungen bei der Aufbereitung der Steinkohle zusammen. Die klimarelevanten CH₄-Emissionen, die im Rahmen der Selbstverpflichtung entscheidend sind, ergeben sich nach Abzug der verwerteten Gasmengen.

Die CH₄-Gasmengen aus der Steinkohlenförderung und der Aufbereitung der Kohle gingen hauptsächlich aufgrund der Verringerung der Steinkohleförderung um 84,5 % von 1990 bis 2012 beträchtlich zurück, von 22,5 auf 4,4 Mill. t CO₂-Äquivalente (Tabelle 15.5). Ein fester Zusammenhang zwischen geförderter Menge und Gasaufkommen in Form eines festen Gaskoeffizienten (Gasmenge pro Einheit Förderung) existiert jedoch nicht, da sich der Gasgehalt der Kohle in den einzelnen Lagerstätten unterscheidet und von der Qualität der Kohle sowie der geologischen Entwicklung des jeweiligen Raumes abhängt. In den Bergwerken NRW schwankt er z.B. zwischen 0 und 22 m³ Gas je Tonne Kohle. Zudem werden nach Angaben des Verbandes nach Bergwerksschließungen Bergwerksteile vom aktiven in den stillgelegten Bereich überführt. Bis 2012 sank die Fördermenge gegenüber 2010 um 16,3 % bei einem Rückgang des Gasaufkommens um 10,8 % im Jahr 2011 und einer Zunahme um 13,5 % im Jahr 2012 (GVSt 2013: 13).

Mit dem Rückgang des Gasaufkommens sank auch die verwertete Methangasmenge aus dem aktiven Bergbau zwischen 1990 und 2012. Demgegenüber konnte die Methanverwertung prozentual in den letzten Jahren deutlich verbessert werden. Wurde im Jahr 1990 etwa 70 % des abgesaugten Gases verwertet, waren es im Jahr 2011 fast 95 %. Im Jahr 2012 wurde auf dem Bergwerk Ibbenbüren ein neuer Feldesteil aufgefahren und abgebaut. Durch das fehlende Über- bzw. Unterbauen erfolgt keine Vorausgasung, stattdessen kommt zum Methangehalt des abzubauenen Flözes die Zusatzausgasung aus dem Hangenden hinzu, weswegen sich die ausgasende Methanmenge hier verdoppelte. Es konnte zwar die Methanverwertungsquote um über 63 % gesteigert werden, jedoch fiel die Verwertungsquote von über 98 % auf 82 %. Nichtsdestotrotz konnte erreicht werden, dass bei einem zunehmenden Gesamtgasaufkommen um 27 % in 2012 die Verwertungsquote um 55 % anstieg.

Ein vorher nicht absehbarer Teil des Methanaufkommens steigt jedoch mit den Wetterströmen, die zur Verdünnung der Methankonzentration erforderlich sind, in die Atmosphäre auf und steht für Absaugung und Verwertung nicht zur Verfügung. Insgesamt ergab sich zwischen 1990 und 2012 als Folge des Rückgangs der Steinkohleförderung und gleichzeitiger Verbesserung der Verwertungssituation eine Reduktion der in die Atmosphäre abgegebenen Emissionen um 83 %.

Tabelle 15.5
CH₄-Gasmengen und Verwertung in aktiven Steinkohlebergwerken
 1990 bis 2012; in Mill. t CO₂-Äquivalente

	1990	2000	2005	2010	2011	2012
CH ₄ -Gasmengen aus der Steinkohlenförderung	21,7	13,1	9,2	3,7	3,3	4,2
CH ₄ -Ausgasung aus der Aufbereitung	0,8	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
CH ₄ -Gasmengen insgesamt	22,5	13,5	9,5	3,9	3,5	4,4
Methanverwertung	4,6	3,9	3,9	1,2	0,9	1,4

Nach Angaben des GVSt.

In den stillgelegten Bergwerksteilen im Ruhrrevier und an der Saar haben alle Methanverwertungsgesellschaften gemeinsam im Jahr 2012 3,5 Mill. t CO₂-Äquivalente abgesaugt und verwertet (Tabelle 15.6). Da in den letzten Jahren flächendeckend Abbaugenehmigungen für Grubengas vergeben wurden, geht der Verband inzwischen davon aus, dass 98 % des vorhandenen Grubengases gewonnen werden und kaum Restemissionen vorkommen, wodurch sich die ausgasenden CH₄-Mengen insgesamt für 2012 mit 3,6 Mill. t beziffern lassen.

Bezogen auf die für 1990 ausgewiesenen Ausgasungen aus stillgelegten Bergwerken von 1,8 Mill. t implizieren die aktuellen Restemissionen von 100 000 t eine Reduktion um knapp 95 %. Bei der Interpretation dieser Entwicklung ist zu beachten, dass in den letzten Jahren Bergwerksteile vom aktiven in den stillgelegten Bereich überführt worden sind und die Zahl der diffusen zu nutzenden Quellen viel zahlreicher geworden ist. So wären ohne Verwertung die klimarelevanten CH₄-Emissionen aus stillgelegten Bergwerksteilen 2012 um gut 150 % höher gewesen als 1990 (GVSt 2011: 15).

Tabelle 15.6
CH₄-Gasmengen und Wiederverwertung in stillgelegten Bergwerksteilen
 1990 bis 2012; in Mill. t CO₂-Äquivalente

	1990	2000	2005	2010	2011	2012
CH ₄ -Gasmengen	1,8	2,7	3,1	3,9	3,7	3,6
Wiederverwertung			3,0	3,8	3,6	3,5

Nach Angaben des GVSt.

15.8 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Rationalisierungen und Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung führten seit Beginn der neunziger Jahre zu einer Konzentration der Förderung auf immer weniger Abbaubetriebe (Tabelle 15.7). Deren Anzahl hat sich von 147 im Jahr 1990 auf 11 im Jahr 2012 verringert, wobei die Förderung je Abbaubetriebspunkt zwischen 1990 und 2012 von rund 1 800 auf etwa 3 700 t pro Tag stieg. Die Leistung unter Tage je Mann und Schicht stieg in dieser Zeit von rund 5 auf mehr als 6,9 t und konnte im Jahr 2007 sogar auf 7,1 t gesteigert werden. Wesentliche Auslöser der Produktivitätsverbesserungen waren nach Angaben des Verbandes verstärkte Bemühungen zur Steigerung der Energieeffizienz aufgrund der hohen Energieintensität und daraus resultierender hoher Energiekosten (GVSt 2005: 12). Hierzu zählt nach Angaben des Verbandes auch die Verlängerung der Strebe um 30 % von 260 m im Jahr 1990 auf heute 340 m (GVSt 2010: 16).

Tabelle 15.7
Indikatoren zur Rationalisierung in der Steinkohlenindustrie
1990 bis 2012

	1990	1995	1999	2000	2005	2010	2011	2012
Leistung je Mann/Schicht in t	5,0	5,6	6,2	6,7	6,7	6,1	6,6	6,9
Förderung je Abbaubetriebs- punkt in 1 000 t	1,8	2,3	3,0	3,4	3,9	3,0	3,2	3,7
Bergwerke	27	19	15	12	9	5	5	4
Abbaubetriebspunkte	147	86	50	37	24	16	14	11

Nach Angaben des GVSt (2011).

Die durchschnittliche Abbautiefe lag nach Verbandsangaben im Berichtszeitraum bei rund 1 150 m, was einer Zunahme um fast 200 m gegenüber dem Basisjahr, bzw. um mehr als 100 m gegenüber dem Jahr 2000 entspricht. Begleitet wird diese Teufenzunahme von wachsenden Gebirgsdrücken im Umfeld der Abbaustrecken und zunehmendem Klimatisierungsbedarf in den laufenden Abbau- und Vorleistungsbetrieben (GVSt 2009a: 13).

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).

Übersicht 15.2

Ausgewählte Maßnahmen der Steinkohlenindustrie zur Energieeinsparung

- Erhöhung der Verfügbarkeit der Förder- und Transportmittel, die auf die vorgeschalteten Hochleistungsbetriebe abgestimmt sind.
 - Visualisierung der fördertechnischen Einrichtungen und Prognoseerstellung.
 - Erstellung eines leistungsfähigen Leit-, Steuerungs- und Kommunikationssystems zur Gewährung eines reibungsfreien Ablaufs entlang der unter- und übertägigen Transportkette.
 - Entwicklung des Moduls „Produktförderung“ zur Bereitstellung einer planbaren, maximal möglichen Produktmenge in konstanter Qualität bis an die übertägige Rohkohlenüberstelle eines Bergwerks.
 - Erhöhung der Verfügbarkeit der Betriebsmittel durch eine leistungsstärkere Hobelgeneration. Die versatzseitige Hobelführung wurde mit hochverschleißfestem Guss ausgeführt und das Kettensystem zur Übertragung höherer Kräfte vergrößert, wobei eine Überlastkupplung die einleiteten Kräfte auf das Hobelgetriebe begrenzt.
 - Maschinelle und konventionelle Streckenauffahrung in tektonischen Störungen und Diskontinuitätszonen im Kombinationsausbau – Ankerausbau mit nachgeführtem Gleitbogenausbau und Vollhinterfüllung.
-

Nach GVSt (2013: 17f).

In den vergangenen Jahren wurden auf den Bergwerken der RAG die vorhandenen bergbauspezifischen Prozessabläufe untersucht (GVSt 2011: 17ff). Mit Hilfe von Lean Processing wurden sowohl im Abbau als auch in der Vorleistung und Logistik deutliche Optimierungen erzielt. Durch Standardisierung und rationellere Gestaltung der Prozessabläufe wurden wesentliche Voraussetzungen dafür geschaffen, dass die Steuerung der ablaufenden Prozesse automatisiert werden konnte. Übersicht 15.2 stellt ausgewählte Maßnahmen der letzten Jahre zur Verbesserung bergbauspezifischer Prozesse sowie ergonomischer Bedingungen, die der Verband zur Verdeutlichung zusammengestellt hat, dar. Hierbei handelt es sich z. B. um Innovationen in der Förder- und Transportlogistik sowie Verbesserungen in den Gewinn-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

nungsbetrieben. Die eingeführten Neuerungen haben sich zunächst auf einzelnen Bergwerken bewährt und wurden dann auch in anderen Betrieben eingeführt (GVSt 2013: 17).

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 und somit zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen, die jedoch zu einem erhöhten Energieeinsatz führen. Darüber hinaus benötigen auch stillgelegte Bergwerke eine gewisse Menge an Energie, etwa zum Abpumpen von Wasser, um den Grundwasserspiegel niedrig zu halten (GVSt 2013: 17).

Des Weiteren gibt es nicht vorhersehbare Faktoren, die für erhebliche Schwankungen beim spezifischen Energieeinsatz sorgen können. Dazu zählen geologische Störungen, die zusammen mit technischen Problemen zu einem Rückgang der Fördermenge je Abbaubetriebspunkt und einer geringeren Leistung unter Tage je Mann und Schicht führen können. Geologische Veränderungen der ursprünglichen Lagerungsform der Kohle wie Schichtenzerreißen bzw. Verwerfungen erfordern entsprechende Anpassungen, mit denen ein hoher Material- und Energieeinsatz einhergeht.

Tabelle 15.8
Investitionen in der Steinkohlenindustrie
1995 bis 2010

	1995	1999	2000	2005	2010	2011	2012
Investitionen, (in Mill. €)	284	240	181	154	115	63	47
Investitionsquote	5,3	6,1	5,4	6,2	8,9	5,2	4,4

Nach Angaben des GVSt (2011: 18). Investitionsquote: Investitionen in €/t Fördermenge.

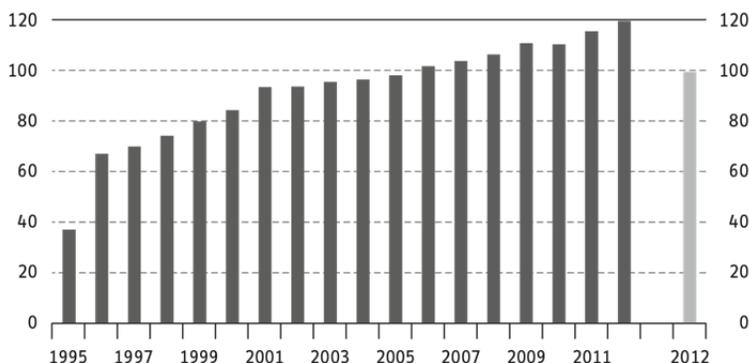
Rationalisierungsanstrengungen und Produktivitätssteigerungen sowie die Erhaltung der Betriebsbereitschaft spiegeln sich, ebenso wie Auflagen und Bestimmungen aus den Bereichen Arbeitssicherheit, Umwelt- und speziell Klimaschutz in den Investitionen wider. Die Investitionsquote, d.h. die Investitionen pro Tonne geförderter Steinkohle, wurde Ende der neunziger Jahre noch einmal deutlich erhöht und stieg bis 2004 auf knapp 10 € pro t bei einem Investitionsvolumen von 254 Mill. € (GVSt 2007: 21). Zur Sicherung der Fördermöglichkeit und Leistung wurden 2012 insgesamt 47 Mill. € investiert, wobei die Investitionsquote auf durch-

schnittlich 4,4 €/t Fördermenge sank (Tabelle 15.8) und der Anteil der Investitionen für Umweltschutzzwecke 2011 und 2012 bei rund 1 % lag.

15.9 Zusammenfassung und Bewertung

Die deutsche Steinkohlenindustrie hat die für 2012 avisierte Zielmarke, die CO₂-Emissionen um 75 % zu mindern, seit 2006 in jedem Jahr übertroffen (Schaubild 15.2). Im Jahr 2012 lag der Zielerreichungsgrad mit einem CO₂-Ausstoß von 0,9 Mill. t und einer Minderung um 90,3 % gegenüber 1990 bei 120,4 %, wobei die wesentliche Ursache dafür die Drosselung der Steinkohlenförderung ist. Zur Reduktion der Emissionen haben zudem Verbesserungen beim spezifischen Energieverbrauch sowie die Erhöhung des Fremdstrombezugs nach der erfolgten Stilllegung der Zechenkraftwerke in den neunziger Jahren beigetragen. 2010 war der spezifische Energieverbrauch aufgrund von Folgemaßnahmen auf das Erschütterungsergebnis im Saarrevier und Bergwerksstilllegung im Ruhrrevier deutlich höher als in den Vorjahren. Danach sank er vor allem aufgrund der Schließung des Bergwerks Saar sowie des Verkaufs der Kokerei Prosper erheblich.

Schaubild 15.2
Zielerreichungsgrade der Steinkohlenindustrie für das CO₂-Minderungsziel 2012
 1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

Bemühungen des Steinkohlenbergbaus, die Energieeffizienz weiter zu steigern, stoßen laut Aussage des Verbandes inzwischen an technisch-physikalische Grenzen (GVSt 2010: 19). Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass weitere Energieeinsparungen teilweise durch gegenläufige Einflussfaktoren wie zunehmende Abbautiefe und damit einhergehend steigenden Temperaturen zunichte gemacht werden.

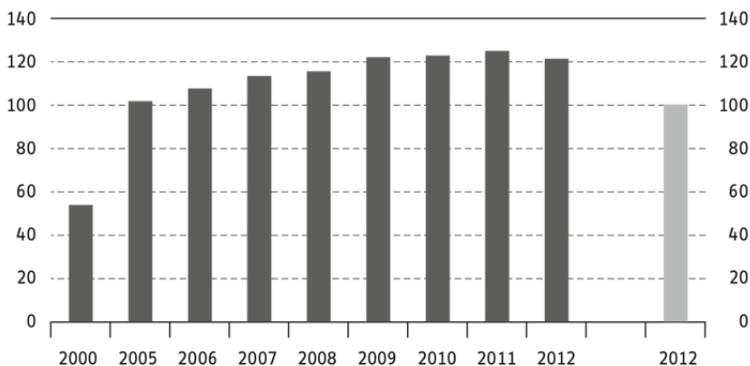
CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Grundlage des für 2012 ausgesprochenen CO₂-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 Steinkohleförderung von nur noch 16 Mill. t für das Jahr 2012 vereinbart. Diese Vereinbarung hat der Verband in seinem zweiten Fortschrittsbericht von 2005 berücksichtigt, indem er nunmehr bis 2012 eine CO₂-Reduktion von 80 % gegenüber dem Basisjahr 1990 für möglich hielt, die auch 2012 durch den für dieses Jahr unvorhergesehenen Förderrückgang leicht übertroffen wurde.

Auch das anvisierte Ziel, die Methanemissionen aus den aktiven und stillgelegten Bergwerksteilen bis zum Jahr 2012 um 70 % zu mindern, wurde seit dem Jahr 2005 deutlich übertroffen (Schaubild 15.3). Die CH₄-Emissionen konnten von 19,7 Mill. t CO₂-Äquivalenten 1990 auf 3 Mill. t, d.h. um 84,8 % gesenkt werden. Ursache hierfür war zum einen der Rückgang der Steinkohleförderung, der das Gasaufkommen aus aktiven Zechen reduzierte zum anderen die mit der Einführung des EEG einsetzende intensive Verwertung des Grubengases aus aktiven und stillgelegten Bergwerken.

Schaubild 15.3
Zielerreichungsgrade der Steinkohlenindustrie für das Methan-Minderungsziel 2012

2000 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen.

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 zum einen durch den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) repräsentiert, zu dem sich im Herbst 2007 alle entsprechenden Fachverbände – so auch der frühere Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) – zusammengeschlossen haben. Die Mitgliedsunternehmen des BDEW repräsentieren derzeit etwa 95 % aller Gasversorgungsunternehmen in Deutschland. Zum anderen wird die Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs 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 E.ON Ruhrgas sowie des BDEW bzw. in früheren Jahren des BGW zur Anzahl von Gasturbinen und -motoren in Blockheizkraftwerken (BHKW) sowie zum Jahresabsatz von Brennwertgeräten. Darüber hinaus liefert z.B. der BDEW als Repräsentant der Stromwirtschaft (früher VDEW) Daten zur CO₂-Intensität der öffentlichen Stromerzeugung.

Die Reduzierung der Methanemissionen aus Leckagen veralteter Grauguss-Erdgasleitungen wurde mit dem Monitoringbericht für die Jahre 2000 bis 2002 zum ersten Mal berücksichtigt (Steimle und Schikora 2003; 14, Schmitz 2006). Die Erneuerung von Graugussleitungen konnte früher aufgrund fehlender Daten nicht angerechnet werden. Daher wurden im Plausibilitätsbericht der TU Hamburg-Harburg für die Jahre 2002/ 2003 rückwirkend bis 1990 die Minderungserfolge im Gasleitungsbereich ergänzend berechnet (Schmitz 2005).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Die Zusammenführung aller Daten und die Berechnung der Auswirkungen der besonderen Anstrengungen des Gasfachs ist komplex, da sie sich aus einer Vielzahl von einzelnen Maßnahmen-Kategorien 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 Institut 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 (TU) Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Technische Thermodynamik übernommen (Schmitz 2005).

Für den Monitoringbericht 2009 hat die TU Hamburg-Harburg die Berechnungen zurückliegender Jahre überprüft und rückwirkend bis zum Jahre 2000 vereinzelt Änderungen vorgenommen. So fallen die bis 2008 erreichten CO₂-Minderungen im Haushaltsbereich bei der Substitution anderer Energieträger durch Gas um knapp 7 % höher aus, bei den Neubauten um 1 % und bei den Blockheizkraftwerken (BHKW) um 0,7 % geringer. Im Bereich Kleinverbraucher wurden die Werte bei den BHKW nach unten korrigiert. So lagen sie 2008 knapp 11 % niedriger als bisher ausgewiesen. Als Ursache für die Korrekturen wurde angegeben, dass vereinzelt Emissionsfaktoren korrigiert werden mussten. So sind bei der Substitution anderer Energieträger durch Gas Austauschkoefizienten falsch eingesetzt worden. Ebenso wurden aktuellere Angaben zu den Nutzungsgraden für Ölkessel berücksichtigt (Schmitz 2010a: 20; und 2010b: 10).

Diese Korrekturen haben insgesamt keine größeren Änderungen der CO₂-Minderung bewirkt. Die hier ausgewiesenen Minderungen liegen zusammengenommen etwas höher als in den Vorjahren. So wird z.B. für 2008 die bis zu diesem Jahr realisierte CO₂-Reduktion mit 44,35 Mill. t um knapp 150 000 t höher ausgewiesen.

Anzumerken ist nach Angaben des Verbandes ebenfalls noch, dass die Berechnungen der CO₂-Reduktion durch Kraft-Wärme-Kopplung mit Unsicherheiten behaftet sind, da die Daten zur Installation von Gasturbinen nach Informationen des Verbandes seit 2006 nicht mehr auf Grundlage von Referenzlisten der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (ASUE) aktualisiert werden konnten und die Werte für die Jahre 2007 bis 2012 nur aufgrund einer Auswertung öffentlich verfügbarer Informationen sowie der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur fortgeschrieben wurden.

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 (AGEB) 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 17,4 % (Tabelle 16.1). Die Zunahme des Marktanteils erfolgte vor allem zu Lasten von Heizöl und Festbrennstoffen.

Tabelle 16.1
Endenergieverbrauch an Naturgasen aller Sektoren in Deutschland
 1990 bis 2011

	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Verbrauch, in Mrd. kWh	458,2	577,9	612,7	583,9	609,8	585,3	605,4	565,5	624,8	528,9
Anteil am Endenergieverbrauch, in %	17,4	22,3	23,9	23,0	23,6	23,9	23,8	23,5	24,1	21,8

Nach Angaben der AGEB (2012). – Angaben für 2012 waren bei Fertigstellung des Berichts nicht erhältlich.

Im Jahr 2011 lag der Endenergieverbrauch an den Naturgasen Erdgas und Erdöl-gas in der Bundesrepublik Deutschland nach Angaben der AGEB bei rund 528,9 Mrd. kWh (Tabelle 16.1). Diese Gase hatten damit einen Anteil am Endenergieverbrauch von 21,8 %. Den bislang höchsten Anteil erreichten Naturgase 2002 mit 24,8 % (RWI 2007: 206). Sowohl der Verbrauch als auch sein Anteil am gesamten Endenergieverbrauch gehen seitdem leicht zurück.

Die Gasversorgungsunternehmen setzten nach Angaben des Verbandes 2011 rund 895,3 Mrd. kWh und 2012 rund 899,0 Mrd. kWh Erdgas ab. Sie beschäftigten in diesen beiden Jahren fast 39 000 Personen und erzielten in Deutschland einen Umsatz aus dem Verkauf an Letztverbraucher von rund 34 Mrd. € im Jahr 2011 und gut 36 Mrd. € im Jahr 2012 (BDEW 2013).

16.3 Die Selbstverpflichtung

In der ursprünglichen Klimaschutzklärung von 1995/ 1996 hat sich der Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) stellvertretend für das deutsche Gasfach verpflichtet, die spezifischen CO₂-Emissionen zur Raumwärmeerzeugung privater Haushalte und Kleinverbraucher bis 2005 auf 0,23 kg CO₂/kWh

Nutzwärme zu senken. 1990 betragen die spezifischen Emissionen dieses Bereiches in den alten Bundesländern 0,31 kg CO₂/kWh Nutzwärme und 0,56 kg CO₂/kWh in den neuen. Für den gesamten, an das Erdgasnetz angeschlossenen, Haushalts- und Kleinverbrauchssektor wurde eine CO₂-Emissionsminderung zwischen 30 und 40 Mill. t CO₂ erwartet. Bis 2001 konnten tatsächlich rund 34,3 Mill. t CO₂ reduziert werden (Schmitz 2005: 17).

Im Hinblick auf die Verpflichtung der Bundesregierung gegenüber dem Kyoto-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 CO₂-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 sollen auch der verstärkte Einsatz von Erdgas im Verkehrssektor und 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 Klimaschutzzerklärung 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 Warm-

wasserbereitungsanlagen in 5,3 Mill. Wohnungen¹¹ 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 CO₂-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 BHKW bereitgestellt werden.

Neben den Maßnahmen im Haushalts- und Kleinverbrauchssektor sollen CO₂-Emissionen durch die Modernisierung von 13 867 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, die Zahl der Erdgastankstellen auf 1 000 anwachsen. 1990 war diese Technik noch nicht auf dem Markt. Gegenüber konventionellen Kraftstoffen ergibt sich durch den Einsatz von Erdgas in Fahrzeugen eine spezifische CO₂-Emissionsminderung von bis zu 25 %.

16.4 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Gemäß der Plausibilitätskontrolle durch die Technische Universität Hamburg-Harburg haben sich die CO₂-Emissionen durch die Maßnahmen des deutschen

¹¹ Der in der Klimaschutzklärung vom November 2001 aufgenommene Wert von 2,5 Mill. Wohnungen war aufgrund eines Übertragungsfehlers falsch (Schmitz 2009:3).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Gasfachs in den Jahren 2011 und 2012 – für 2012 auf Basis vorläufiger Daten – gegenüber 1990 um 47,6 bzw. 49,3 Mill. t reduziert (Tabelle 16.2). Während die CO₂-Emissionen 2011 kaum zurückgegangen sind, konnten sie 2012 um gut 1,7 Mill. t reduziert werden. Von der gesamten Emissionsminderung der Jahre 2011 und 2012 entfielen pro Jahr rund 0,3 Mill. t auf die Warmwasseraufbereitung.

Tabelle 16.2

CO₂-Emissionsreduktionen im deutschen Gasfach

1990 bis 2012; in Mill. t CO₂; Ziel bis 2012: CO₂-Minderung von 45 Mill. t gegenüber 1990

	Emissionsreduktionen ohne Warmwasser	Emissionsreduktionen insgesamt
1990	0,0	0,0
1991	4,0	4,0
1992	7,1	7,1
1993	11,6	11,6
1994	14,6	14,6
1995	17,8	17,8
1996	21,9	21,9
1997	28,2	28,2
1998	29,6	29,6
1999	30,7	30,7
2000	33,3	33,4
2001	34,6	34,7
2002	36,6	36,7
2003	37,9	38,2
2004	39,4	39,6
2005	40,5	40,8
2006	42,1	42,4
2007	43,2	43,6
2008	44,6	45,0
2009	46,2	45,8
2010	46,8	47,5
2011	47,3	47,6
2012	49,0	49,3

Eigene Berechnungen nach Angaben von Schmitz (2013b: 11).

Die CO₂-Emissionsminderungen bei der Warmwasseraufbereitung waren zwischen 1996 und 2000 praktisch vernachlässigbar gering. Seit 1996 werden sie nach Absprache zwischen Verband und RWI bei der Bewertung nicht mehr berücksichtigt.

Damit lag der Zielerreichungsgrad angesichts der Reduktion im Jahr 2012 von 49,0 Mill. t ohne Berücksichtigung der Warmwasserbereitung bei 108,9 %.

16.5 Ursachenanalyse

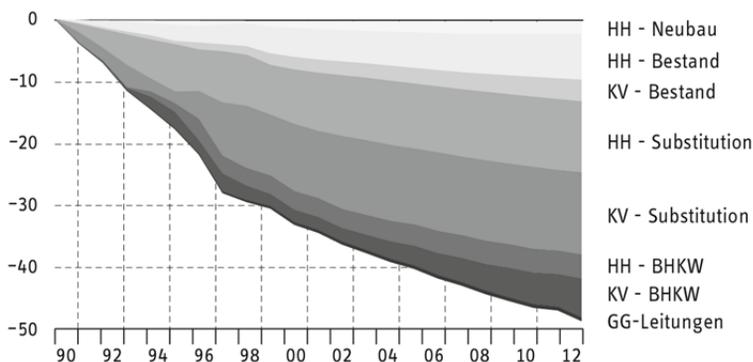
Den größten Beitrag zu den bisherigen CO₂-Emissionsminderungen leistete der Sektor Haushalte (HH), der 2011 und 2012 laut Plausibilitätskontrolle mit 24,9 bzw. 25,2 Mill. t zu mehr als der Hälfte zur Emissionsminderung beitrug. Im Sektor Kleinverbraucher (KV) konnten die Emissionen um 21,7 bzw. 23,1 Mill. t vermindert werden; damit lag der Beitrag zur Emissionsminderung bei 45,6 respektive 46,9 % (Schaubild 16.1 und Schmitz 2013b: 6). 73 % der bisherigen Reduktionen erfolgten bei den Haushalten bereits zwischen 1990 und 2000, bei den Kleinverbrauchern waren es knapp 70 %. In den Jahren 2011 und 2012 konnten die CO₂-Einsparungen bei den Haushalten gegenüber dem Jahr zuvor um 296 000 t bzw. 316 000 t und bei den Kleinverbrauchern um 106 000 t respektive gut 1,4 Mill. t erhöht werden. Die Modernisierung der Graugussleitungen machte 2012 ähnlich wie in den Vorjahren 1,2 % der CO₂-Minderungen des Gasfachs aus. Der Anteil der Warmwasserbereitung lag bei 0,5 %. Der Bestand an Erdgasfahrzeugen blieb auch 2012 mit 103 652 noch weit hinter den für 2012 erwarteten 500 000 Fahrzeugen zurück. Der Beitrag des Verkehrssektors zu den Klimaschutzanstrengungen des Gasfachs durch den Einsatz erdgasbetriebener Fahrzeuge war mit 0,1 % weiterhin verschwindend gering (Schmitz 2013a und b).

Im Bereich Haushalte kam 2011 und 2012 der Substitution von Kohle-, Öl- und Stromanlagen zur Heizwärme- und Warmwasserbereitung die größte Bedeutung zu mit einem Anteil an den CO₂-Emissionsminderungen von 24,1 bzw. 23,3 %, gefolgt von der Modernisierung bestehender Gasheizungen (jeweils 15,0 %), der Förderung von BHKW (8,0 bzw. 7,9 %) sowie dem Einsatz von Erdgas im Neubaubereich (5,1 bzw. 5,0 %) (Schaubild 16.1). Mit gut 296 000 t respektive 316 000 t wurde die geringste Minderung bei den Haushalten seit 2000 realisiert. Die niedrigeren zusätzlichen CO₂-Minderungen im Vergleich zu früheren Jahren sind vor allem auf den deutlichen Rückgang zusätzlicher CO₂-Minderungen im Bereich der Neubauten sowie bei den Blockheizkraftwerken zurückzuführen.

Schaubild 16.1

CO₂-Emissionsminderungen durch verschiedene Maßnahmen des Gasfachs

1990 bis 2012; in Mill. t; kumuliert



Eigene Berechnungen nach Angaben von Schmitz (2013b: 10).

Zwischen 1991 und 2009 wurden in rund 5,6 Mill. Altbauwohnungen CO₂-intensive Energieträger durch Erdgas substituiert und damit die für 2012 der Selbstverpflichtung zugrunde liegende Annahme von 5,3 Mill. Wohnungsumstellungen bereits übertroffen. Bis 2010 konnte der Mischnutzungsgrad, d.h. der mittlere Nutzungsgrad der neu installierten Gasgeräte auf 97 % gesteigert werden. Der mittlere Nutzungsgrad der Gasgeräte im Bestand konnte vor allem durch den Austausch gegen neue Brennwertgeräte deutlich gesteigert werden. Nach Angaben des Verbandes wurde der für 2012 erwarteten Bestandsnutzungsgrad von 89 % im Jahr 2012 knapp erreicht (Schmitz 2013a: 12).

Die Zahl der Fertigstellungen gasbeheizter Wohnungen ging zwischen 1995 und 2010 von 373 419 auf etwa ein Fünftel auf 75 352 zurück (Tabelle 16.3). 2011 war erstmals wieder ein Anstieg auf 84 402 Wohnungen zu verzeichnen. Nachdem der Anteil gasbeheizter Neubauwohnungen bis 2004 auf 75,8 % stetig angestiegen war, ging auch dieser Wert – parallel zum Rückgang der Fertigstellungen – bis 2011 auf 52,4 % zurück (Tabelle 16.4). Nach Angaben des Plausibilitätsberichts lag dieser Anteil im Jahr 2011 und 2012 bei rund 50,0 % (Schmitz 2013b: 4). Erdgas ist damit immer noch der wichtigste Energieträger für Neubauten, auch wenn Wärmepumpen erheblich an Bedeutung gewinnen konnten.

Tabelle 16.3
Fertigstellungen gasbeheizter Wohnungen
 1995 bis 2011

	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Einfamilienhaus	42 258	131 251	92 765	90 430	67 325	49 862	38 981	37 259	42 644
Zweifamilienhaus	26 684	35 448	19 682	16 766	13 820	10 178	7 540	6 660	7 762
Mehrfamilienhaus	236 467	104 691	46 287	51 219	43 376	38 773	32 931	30 210	32 360
Insgesamt ¹	373 419	273 143	159 025	158 945	125 437	99 695	80 026	75 352	84 402

Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 1 (versch. Jahrgänge). Angaben für 2012 waren bei Fertigstellung des Berichts nicht erhältlich. - ¹ Einschließlich Wohnungen in Wohnheimen.

Auch im Sektor Kleinverbrauch war 2011 und 2012 die wichtigste Maßnahme zur CO₂-Reduktion die Energieträgersubstitution (27,4 bzw. 27,0 %), gefolgt von der Förderung von BHKW (11,1 bzw. 12,8 %) und der Modernisierung im Bestand (jeweils 7,1 %) (Schaubild 16.1 und Schmitz 2013b: 10). 82 % der durch Substitution der Energieträger erzielten Minderungen fanden in den Jahren 1990 bis 2000 statt. Nach 2004 gab es mit Ausnahme von 2006 mit etwa 440 000 t nur geringe zusätzliche Minderungen. Die Modernisierung älterer Gasanlagen verläuft kontinuierlicher. Von 2001 bis 2007 lagen die zusätzlichen jährlichen Einsparungen bei gut 100 000 t, 2008 stiegen sie auf rund 160 000 t an; 2011 und 2012 lag die zusätzliche Minderung bei etwa 150 000 t bzw. 147 000 t CO₂. Für den Bereich Kleinverbrauch insgesamt wurde vom Verband für die bis 2012 möglich gehaltenen Umstellungen ein Erdgasabsatz von 72 Mrd. kWh sowie ein zusätzlich geplanter Absatz von 68 Mrd. kWh für Neubauten unterstellt. Diese Menge wurde aufgrund des Rückgangs beim Gasverbrauch nicht eingehalten. 2012 lag der Erdgasverbrauch der Kleinverbraucher bei 125,7 Mrd. kWh.

Zwischen 1990 und 2012 haben die Haushalte durch die Nahwärmeversorgung mit BHKW ihren Ausstoß an CO₂ um 3,9 Mill. t vermindert, wobei etwa 78,4 % hiervon bereits bis 2000 eingespart wurden (Schaubild 16.1 und Schmitz 2013b: 10). Wurde 2007 noch ein zusätzlicher Einsparungseffekt gegenüber dem Vorjahr von 123 000 t erreicht, lag die Minderung 2012 lediglich bei 82 000 t. Im Sektor Kleinverbrauch lagen die Einsparungen durch Nahwärme aus BHKW 2012 bei 6,3 Mill. t. Im Gegensatz zu den Haushalten haben die Kleinverbraucher auch in den letzten Jahren hier den Ausbau deutlich gesteigert. Allein 2012 lag der Zuwachs gegenüber dem Vorjahr bei mehr als 1 Mill. t. Die Aussage zu den BHKW steht insofern unter gewissem Vorbehalt, da nach Auskunft des BDEW seit 2007 keine gesicherten Daten zu den

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

neu installierten Gasturbinenleistungen mehr vorliegen und sie nur fortgeschrieben werden können.

Tabelle 16.4
Anteile gasbeheizter Neubauwohnungen und Nichtwohngebäude
1995 bis 2011; in %

	1995	2000	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Einfamilienhaus	31,7	74,3	76,8	75,5	72,7	66,6	63,2	56,5	52,7	52,6
Zweifamilienhaus	38,5	66,9	69,5	68,7	65,4	60,4	58,2	50,9	44,9	48,8
Mehrfamilienhaus	83,8	76,7	76,8	75,2	73,6	72,5	71,0	64,0	57,1	52,9
Neubau- wohnungen insg. ¹	75,5	74,1	75,8	74,4	72,1	67,7	65,5	58,6	54,0	52,4
Nichtwohn- gebäude	64,3	65,2	66,5	66,1	66,2	65,0	63,7	62,5	56,9	55,7

Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 1 (versch. Jahrgänge). Angaben für 2012 waren bei Fertigstellung des Berichts nicht erhältlich. –¹ Einschl. Wohnungen in Wohnheimen.

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 2012 um 0,601 Mill. t CO₂-Äquivalente gegenüber 1990 gesenkt werden (Schaubild 16.1 und Schmitz 2013b: 10). Zum Vergleich: Die spezifischen Methanleckagen der alten Graugussleitungen betragen 1997 in den alten Bundesländern 1 166 m³/km bzw. 8 396 m³/km in den neuen Bundesländern. 2012 waren die gesamten 13 867 km Erdgasleitungen modernisiert, die Umstellung damit abgeschlossen.

Für den Bereich Verkehr wurden im Plausibilitätsbericht für 2012 die CO₂-Minderungen mit 91 000 t angegeben. Die Berechnungen zur Emissionsminderung erfolgten auf Basis der kumulierten Neuzulassungen an erdgasbetriebenen Fahrzeugen, des unterschiedlichen Kraftstoffverbrauchs von Diesel-, Otto- und Erdgasmotoren sowie der unterschiedlichen Emissionskoeffizienten. Einbezogen wurden ebenfalls bivalente Personen- und Nutzkraftfahrzeuge, d.h. die Fahrzeuge, die sowohl mit Benzin als auch mit Erdgas betrieben werden können. Die Zahl der neu zugelassenen Fahrzeuge stieg von etwa 10 500 im Jahr 2001 auf fast 104 000 im Jahr 2012. Davon waren knapp 81 % PKW, der Rest NKW und Omnibusse (Schmitz 2013b: 7). Insgesamt blieben die Bestände deutlich hinter dem für 2012 erwarteten Bestand von 500 000 Fahrzeugen zurück.

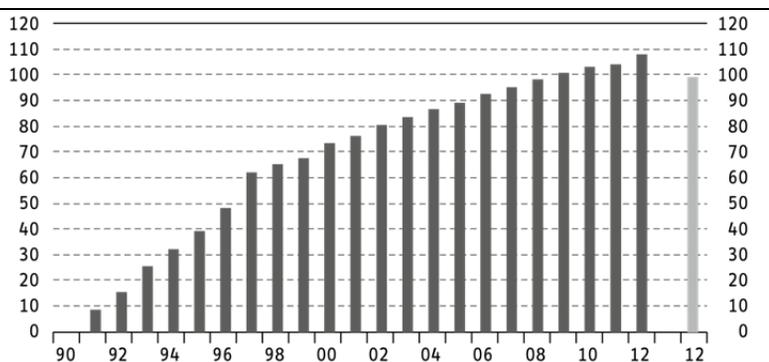
Die Analyse der Daten zeigte nach Ansicht des Verbandes auch, dass erdgasbetriebene Nutzfahrzeuge nicht zur CO₂-Vermeidung beitragen, da der Emissionskoeff-

fizient zwar niedriger ist, sie aber 30 % mehr Kraftstoff benötigen als dieselbetriebene (Schmitz 2010a: 19).

16.6 Zusammenfassung und Bewertung

Das deutsche Gasfach hat versucht, die CO₂-Emissionen mittels einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen in unterschiedlichen Endenergieverbrauchssektoren zu reduzieren. Insgesamt wird für 2012 eine Reduzierung der relevanten CO₂-Emissionen um 49,0 Mill. t gegenüber 1990 nachgewiesen (Schaubild 16.1). Zu den betrachteten Maßnahmen kamen in den letzten Jahren der Einsatz von Erdgas im Verkehrssektor sowie der Austausch alter Graugussleitungen gegen Kunststoffrohre in der Erdgasversorgung hinzu. Der Beitrag des Verkehrssektors zu den Klimaschutzanstrengungen des Gasfachs liegt derzeit allerdings erst bei einem Anteil von 0,2 %. Der Ersatz alter Graugussleitungen macht bislang etwa 1,2 % der CO₂-Minderungen des Gasfachs aus.

Schaubild 16.2
Zielerreichungsgrade des Gasfachs
 1990 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen nach Angaben von Schmitz (2013b: 10).

Die weitaus größten CO₂-Minderungserfolge wurden bei der Heizwärmeerzeugung privater Haushalte sowie der Heiz- und Prozesswärmeproduktion im Sektor Kleinverbraucher erzielt. Verglichen mit den zusätzlichen CO₂-Minderungen im Jahr 2011 spielten 2012 in erster Linie die Modernisierung des Heizungsbestandes der privaten Haushalte und der Kleinverbraucher sowie der Ausbau der BHKW, hier vor allem bei den Kleinverbrauchern eine Rolle. Insgesamt wurde das für 2012 ausgegebene Ziel, die Treibhausgasemissionen um 45 Mill. t CO₂-Äquivalente gegenüber 1990 zu verringern, im Jahr 2011 mit 105 % und 2012 mit rund 109 % übertroffen.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Der größte Teil der der Verpflichtung zugrunde liegenden Maßnahmen konnte bereits realisiert werden; so hat sich die technische Effizienz des Anlagenbestandes deutlich verbessert. Die für 2012 angestrebte Erhöhung des Mischnutzungsgrades ist im Bereich Kleinverbrauch bereits deutlich übertroffen und auch im Haushaltssektor erreicht worden (Schmitz 2011a: 9). Die Menge des Erdgasabsatzes im Kleingewerbe blieb wegen des Nachfragerückganges seit 2007 hinter der der Selbstverpflichtung zugrunde liegenden Annahme von 140 Mrd. kWh zurück (Schmitz 2013b: 6).

Für die einzelnen Minderungsmaßnahmen enthält der Plausibilitätsbericht der TU Hamburg-Harburg Nachweise über die Entwicklung der einzelnen Bestimmungsgrößen (Schmitz 2013a und 2013b) wie:

- Absatzzahlen von Gasheizkesseln und Brennwertkesseln,
- Anzahl der mit Erdgas beheizten neuen Gebäude,
- durch KWK bereitgestellte Heizwärme von Gasturbinen und Gasmotoren,
- spezifische Methanemissionen der Erdgasleitungen in den alten und neuen Bundesländern und die kumulierte Länge der sanierten Erdgasleitungen in Deutschland sowie
- Neuzulassungen und Bestand von Erdgasfahrzeugen.

Der Einfluss der den Gasverbrauch mittelbar oder unmittelbar beeinflussenden Größen wird dadurch deutlich gemacht. Mit der Realisierung des für 2012 angestrebten Ziels der CO₂-Minderung ist gleichzeitig der größte Teil der zugrunde liegenden Annahmen erfüllt.

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. Ihre Anteile an der gesamten Bruttoreaffinerieerzeugung betragen 2012 jeweils 30,0 %, 19,6 % und 13,4 % (MWV 2013a).

Aufgrund der geringen inländischen Förderung mussten 2011 und 2012 nach Angaben des Mineralölwirtschaftsverbandes 97,2 % des Rohölbedarfs importiert werden. Dies entsprach Importen in Höhe von rund 90,8 und 92,3 Mill. t. An der Rolle des Importeurs wird sich auch in Zukunft nichts ändern, da Deutschland über Ölreserven von lediglich gut 38 Mill. t verfügt. Mit einer Raffineriekapazität von 104,4 Mill. t lag Deutschland 2012 weltweit an achter Stelle (MWV 2013a).

17.1 Datenbasis

Die Basis für den vorliegenden Monitoringbericht bilden der zehnte Fortschrittsbericht zur Klimaschutzklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien - Fortschreibung 2012 - (MWV 2013b) und der elfte Fortschrittsbericht für den Wärmemarkt (MWV 2013c). Der sich auf die Raffinerien beziehende Fortschrittsbericht beruht auf unternehmensinternen Daten und Angaben der Mineralöl verarbeitenden Industrie. Daten zur Bruttoreaffinerieerzeugung, zum Rohöleinsatz und zum Mineralölverbrauch sind im Jahresbericht Mineralöl-Zahlen 2012 zu finden (MWV 2013a).

Dem Fortschrittsbericht für den Wärmemarkt liegen Daten des Bundesindustrieverbandes Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH), Daten des Schornsteinfegerhandwerks zur Anzahl und Altersklassifikation von Ölheizungsanlagen sowie Daten des Bundesverbandes Solarindustrie e.V. (BSi-Statistik Solarthermie), Daten der Statistischen Landesämter zur Bautätigkeit und eine Anlagenbaubefragung zugrunde. Auf Basis dieser Daten wurde vom Institut für Wärme und Oeltechnik (IWO) der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad für Ölheizungsanlagen als Indikator für die durchschnittliche technische Effizienz dieser Anlagen ermittelt. Dieser gilt im Rahmen der Selbstverpflichtung bezüglich des Wärmemarktes gleichzeitig als Indikator für Erfolg bei der CO₂-Reduktion.

Bei der Berechnung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades 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

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

der Anteil für Warmwasser um den Beitrag der Solaranlagen korrigiert. Zur Berechnung des Ersatzes 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 Minderung der CO₂-Emissionen selbst ist im Wärmemarkt nicht Ziel der Selbstverpflichtung und wird deshalb nur nachrichtlich ausgewiesen. Bei der Ermittlung der Emissionen des Jahres 1990 wird der entsprechende Verbrauch an leichtem Heizöl zugrundegelegt. Hinzukommen die Emissionen aus den für dieses Jahr angenommenen 640 000 Kohleheizungen, die in den Jahren danach entsprechend der Prognose des Heizungsanlagenbestandes durch Ölkessel ersetzt wurden.

Die Grundlage für die Klimaschutzzerklärung 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. Der Verband beschränkt dabei die Datenermittlung und Berichterstattung für den Monitoringbericht auf Kohlendioxid (CO₂), da die in Raffinerien vorkommenden sonstigen Treibhausgase sich als mengenmäßig unbedeutend erweisen (MWV 2004: 1).

Zur Ermittlung der CO₂-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 umzurechnen. Auf dieser Basis können dann die mit dem Raffineriegaseinsatz verbundenen CO₂-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 CO₂-Emissionsfaktoren errechnet und auf die Bruttoreffinerieerzeugung (inkl. Eigenverbrauch) bezogen. Für den Nettofremdstrombezug wird allerdings ein von

dem für das Monitoring vereinbarten CO₂-Emissionsfaktor abweichender Wert von 0,55 anstatt 0,67 t CO₂/MWh angenommen. Das bedeutet bei einem Anteil von gut 10 % Nettofremdstrombezug am gesamten Energiemix knapp 2 % niedrigere absolute und spezifische Emissionen als beim höheren CO₂-Faktor. Dieser geringe Unterschied ist jedoch unerheblich für die Minderungszusage im Raffineriebereich.

17.2 Energieverbrauch, Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Im Bereich der Mineralölverarbeitung waren 2011 und 2012 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes knapp 17 000 Personen beschäftigt, und es wurde ein Umsatz von 93,8 bzw. 99,7 Mrd. € erzielt. Dabei wurden in den deutschen Raffinerien rund 93,4 bzw. 94,9 Mill. t Rohöl und 12,1 bzw. 11,6 Mill. t Mineralölprodukte für die Bruttoreffinerieerzeugung eingesetzt (Tabelle 17.1).

Nach einem Anstieg von 10,7 % zwischen 1990 und 1998 blieb der Einsatz von Rohöl und Mineralölprodukten in der Raffinerieproduktion in den Jahren danach bis 2003 mit 116 bis 118 Mill. t relativ konstant. Zwischen 2003 und 2005 nahm der Einsatz erneut deutlich auf 126,2 Mill. t zu (Tabelle 17.1), um dann bis 2012 wieder auf 106,6 Mill. t zu sinken. Seit 2010 liegt die Raffinerieproduktion unter der von 1990 mit 107,3 Mill. t. Der Anteil des im Inland geförderten Rohöls ist in den neunziger Jahren von 4 % auf 2,6 % zurückgegangen und stabilisierte sich danach bei etwa 3 %; 2011 und 2012 lag er bei 2,8 %.

Im Gegensatz zur Raffinerieproduktion stieg der Inlandsabsatz an Mineralölprodukten nach Angaben des MWV von 1990 bis 1998 nur um 7,7 % auf 132,3 Mill. t und sank bis 2006 um 10,3 % auf 118,7 Mill. t. In den Jahren 2007 bis 2012 verlief der Absatz uneinheitlich, insgesamt setzte sich der rückläufige Trend jedoch fort: 2011 und 2012 betrug der Inlandsabsatz 109,3 bzw. 109,2 Mill. t; lediglich in den Jahren 2008 und 2010 erreichte er 114,0 bzw. 112,0 Mill. t (MWV 2013a). Während bis 2007 die inländischen Absatzverluste durch einen Anstieg bei den Exporten kompensiert werden konnten, sanken auch diese seit 2008 deutlich; 2011 und 2012 war gegenüber dem Vorjahr wieder ein leichter Anstieg beim Export von Rohölprodukten von 0,3 bzw. 0,4 % zu verzeichnen (MWV 2013a).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

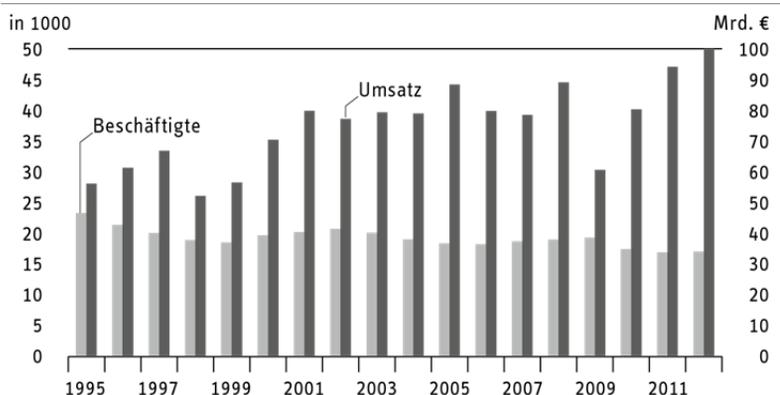
Tabelle 17.1
Entwicklung des Einsatzes an Rohöl und Mineralölprodukten der deutschen Raffinerien

1990 bis 2012; in Mill. t; gerundete Werte

Jahr	Rohölimporte Anteil in %	Rohöl	Mineralöl- produkte	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
2005	97,0	114,5	11,6	126,2
2006	97,0	111,8	12,8	124,6
2007	96,9	109,2	13,5	122,7
2008	97,2	107,4	13,0	120,4
2009	97,3	100,9	12,3	113,2
2010	97,5	95,4	11,7	107,1
2011	97,2	93,4	12,1	105,6
2012	97,2	94,9	11,6	106,6

Nach Angaben des MWV (2013a).

Schaubild 17.1
Beschäftigte und Umsatz in der Mineralölwirtschaft
 1995 bis 2012



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 4.1.1. und des Jahresberichts für Betriebe.

Insgesamt war in dieser Branche zwischen 1995 und 2001 ein jahresdurchschnittlicher Umsatzanstieg von gut 6 % auf 79,5 Mrd. € zu verzeichnen. Bis 2007 blieb der Umsatz in etwa auf diesem Niveau mit Ausnahme eines vorübergehenden Anstiegs auf 88 Mrd. € im Jahr 2005 (Schaubild 17.1). 2008 stieg der Umsatz aufgrund des Preisanstiegs und des erhöhten Absatzes erneut um 13,6 % auf 88,8 Mrd. €. Nachdem er 2009 jedoch wieder – parallel zum Absatz – auf 60,3 Mrd. € gesunken war, stieg er Umsatz bis 2012 auf rund 100 Mrd. €. Die Zahl der Beschäftigten verringerte sich zwischen 1995 und 2012 um 27,2 % auf ca. 17 000.

Der Verbrauch an leichtem Heizöl kann nur durch Interpolation des Absatzes über einen längeren Zeitraum abgeschätzt werden, da durch die schwer zu erfassenden Lagerbestandsveränderungen Absatz und Verbrauch nicht direkt miteinander korrelieren. Ein Beispiel hierfür ist der Absatzeinbruch im Jahr 2007, der im Verbrauch natürlich keine Widerspiegelung fand.

Bereits seit 1980 ist der Verbrauch an leichtem Heizöl in Deutschland rückläufig (MWV 2007: 51). Der Anteil des leichten Heizöls am Endenergieverbrauch lag 2012 bei 8,3 %. Gegenüber 1996, dem Jahr mit dem höchsten Absatz seit 1990 (54,1 Mill. t SKE), sank der Verbrauch um 28,3 Mill. t SKE auf 25,8 Mill. t SKE im Jahr 2012 (Tabelle 17.2). Der Anteil am Endenergieverbrauch ging um 8,1 Prozentpunkte zurück.

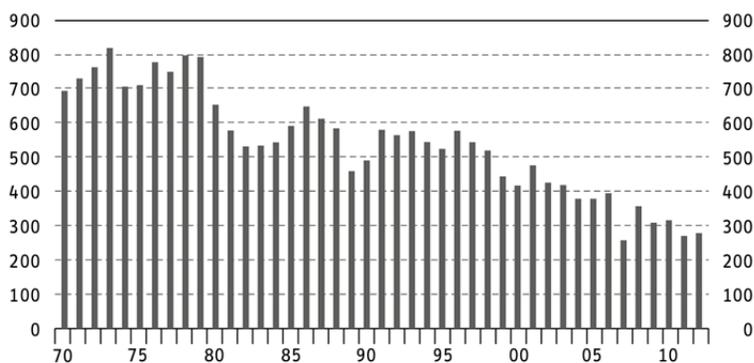
Tabelle 17.2
Verbrauch an leichtem Heizöl und Anteil am Endenergieverbrauch in Deutschland
 1990 bis 2011; in Mill. t SKE und %

	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012*
Leichtes Heizöl, (Mill. t SKE)	42,8	49,0	39,2	35,0	28,6	28,8	23,9	25,8
Anteil, %	13,2	15,4	12,4	11,1	9,6	9,1	7,9	8,3

Nach Angaben der AGEB (Stand Juli 2013). * Vorläufige Angaben.

Der spezifische Heizölabsatz pro Kopf weist seit Beginn der achtziger Jahre ebenfalls eine fallende Tendenz auf (Schaubild 17.2). Lag der Pro-Kopf-Absatz 1979 in Deutschland noch bei fast 800 Litern, so sank er bis 2012 auf einen Wert von 281 Litern nach einem vorübergehenden Rückgang auf 257 Liter im Jahr 2007 und erneutem Anstieg auf 357 Liter im Jahr 2008.

Schaubild 17.2
Pro-Kopf-Absatz an leichtem Heizöl
 1970 bis 2012; in Liter je Einwohner



Eigene Berechnungen.

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 Wärme und Oeltechnik (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 deckt über 90 % der Unternehmen der mineralölverarbeitenden Industrie ab.

Ziel der Selbstverpflichtung der im September 2001 abgegebenen zweiten Klimaschutzklärung der deutschen Mineralölwirtschaft für den Wärmemarkt ist die Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades von Ölheizungsanlagen bis 2012 um 27 bis 30 % gegenüber 1990, wobei bis 2005 bereits eine Verbesserung um 23 bis 25 % angestrebt wurde. Mit der Steigerung des Jahresnutzungsgrades ist eine Minderung des spezifischen Heizölverbrauchs und der damit zusammenhängenden Treibhausgasemissionen verbunden.

Übersicht 17.1

Selbstverpflichtungen der deutschen Mineralölwirtschaft

Ziele	<ol style="list-style-type: none"> 1. Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades der Ölheizungsanlagen im Raumwärmemarkt bis 2012 um 27 bis 30 % gegenüber 1990. 2. Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen der Raffinerien bis 2012 um 10 % gegenüber 1990.
-------	---

Basisjahr 1990

Nach Angaben des MWV (2001a und 2001b).

Ausgehend von einem durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad von 68 % im Jahr 1990 impliziert dies einen Anstieg des Nutzungsgrades auf 84 bis 85 % im Jahr 2005 und 86 bis 88 % im Jahr 2012. Die Selbstverpflichtung umfasst Ölheizungsanlagen aus Haushalten, dem Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie den öffentlichen Einrichtungen. Mit einer Verbesserungsrate von 24,2 % gegenüber 1990 und einem durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad von 84,8 % im Jahr 2005 konnte der erste Teil der Selbstverpflichtung bereits erfüllt werden.

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 2001a: 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. Die alte Verpflichtung basierte auf der Bezugsgröße Heizölverbrauch pro Wohn- und

Nutzfläche. Der Abhängigkeit der früheren Verpflichtung der Mineralölwirtschaft von den von ihr nicht beeinflussbaren Variablen Wohnungsgröße 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 2001a: 3).

Bei der Klimaschutzklärung 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. Da es sich bei den Treibhausgasen nach Angaben des Verbandes fast ausschließlich um CO₂-Emissionen handelt, beschränkt er Datenermittlung und Berichterstattung auf diese (MWV 2004: 1).

In diese Zielsetzungen sind sowohl künftige Energiesparmaßnahmen der Raffinerien als auch die Auswirkungen der konkreten gesetzlichen Vorhaben bis 2012 bezüglich Produktqualitäten und Umweltschutz – z.B. bezüglich des Schwefelgehalts von Kraftstoffen – eingeflossen.

17.4 Bis 2012 erreichte Verbesserungen des Jahresnutzungsgrades für Ölheizungen und CO₂-Minderungen

2011 und 2012 lag der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad von Ölheizungen im Raumwärmemarkt bei 87,7 bzw. 87,9 % (Tabelle 17.3). Gemessen an der für 2012 avisierten Steigerungsrate von 27 bis 30 % lag der Zielerreichungsgrad 2012 damit bezogen auf den unteren Wert der angestrebten Spannbreite bei gut 106 %. Seit 1995 ist ein stetiger Anstieg des Nutzungsgrades um durchschnittlich jährlich 1,0 % festzustellen.

Durch die Verbesserung des jahresdurchschnittlichen Nutzungsgrades ergab sich bis 2010 ein Rückgang der hier nur nachrichtlich ausgewiesenen CO₂-Emissionen von 22,9 Mill. t bzw. um 21,9 % gegenüber dem Basisjahr 1990. Die absolute Reduktion der CO₂-Emissionen geht aufgrund weiterer Effizienzmaßnahmen (z. B. Dämmung) deutlich darüber hinaus.

Ziel der Klimaschutzverpflichtung der Mineralölindustrie für die Raffinerien ist die Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen je Tonne Brutteraffinerieerzeugung bis 2012 um 10 % gegenüber 1990. Dies bedeutet konkret eine Minderung von 215 kg CO₂/t auf 194 kg CO₂/t. Ausgesprochen wurde die Selbstverpflichtung vor dem

Hintergrund eines erwarteten Anstiegs des Raffinerieeinsatzes zwischen 1990 und 2012 um 13 % bei Konstanz der absoluten Emissionen.

Tabelle 17.3
Fortschritte der Mineralölwirtschaft bei der Selbstverpflichtung für den Wärmemarkt

1990 bis 2012; Ziel 2012: Verbesserung des Jahresnutzungsgrades um 27 %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012*
Nutzungsgrad (in %)	68,3	74,7	80,3	84,8	87,4	87,7	87,9
Verbesserung (in %)	-	9,4	17,6	24,2	28,0	28,4	28,7
Zielerreichungsgrad (in %)	-	34,8	65,2	89,6	103,7	105,2	106,3
CO ₂ -Emissionen, (Mill. t)	104,5	95,5	88,9	84,2	81,6	-	-
Emissionsminderung (in %)	-	8,6	15,0	19,5	21,9	-	-

Nach Angaben des MWV (2013c). *: vorläufig.

Die Mineralölindustrie hat ihre Verpflichtung seit dem Jahr 2000 deutlich übererfüllt: Bezogen auf 1990 waren die spezifischen CO₂-Emissionen 2011 und 2012 um 21,9 bzw. 26,0 % geringer (Tabelle 17.4). Im Jahr 2012 konnte ein Zielerreichungsgrad von 260 % erreicht werden. Damit lag dieser seit 2001 mit Ausnahme des Jahres 2003 immer bei 200 % bzw. noch darüber.

Seit 2000 haben sich die spezifischen Emissionen trendmäßig kaum noch verändert, wobei die Werte jedoch leichten Schwankungen unterworfen waren. Für 2011 bedeutet das bei einem in diesem Jahr eher mittleren Niveau der spezifischen Emissionen einen Rückgang der absoluten CO₂-Emissionen gegenüber 2000 um 3,3 Mill. t CO₂ bzw. um 16,0 %, bei gleichzeitigem Rückgang der Bruttorefinerierzeugung um 10,9 % (Tabelle 17.4). 2012 wurde mit 159 kg CO₂/t der bislang niedrigste Wert erreicht. Der Rückgang der absoluten Emissionen gegenüber 2000 betrug 4,0 Mill. t bzw. 19,4 %, die Bruttorefinerierzeugung sank in dieser Zeit um 10 %.

Die absoluten CO₂-Emissionen betragen 2012 rund 16,6 Mill. t. Dies entspricht einer Emissionsminderung von 6,2 Mill. t bzw. 27,2 % gegenüber 1990. Nachdem bereits das Jahr 2009 infolge der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung ein besonders absatzschwaches Jahr war, sank der Raffinerieeinsatz in den folgenden Jahren

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

erneut um 5,9 % auf 104,4 Mill. t; er lag damit sogar unter dem Einsatz des Jahres 1990 (Tabelle 17.1).

Tabelle 17.4 **Fortschritte bei der Selbstverpflichtung der deutschen Mineralölgewirtschaft für die Raffinerien**

1990 bis 2012; Ziel bis 2012: Minderung der spezifischen CO₂-Emissionen um 10 % auf 194 kg CO₂/t Bruttoreffinerieerzeugung

Jahr	Emissionen, Mill. t CO ₂	Bruttoreffinerie- erzeugung, Mill. t	Spezifische Emissionen, kg CO ₂ /t	Zielerreichungsgrad
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 %
2005	21,3	123,6	172	200 %
2006	20,5	122,1	168	219 %
2007	20,1	120,4	167	223 %
2008	20,0	118,2	169	214 %
2009	18,8	110,9	170	209 %
2010	18,0	104,9	172	200 %
2011	17,3	103,3	168	219 %
2012	16,6	104,4	159	260 %

Nach Angaben des MWV (2013b).

17.5 Ursachenanalyse

Für den Bedarf an Heizöl spielt die Entwicklung des Marktanteils des Heizöls bei den Gebäudefertigstellungen eine wichtige 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 2007 von knapp 112 000 über 27 800 in 2004 auf etwa 3 300 im Jahr 2011. Seit 1995 sank der Anteil dieser Woh-

nungen an den neu erstellten Wohnungen insgesamt von 22,6 % auf 2,1 % im Jahr 2011.

Die Verbesserung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades hat sich in den letzten Jahren – auch aufgrund des inzwischen erreichten Niveaus – deutlich verlangsamt. Während der Anstieg zwischen 1995 bis 2001 noch bis zu 1,3 % pro Jahr erreichte, sank die Zuwachsrate von 2002 bis 2005 im Durchschnitt auf 0,8 %. Bis 2012 fiel die Veränderung gegenüber dem Vorjahr auf 0,2 %.

Tabelle 17.5
Anteil ölbeheizter Wohnungen bei neu fertig gestellten Wohngebäuden
 1995 bis 2011; in %

	1995	2000	2005	2008	2009	2010	2011
Einfamilienhaus	31,7	18,8	11,3	5,5	3,9	3,1	2,3
Zweifamilienhaus	38,5	28,7	18,5	9,9	7,3	5,2	4,1
Mehrfamilienhaus*	14,8	7,8	5,1	2,5	1,7	2,4	2,0
Insgesamt	22,6	16,1	10,4	4,9	3,4	2,6	2,1

*Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 5, Reihe 1 (versch. Jahrgänge). Angaben für 2012 waren bei Fertigstellung des Berichts noch nicht erhältlich. - *einschließlich Wohnheime.*

Aufgrund des starken Rückgangs der Zahl neu gebauter Wohnungen mit Ölheizung sind diese Verbesserungen im Wesentlichen auf Modernisierungen im Altbestand zurückzuführen. Dazu beigetragen hat auch, dass in den letzten Jahren eine deutliche Ausweitung des Anteils der Öl-Brennwertkessel gegenüber den Öl-Niedertemperaturkesseln von 14,5 % in 2005 auf 66,1 % im Jahr 2011 bzw. 66,6 % in 2012 erfolgte (MWV 2011c: 1). Gleichzeitig stieg der Absatz an Öl-Heizgeräten insgesamt, nach dem deutlichen Rückgang zwischen 2005 und 2007 von rund 139 000 auf ca. 97 000 Geräte, 2008 wieder auf 105 000 und 2009 auf 116 000 Geräte an. Seit 2010 ist der Absatz von Öl-Heizgeräten allerdings wieder rückläufig. Nachdem sich der Absatz 2011 bereits auf 85 500 reduziert hatte, ging er auch im Jahr 2012 weiter zurück und erreichte mit knapp 70 500 Geräten den niedrigsten Wert seit 2005.

In den letzten Jahren haben sich nach Ansicht des Verbandes eine Vielzahl Besitzer veralteter Heizungen bei der Modernisierung zurückgehalten. Den Grund sieht er in ihrer Unsicherheit, angesichts von Energiepreissteigerungen, Zweifeln an der Versorgungssicherheit bei Öl und Gas und der Vorschriften zur Nutzung von erneuerbaren Energien in Wohngebäuden nach dem EEWärmeG zu entscheiden, welches

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Heizungssystem zukünftig die beste Alternative bietet (MWV 2008: 1). Der Rückgang der Absatzzahlen scheint die Zurückhaltung der Verbraucher zu bestätigen.

Zur Minderung der CO₂-Emissionen von Raffinerien hat nach Angaben der Mineralölwirtschaft neben allgemeinen Steigerungen der Energieeffizienz insbesondere die Modernisierung der beiden ostdeutschen Raffinerien in den neunziger Jahren beigetragen. Dabei wurde kohlenstoffreiche Braunkohle durch kohlenstoffärmeres Heizöl und Raffineriegas substituiert. Insgesamt sanken die spezifischen CO₂-Emissionen von 1990 bis 2000 um 17,2 %. Zwischen 2000 und 2011 verbesserte sich die Energieeffizienz demgegenüber kaum. So sank der spezifische Energieverbrauch nur um gut 4,2 %; erst 2012 nahm er mit 9,5 % stärker ab. Darüber hinaus fanden nur geringfügige Änderungen im Brennstoffmix statt. Die spezifischen CO₂-Emissionen sanken zwischen 2000 und 2010 mit 3,4 % etwa in gleichem Maße wie der spezifische Verbrauch. Auch die spezifischen Emissionen gingen erst 2012 mit 10,7 % stärker zurück.

In der relativ geringen Minderung des spezifischen Energieverbrauchs seit der Jahrhundertwende spiegelt sich nach Angaben des Verbands wieder, dass seit Ende der neunziger Jahre die Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durch Anforderungen an Produktqualitäten immer mehr aufgewogen wurden (MWV 2004: 4). So ist die ausschließliche Herstellung von schwefelarmen Kraftstoffen (ab 2000 mit 50 ppm, seit 2003 mit nur noch 10 ppm) mit einem höheren Energieeinsatz in den Raffinerien verbunden. Auch die Veränderung des Produktmixes hin zu mehr Diesel und weniger Benzin bewirkt nach Angaben des Verbandes einen erhöhten Energieeinsatz, insbesondere durch den erhöhten Wasserstoffbedarf, dessen Herstellung mit starken CO₂-Emissionen verbunden ist.

Ebenso hatte die Ausweitung des Angebots an schwefelarmen leichtem Heizöl zur Förderung der Öl-Brennwerttechnik im Raumwärmemarkt einen Anstieg von Energieeinsatz und Emissionen in den Raffinerien zur Folge. Dieser Trend setzt sich nach Angaben des Verbandes auch weiterhin durch Veränderungen im Bereich der Treibstoffe für seegehende Schiffe fort, wo ebenfalls entsprechende Entschwefelung durchgeführt und die schweren Heizöle durch Diesel ersetzt werden sollen (MWV 2007: 4f).

Das Anfang 2007 in Kraft getretene Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) wird nach Aussagen des Verbandes zu einer zunehmenden Beimischung von Biokomponenten zu den Mineralölprodukten führen. Solange dies in Form des sogenannten Blending passiert und nicht durch Direktverarbeitung in den Prozessanlagen der Raffinerien geschieht, hat dies allerdings keinen Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch und damit die spezifischen Emissionen der Raffinerien.

Insgesamt ist die Entwicklung in den letzten Jahren mit nahezu konstant bleibenden spezifischen Emissionen deutlich positiver verlaufen, als ursprünglich erwartet wurde. Bei der Abgabe der Selbstverpflichtung ging die Branche davon aus, dass es in dieser Dekade aufgrund der umweltschutzbedingten Anforderungen zu einem Anstieg der spezifischen Emissionen kommen würde. Durch vielfältige Maßnahmen in den Anlagen, die die Energieeffizienz steigerten, konnte dies aber vermieden werden.

17.6 Ausgewählte Maßnahmen

Nach Angaben des elften Berichts der Mineralölwirtschaft konzentrierten sich auch in den Jahren 2011 und 2012 die Maßnahmen des IWO zur Umsetzung der Klimaschutzzerklärung im Wärmemarkt auf den Ausbau und die Verfeinerung derjenigen Aktivitäten, die im sechsten Monitoringbericht unter dem Begriff „Modernisierungsoffensive“ gebündelt wurden (MWV 2004, MWV 2011c: 2ff und MWV 2013c):

- Schaffung der heizölspezifischen Voraussetzungen für einen verstärkten Einsatz der Öl-Brennwerttechnik im Wärmemarkt durch Verbreitung von schwefelarmem Heizöl. Schwefelarmes Heizöl ist in Deutschland mittlerweile flächendeckend verfügbar, an allen deutschen Raffineriestandorten wurde die Produktion auf schwefelarmes Heizöl umgestellt. Alle Mineralölhändler in Deutschland bieten ihren Kunden schwefelarmes Heizöl an. In 2012 entfielen 98 % des in der Bundesrepublik ausgelieferten Heizöls auf diese umweltschonende Qualität.
- Verbraucherinformation zur Steigerung der Bekanntheit von Öl-Brennwerttechnik und schwefelarmem Heizöl. Hierzu wurde die Auflage einer individualisierbaren Kundenzeitung für den Mineralölhandel als Beratungsangebot für die Heizölkunden insbesondere zu neuen Heizölqualitäten, energiesparenden Heizsystemen und staatlichen Förderprogrammen ausgebaut. Die Zusammenarbeit mit Informationsdiensten wurde fortgeführt und ausgebaut und in einschlägige Informationsportale für Bauherren und Modernisierer integriert. Ziel der aufgeführten Maßnahmen ist die Identifizierung und Ansprache von Besitzern veralteter Heizungsanlagen und deren Information über die Energieeinsparmöglichkeiten mit Öl-Brennwerttechnik.
- Fortsetzung der Initiative zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung zusammen mit den Landesregierungen in weiteren Bundesländern mit gemeinsamer Öffentlichkeitsarbeit und einem Förderprogramm des regionalen Mineralölhandels und des IWO.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

- Fortführung des Kooperationsvertrages mit dem Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK) zur Förderung des Heizungschecks als Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz im Ölheizungsbestand.
- Fortführung des Kooperationsvertrages mit dem Zentralinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks zur Durchführung einer Initialberatung bei Besitzern alter Ölheizungen und Förderung des Heizungschecks bis Ende 2011 als Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Ölheizungsbestand.
- Ausbau der Zusammenarbeit mit den Verbandsorganisationen der Energieberater. Neben der bestehenden Kooperation mit dem Deutschen Energieberaternetzwerk e.V. (DEN) wurden Vereinbarungen über eine Zusammenarbeit mit dem GIH Bundesverband e.V. und dem Europäischen Verband der Energie- und Umweltschutzberater e.V. (EVEU) mit dem Ziel geschlossen, einen regelmäßigen Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch in der Beratung von Hauseigentümern zur energetischen Gebäudesanierung sowie der gemeinsamen Information der Energieberater über den aktuellen Wissensstand zur Ölheizungstechnik, zum Energieträger Heizöl und zur Einbindung erneuerbarer Energien zu gewährleisten.
- Fortführung der Technologie-Initiative der deutschen Mineralölwirtschaft. In Kooperation mit führenden Heizgeräteherstellern werden neue hocheffiziente Anwendungstechniken für flüssige Brennstoffe entwickelt. Aktuelle Projekte sind hier: Zeolith-Kompaktheizgeräte (Adsorptionswärmepumpen/Öl-Brennwertgeräte). Im Fokus steht dabei die noch effizientere Nutzung von Primärenergie.
- Fortführung in 2011 und Abschluss in 2012 von Labor- und Feldversuchen zum Einsatz von flüssigen Brennstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen; Fortsetzung der Kommunikationsaktivitäten zum Thema Bioheizöl (HEL schwefelarm mit verschiedenen Bioanteilen). Branchenübergreifende Expertenworkshops zum Thema Heizöl mit biogenen Komponenten (Brennstoff, Anwendungstechnik, Rahmenbedingungen).
- Kooperation mit der Heizgeräteindustrie bei anwendungstechnischen Fragestellungen.
- Fortführung und Konsolidierung der Kooperationskonzepte für Unternehmen aus Mineralölhandel und Heizungsbau zur gezielten Aktivierung des Modernisierungspotenzials alter Ölheizungen in deren Kundenstamm.

- Ausbau des Regionalen Marketingprogramms mit einem Prämiensystem für das SHK-Handwerk mit Anreizen und Zuschüssen für die Bewerbung und Installation von Öl-Brennwertgeräten, die Kombination mit solarthermischen Anlagen sowie die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung durch Öl-BHKW-Anlagen.
- Start der bundesweiten Aktion „Deutschland macht Plus“ im August 2011 zur Förderung des Austauschs von alten Ölheizkesseln gegen effiziente Öl-Brennwerttechnik in Kombination mit Solarthermie. Mit einer Heizölprämie in Höhe von bis zu maximal 500 Litern wurden ca. 4.000 Kunden in 2011 und 2012 in Kooperation mit der Geräteindustrie und dem Mineralölhandel gefördert.
- Fortführung der Aktion „Energie-Gewinner“ mit Förderung und Dokumentation von umfassenden energetischen Gebäudesanierungen in öl-beheizten Ein- und Zweifamilienhäusern mit dem Ziel, die Einsparpotenziale (u. a. durch Einsatz von Öl-Brennwerttechnik und Solarthermie) zu demonstrieren und als Musterbeispiele zu kommunizieren.
- Ausbau der Zusammenarbeit mit wichtigen Energieagenturen bzw. Initiativen auf Landes- und regionaler Ebene in Form von speziellen Projektpartnerschaften und Kooperationsvereinbarungen.
- Ausbau der „IWO Akademie“ mit Bündelung der Trainings- und Weiterbildungsangebote des IWO zur Sicherstellung aktuellen Fachwissens bei wichtigen Akteuren im Wärmemarkt. Aktuelle Forschungsergebnisse und gesammelte Praxiserfahrung fließen in die anwendungsorientierten Trainingskonzepte und -inhalte zu den Themengebieten Energiewirtschaft, Versorgungstechnik, Marketing und Verkauf sowie Unternehmensführung ein.

Als unterstützende Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaschutzklärung im Wärmemarkt werden generell Beratungsoffensiven bei Akteuren der Anbieterseite und bei Verbrauchern über Möglichkeiten moderner Heizungstechnologien gesehen. Im Mittelpunkt dieser Informationsoffensiven stand neben der Konsolidierung und Weiterentwicklung der Partnerschaft und Zusammenarbeit zwischen Heizungshandwerk und Mineralölhandel und dem weiteren Ausbau der regionalen Schulungsangebote die Durchführung von Vortragsveranstaltungen und die Teilnahme an Messen sowie die Betreuung eines bundesweiten Netzwerks von ca. 100 regionalen Marketinggemeinschaften. Hinzu kommt der Ausbau der kontinuierlichen Pressearbeit zu Fragen des Energie sparenden Heizens bei medien- sowie zielgruppenrelevanten Fach- und Publikumszeitschriften. Der neunte Fortschrittsbericht der Mineralölwirtschaft führt hier detaillierte Zahlenangaben auf (MWV 2013c).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Ergänzend zum Fortschrittsbericht für die Raffinerien hat der MWV für 2011 und 2012 Beispiele zur Verringerung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen durch Umbauten und technologische Änderungen in deutschen Raffinerien angegeben (MWV 2013b):

- Mit der Inbetriebnahme eines Sauerwasserstripper-Projektes konnten an einem Raffineriestandort im Sommer 2012 die Emission von Schwefeldioxid um weitere 10 % reduziert werden (entspricht ca. 900 Tonnen pro Jahr). Die Stickoxid-Emission konnte nach Installation der Harnstoffdosierung um 10 % reduziert werden und Kohlendioxid entsprechend den umgesetzten Projekten zur Energieeinsparung um 5 %.
- Über den Zeitraum von 5 Jahren wird an einer Anlage bis 2014 eine Reduzierung des Standardenergieverbrauchs von 5 Prozentpunkten angestrebt, was einer Energieeinsparung von 50 MW und einer Reduzierung der CO₂-Frachten von mehr als 90 000 t pro Jahr (kt/a) entspricht.
- In 2012 konnte an einem Standort durch die Vergrößerung der Wärmetauscher-Fläche der Vorwärmung der Benzinentschwefelung mit entsprechender Entlastung des Ofens Energie eingespart werden. In die Wasserstofferzeugung konnte nach entsprechenden Modifikationen in der Benzinentschwefelung und in der Gasnachverarbeitung wasserstoffreiches Gas als Zweiteinsatz eingesetzt und damit der Verbrauch von Primärenergie deutlich reduziert werden.
- Weitere operative Maßnahmen wie Reduzierung von Rauchgastemperaturen durch Erzeugung von Niederdruck- statt Mitteldruck-Dampf führten zu weiteren Energieeinsparungen. Damit konnte ein Energieeinsparpotenzial aus Projekten von 10 MW realisiert werden, was einer Reduzierung der Kohlendioxid-Produktion von mehr als 15 kt/a entspricht.

Zur Sicherstellung der Anlageneffizienz haben ebenfalls die regelmäßige Reinigung der Wärmetauscher- und Wärmeerzeugungsanlagen während der turnusmäßigen Raffineriestillstände sowie die Kontrolle der Energieverbrauchswerte und Ermittlung der Abweichungen vom Normalverlauf beigetragen. Insgesamt haben nach Angaben des Verbandes vor allem viele kleine Einzelmaßnahmen und weniger Großprojekte zur Verbesserung der Energieeffizienz und damit zur Senkung der Emissionen geführt.

17.7 Zusammenfassung und Bewertung

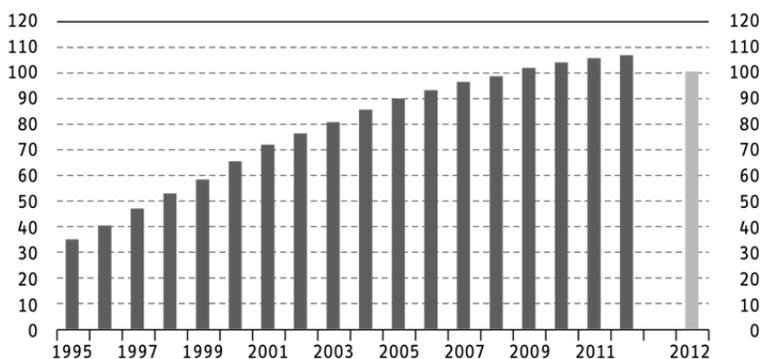
Im Jahr 2001 hat die deutsche Mineralölwirtschaft die Bezugsgröße ihrer Selbstverpflichtungserklärung für den Raumwärmemarkt gewechselt. Während die frühere Verpflichtung auf die Reduzierung des spezifischen Heizölverbrauchs abzielte,

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 weiterer Maßnahmen zur Energieeinsparung wie Gebäudeisolierung konnte man sich dadurch entledigen. Eine Abschätzung des Einflusses der ölbefeuerten KWK-Anlagen auf die Erfüllung der Klimaschutzzerklärung erwies sich aufgrund fehlender Daten als nicht möglich.

Schaubild 17.3

Zielerreichungsgrade im Wärmemarkt für das Mindestziel 2012

1995 bis 2012; Steigerung des durchschnittlichen Jahresnutzungsgrades der Ölheizungsanlagen um 27 %; in %



Eigene Berechnungen.

2011 und 2012 wurde ein durchschnittlicher Jahresnutzungsgrad von 87,7 bzw. 87,9 % und damit eine Verbesserung gegenüber 1990 von zuletzt 28,7 % erzielt. Gemessen an der für 2012 angestrebten Steigerungsrate von 27 bis 30 % auf einen Nutzungsgrad von 86 bis 88 % bedeutet das für 2012 einen Zielerreichungsgrad von gut 106 % bezogen auf das Mindestziel (Schaubild 17.3).

Allein durch die Verbesserung des jahresdurchschnittlichen Nutzungsgrades ergab sich für 2012 ein Rückgang der CO₂-Emissionen von 23,3 Mill. t bzw. um 22,3 % gegenüber dem Basisjahr 1990 (Tabelle 17.3). Die absolute Reduktion der CO₂-Emissionen geht aufgrund weiterer Effizienzmaßnahmen (z. B. Dämmung) deutlich darüber hinaus.

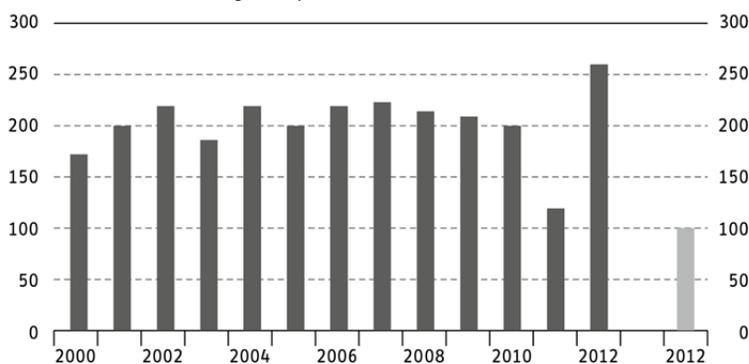
Bei der Klimaschutzzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien, welche der Mineralölwirtschaftsverband im September 2001 abgegeben hat,

wird angestrebt, die spezifischen Treibhausgasemissionen der Raffinerien bis 2012 um 10 % gegenüber 1990 von 215 kg CO₂/t Bruttoreffinerieerzeugung auf 194 kg CO₂/t zu verringern. Diese Verpflichtung wurde auf Basis der im Rahmen der DGMK erarbeiteten Zusammenstellung zu den CO₂-Minderungspotentialen von Treibhausgasen in deutschen Raffinerien abgegeben. In diesen Potentialen sind Annahmen zu den erwarteten Energieeinsparmaßnahmen sowie zu den Auswirkungen der bis 2012 erwarteten konkreten Gesetzesvorhaben bezüglich Umweltschutz und Produktqualitäten eingeflossen.

Schaubild 17.4

Zielerreichungsgrade der Raffinerien für das Minderungsziel 2012

2000 bis 2012; Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen um 12%; in %



Eigene Berechnungen.

Tatsächlich lagen die spezifischen CO₂-Emissionen der Raffinerien im Jahr 2011 und 2012 nur noch bei 168 bzw. 159 kg CO₂ je Tonne Bruttoreffinerieerzeugung. Die avisierte Zielmarke wurde im letzten Berichtsjahr 2012 mit 260 % weit übertroffen. Der Zielerreichungsgrad liegt seit 2001 mit Ausnahme der Jahre 2003 und 2011 deutlich über 200 % (Schaubild 17.4). Die absoluten CO₂-Emissionen betragen 2011 rund 17,3 Mill. t und konnten bis 2012 weiter auf 16,6 Mill. t gesenkt werden. Dies entspricht einer Emissionsminderung von 5,5 bzw. 6,2 Mill. t, die Emissionen konnten mithin um 23,9 bzw. 27,4 % gegenüber 1990 verringert werden. Damit zeigt sich, dass die Raffinerien den durch Umweltschutz und geänderte Produktqualitäten erforderlichen höheren Energiebedarf durch Verbesserungen der Energieeffizienz an anderer Stelle kompensieren und damit den ursprünglich für diese Dekade erwarteten Anstieg der spezifischen Emissionen vermeiden konnten.

Beispielhaft für die zukünftig erwartete weitere Erhöhung des Energiebedarfs aufgrund von gesetzlichen Anforderungen an die Raffinerieproduktion und die Pro-

duktqualitäten führte der Verband umweltschutzbedingte Investitionen in Nachbehandlungsanlagen, die 2007 einsetzende Entschwefelung des leichten Heizöls sowie weitere Anforderungen an die Spezifikationen der Kraftstoffe an (MWV 2007: 4f). Wie sich das auch nach 2012 auf den spezifischen Energieverbrauch insgesamt und damit auf die spezifischen CO₂-Emissionen auswirkt, bleibt abzuwarten.

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 CO₂-Monitoring beteiligten Industrieverbänden eine Sonderstellung ein. Eine wesentliche Aufgabe sieht der VIK in der Beratung und Vertretung seiner ca. 350 Mitglieder in Fragen der effizienten Eigenenergieerzeugung und -nutzung. Nach Angaben des VIK repräsentieren seine Mitgliedsunternehmen zusammen 80 % des industriellen Energieverbrauchs und ca. 90 % der versorgerunabhängigen KWK-Strom- und -Wärmeerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland (VIK 2009: 3).

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 StaBuA (FS4/R6.4) waren 2011 in Deutschland rund 12 Gigawatt (GW) an industrieller Kraftwerksleistung zur Stromerzeugung installiert. Dies sind rund 10 % der gesamten in Deutschland zur Verfügung stehenden Engpassleistung.

18.1 Datenbasis

In den Fortschrittsberichten des VIK finden sich detaillierte Angaben über die gesamte Strom- und Wärmeerzeugung der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe und deren Brennstoffeinsatz (VIK 2013, 2008, 2005c, 2005d). Ebenso sind dort die entsprechenden Leistungsdaten über die Strom- und Wärmeerzeugung industrieller Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) enthalten. 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).

Die Basis für die Jahre 2002 bis 2009 bildet die Fachserie 4, Reihe 6.4, des Statistischen Bundesamtes (StaBuA/FS4/R6.4). Dieser Bericht gibt damit auch den Stand der Kraft-Wärme-Kopplung des Jahres 2011 an, für den beim vorigen Bericht noch keine Daten zur Verfügung standen. Daten des Bundesamtes zur industriellen Eigenerzeugung von Strom und Wärme sowie Angaben zur anteiligen KWK-Erzeugung für das Jahr 2012 sind erst ab Mitte September 2013 verfügbar.

Dieser Monitoringbericht beinhaltet Ausführungen für die Jahre bis 2011. Ähnlich wie im Bericht 2010 nimmt der VIK auch für die Berichtsjahre 2011 und 2012 keine Schätzungen für die KWK-Strom- und -Wärmeerzeugung sowie den durchschnittlichen Nutzungsgrad der eingesetzten Energieträger (bzw. Wirkungsgrad) bei der

Erzeugung vor. Er gibt lediglich eine vorläufige Einschätzung über die Entwicklung der KWK-Stromerzeugung an und listet Beispiele für Erweiterungs- und Modernisierungsmaßnahmen dieses Jahres auf. Grund für den Verzicht auf Schätzungen für das aktuelle Jahr ist, dass ein Vergleich mit den veröffentlichten Ergebnissen des Statistischen Bundesamtes für 2008 starke Abweichungen von den geschätzten Werten aufwies. Das Vorgehen erscheint vertretbar, da es beim VIK nicht um die Überprüfung einer quantitativen Selbstverpflichtung geht, sondern nur um die Darstellung des Stands der Kraft-Wärme-Kopplung.

Daten 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. Der VIK weist in seinem Fortschrittsbericht (2005d: 5) 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 Contracting-Anlagen nicht mit erfasst wurden. Die Stichprobe für 2000 hat nach Aussage des VIK mit 118 Standorten und 298 Anlagen einen hohen Erfassungsgrad erreicht.

18.2 Produktion, Umsatz und Beschäftigung

Die industriell betriebenen Stromerzeugungsanlagen haben 2011 rund 51 Mrd. Kilowattstunden (kWh) produziert, wobei 1 Mrd. kWh einer Terawattstunde (TWh) entsprechen. Dies sind 9,9 % der gesamten deutschen Bruttostromerzeugung. Nach Abzug des Eigenverbrauchs ergibt sich eine Netto-Erzeugung von gut 46,7 Mrd. kWh. Rund 60,8 % dieser Menge, d.h. 28,4 Mrd. kWh wurden über KWK-Anlagen erzeugt. Neben Strom wird auch Wärme in den industriellen Kraftwerken produziert. 2011 wurden insgesamt 95,2 Mrd. kWh Wärme erzeugt, davon etwa 84,4 Mrd. kWh durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) (StaBuA/FS4/R6.4; Tabelle 18.1). Die industrielle Bruttostromerzeugung ist zwischen 1995 und 2011 um rund 15,8 Mrd. kWh bzw. 23,8 % gesunken (VIK 2005b: 92, 2007a: 125; StaBuA/FS4/R6.4). Der größte Rückgang war bei Kohlekraftwerken zu verzeichnen. Zwischen 1995 und 2011 sank die Stromerzeugung aus Steinkohle um etwa 16,8 Mrd. kWh. Die Braunkohleverstromung nahm um rund 4,7 Mrd. kWh ab. Demzufolge sanken die Anteile von Stein- und Braunkohle in diesen Jahren um 21,7 Prozentpunkte auf 14,9 % bzw. um 5,2 Prozentpunkte auf 7,5 %. Steinkohle bleibt dennoch der wichtigste Primärenergieträger neben Erdgas, das seinen Anteil um 16,2 Prozentpunkte auf 41,4 % steigern konnte. Vor allem aber nahmen die sonstigen Energieträger wie u.a. Biomasse, Müll und weitere regenerative Energieträger an Bedeutung zu. Ihr Anteil an der industriellen Bruttostromerzeugung betrug 2011 32,5 % im Vergleich zu knapp 6 % im Jahr 1995.

Die auf KWK-Basis erzeugte absolute Strommenge stieg zwischen 2002 und 2005 um 2,6 Mrd. kWh bzw. um 11,8 % auf 25,6 Mrd. kWh (Tabelle 18.2). Danach blieb sie bis 2008 mit Schwankungen zwischen 25,6 Mrd. kWh und 25,8 Mrd. kWh in etwa konstant. Von 2009 bis 2011 stieg sie auf 28,5 Mrd. kWh. Im gesamten durch StaBuA-Daten erfassten Zeitraum, d.h. von 2002 bis 2011 hat sie um 23,9 % zugenommen. Ihr Anteil an der gesamten industriellen Stromerzeugung stieg von 53,5 % auf 60,8 %.

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 rationalen und ressourcenschonenden 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 CO₂-Minderung bei KWK-Anlagen

Nach Angaben des VIK war es in den vergangenen Jahren 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 erst mit der Novellierung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes im Jahr 2008 gelungen.

Darüber hinaus ist der VIK auf den verschiedensten Ebenen für den Ausbau von KWK-Anlagen unterstützend tätig. 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).

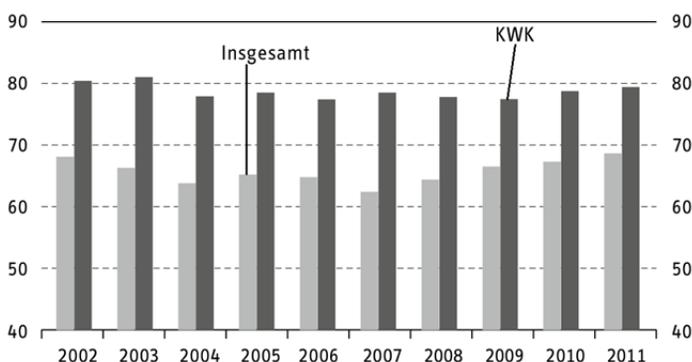
Der Beitrag, den KWK zur Klimavorsorge leisten kann, wird aus Schaubild 18.1 deutlich. Der Nutzungsgrad für KWK-Anlagen wird vom Statistischen Bundesamt für 2004 bis 2011 mit Werten zwischen 77,9 % in den Jahren 2006 und 2009 und 79,4 % für 2011 angegeben. Der Nutzungsgrad hat sich damit gegenüber den Jahren 2002

(80,4 %) und 2003 (81 %) etwas verschlechtert, was auf einen ungünstigeren Anlagenmix schließen lässt. Gleichzeitig ist eine verbesserte Plausibilitätsprüfung bei der Datenerfassung durch die Unternehmen in jüngeren Jahren anzunehmen.

Die Werte übertrafen deutlich die berechneten mittleren Nutzungsgrade für den gesamten industriell betriebenen Anlagenbestand. 2008 lag die Differenz bei 13,4 Prozentpunkten nach 16,1 Prozentpunkten im Jahr 2007. Dies entsprach damit in etwa den Unterschieden in den beiden Jahren zuvor mit 13,3 bzw. 12,6 Prozentpunkten, war jedoch niedriger als 2003 und 2004 mit 14,7 bzw. 14,1 Prozentpunkten. 2011 betrug die Differenz noch 10,8 Prozentpunkte. Dieser in den letzten Jahren geringer gewordene Unterschied liegt vor allem an einer Verbesserung des Wirkungsgrades der ungekoppelten Erzeugung.

Schaubild 18.1

Nutzungsgrade der industriell betriebenen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen 2002 bis 2011, in %



Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 6.4

In seinem Fortschrittsbericht hat der VIK insgesamt 33 Maßnahmen zur Modernisierung (15), zur Erweiterung (6) und zum Neubau (12) von KWK-Anlagen seit 2010 aufgelistet (VIK 2013: 6). Allerdings lassen sich die Maßnahmen nicht den einzelnen Jahren zuordnen. Die elektrische Leistung der aufgeführten Anlagen liegt zwischen 0,3 und 125 MW. Übersicht 18.1 zeigt exemplarisch einige der Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz für die Strom- und Wärmebereitstellung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen. Der Verband führt mehrere Neubaumaßnahmen an, die größte elektrische Leistung wird hier mit 16 MW_{el} von einem neuen BHKW von Daimler in Düsseldorf erbracht. Von den genannten Modernisierungsmaßnahmen

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

hat eine GuD-Anlage der Firma UPM mit 125 MW_{el} die größte elektrische Leistung. Die größte hier genannte Erweiterung wurde von der Firma Infracore an einer GuD-Anlage durchgeführt (105 MW_{el}).

Übersicht 18.1

Ausgewählte Modernisierungsvorhaben der Industrie im Rahmen des KWK-Gesetzes

2010 bis 2012

Maßnahme	Elektrische Leistung in MW	Unternehmen/Branche
Modernisierung einer GuD-Anlage	125	UPM
Modernisierung einer Dampfturbine	75	Kali & Salz
Modernisierung einer GuD-Anlage	48	Dtsmith/SCA Packaging
Erweiterung einer GuD-Anlage	105	Infracore
Erweiterung einer Dampfturbine	15	Papierfabrik Leipa
Erweiterung einer Gasturbine und eines Dampfspeichers	6	Solvay
Neubau eines BHKW	16	Daimler Düsseldorf
Neubau einer GuD-Anlage	15,5	Kronos
Neubau eines BHKW	10	Jäckering Mühlenwerke

Nach Angaben des VIK.

Nach Angaben des VIK ist die industrielle Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen seit 1997 zurückgegangen (Tabelle 18.1). Wurden 1997 noch 36,2 Mrd. kWh Strom erzeugt, waren es im Jahr 2002 insgesamt nur noch 23,0 Mrd. kWh. 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 Industrie in das Segment öffentliche Versorgung umgruppiert 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 Prozesswärmeinsatz reduziert werden.

Tabelle 18.1
Industrielle Eigenerzeugung von Strom und Wärme insgesamt sowie aus KWK-Anlagen
 1998 bis 2011; in Mrd. kWh

	1998	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Stromerzeugung	52,3	46,0	46,5	49,0	45,5	42,5	49,0	46,7
davon:								
KWK-Strom	27,2	25,6	25,8	25,8	25,7	26,6	29,8	28,4
Wärmeerzeugung	k.A.	90,2	88,8	87,3	89,4	88,2	97,4	95,2
davon:								
KWK-Wärme	87,0	79,9	78,3	79,8	79,5	79,3	86,9	84,4

Nach Angaben des StaBuA (FS4/R6.4). – Angaben für 2010 standen bei Fertigstellung des Berichts noch nicht zur Verfügung.

Zwischen 2002 und 2005 stieg die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen um etwa 2,6 Mrd. kWh auf 25,6 Mrd. kWh und blieb bis 2008 in etwa konstant. 2009 nahm sie trotz des starken Wirtschaftseinbruchs auf 26,6 Mrd. kWh zu und stieg bis 2011 auf 28,4 Mrd. kWh. Die Wärmeerzeugung lag noch 2007 mit 79,9 Mrd. kWh auf dem gleichen Niveau wie 2002, war jedoch in den Zwischenjahren starken Schwankungen unterworfen: von 81,9 Mrd. kWh im Jahr 2003 bis 77,5 Mrd. kWh 2004. Bis 2009 sank die Wärmeerzeugung dann leicht auf 79,3 Mrd. kWh; bis 2011 stieg sie um 6,4 % auf 84,4 Mrd. kWh.

Insgesamt stieg die industrielle Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen von 2002 bis 2011 um 6,9 %, während die gesamte industrielle Strom- und Wärmeerzeugung nur um 7,3 % zurückging (Tabelle 18.1). Der Anteil der KWK-Anlagen am Wärmemarkt schwankte zwischen 87,9 % und 91,4 %. 2011 betrug er 88,7 %. Bei der Stromerzeugung stieg der entsprechende Anteil zwischen 2002 und 2005 zunächst von 53,4 % auf 55,7 %. Nach einem vorübergehenden Rückgang auf 52,7 % im Jahr 2007 lag der Anteil 2011 bei 60,8 %.

Die Struktur im KWK-Anlagenpark hat sich im Zeitraum 1997 bis 2009 sichtlich verändert. Der Anteil der Dampfturbinen zur Stromerzeugung lag 1997 noch bei 79 %; er sank jedoch bis 2011 zugunsten von Gasturbinen auf 41,8 %. Der Anteil der Gasturbinen konnte sich somit kontinuierlich von 20 % auf 54,7 % steigern. Die Bedeutung von Verbrennungsmotoren und sonstigen Anlagen hat ebenfalls zugenommen. Ihr Anteil am KWK-Anlagenpark stieg von 1,4 % im Jahr 1997 auf 3,5 % im Jahr 2011 (Tabelle 18.2).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 18.2
Industrielle Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen
 2002 bis 2011; in Mrd. kWh; gerundet

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Stromerzeugung										
Dampfturbinen	13,7	13,8	13,0	13,5	13,8	13,5	12,6	12,1	12,9	11,9
Gasturbinen	8,9	9,3	9,4	11,6	11,3	11,4	12,4	13,8	16,0	15,6
Sonstige	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,9	1,0
Insgesamt ¹	23,0	23,5	22,8	25,6	25,8	25,7	25,7	26,6	29,8	28,5
Wärmeerzeugung										
Dampfturbinen	62,3	63,7	62,0	61,7	59,5	59,1	58,9	56,1	60,3	58,1
Gasturbinen	16,9	17,5	14,5	17,4	17,7	19,7	18,8	21,3	23,4	23,2
Sonstige	0,7	0,7	1,0	0,8	1,1	1,1	1,9	1,9	3,1	3,0
Insgesamt ¹	79,9	81,9	77,5	79,9	78,3	79,9	79,5	79,3	86,9	84,3

Nach Angaben des StaBuA (FS4/R6.4). – Angaben für 2010 standen bei Fertigstellung des Berichts noch nicht zur Verfügung. – ¹ Abweichungen zu Tabelle 18.2 durch Rundung.

Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich bei der Wärmeerzeugung. Der Anteil von Dampfturbinen sank zwischen 1997 und 2002 von 91 % auf 78 %. Nach einem vorübergehenden leichten Anstieg in 2004 auf 80,4 % ging er bis 2011 zurück auf 68,9 %. Der Anteil der Gasturbinen stieg demgegenüber zwischen 1997 und 2009 von gut 8 % auf 27,5 % in 2011 (Tabelle 18.2). Der Rückgang im Jahr 2008 erfolgte aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Wärmeerzeugung durch Verbrennungsmotoren und sonstige Anlagen. Diese konnten ihren Anteil bis 2011 mit 3,6 % gegenüber 2007 nahezu verdreifachen.

Grund für den Bedeutungsgewinn der Gasturbinen ist neben dem höheren Wirkungsgrad auch die größere Stromkennzahl einer kombinierten Gas- und Dampfturbinen-Anlage (GuD). Da die Relation vom Wärmebedarf zum Strombedarf der Prozesse sich zu Ungunsten des Wärmebedarfs entwickelt hat, waren und sind Erzeugungstechniken mit größerer Stromkennzahl erforderlich. Bei GuD-Anlagen mit einer Stromkennzahl von ca. eins und einem Gesamtnutzungsgrad von über 80 % erreicht man so 40 % elektrischen Wirkungsgrad. Diese Werte sind nach Angaben des Verbandes mit reinen Dampfturbinen nicht zu erreichen. Eine Gasturbine als Vorschaltanlage wird somit attraktiver. Jedoch sind auch die Nutzungsmöglichkeiten für die Wärmenutzung aus GuD-Anlagen begrenzt, da dem Wärmeange-

bot eine entsprechende Nachfrage durch nachgelagerte Anwendungsprozesse gegenüberstehen muss.

Der Rückgang der industriellen Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen um die Jahrhundertwende stand nach Aussagen des VIK in Zusammenhang 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 FS4/R6.4). Erst die Novellierung des KWK-Gesetzes im Jahr 2012 hat dem Neubau und der Modernisierung von Anlagen einen neuen Impuls gegeben (VIK 2013: 3).

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 CO₂-Emissionsminderungen im Industriebereich.

Der VIK hat in den letzten Jahren besondere Anstrengungen unternommen, um die Rahmenbedingungen für klimaförderliche KWK-Anlagen zu verbessern. Der Ausbau der in der Industrie installierten KWK-Kapazität ist dabei nach Angaben des Verbandes zunächst nicht zufriedenstellend gelungen (VIK 2005c: 4). Mit dazu beigetragen hat sicherlich in den letzten Jahren, dass sich die KWK in starkem Wettbewerb mit anderen umweltfreundlichen Formen der Energiebereitstellung befindet. Die Entwicklung zeigt, dass speziell zwischen 2002 und 2005 bei der KWK-Stromerzeugung ein deutlicher Anstieg gegenüber den Vorjahren um gut 2,5 Mrd. kWh auf 25,6 Mrd. kWh erfolgt ist, danach bis 2008 eine Konstanz auf diesem Niveau festzustellen ist. 2009 zeigt sich trotz des Wirtschaftseinbruchs eine deutliche Verbesserung auf 26,6 Mrd. kWh. Bei der KWK-Wärmeerzeugung hat es bis 2002 kaum Veränderungen gegeben. Der Wert für 2009 liegt 0,5 Mrd. kWh unter dem des Jahres 2002. Erst seit 2010 ist die KWK-Wärmeerzeugung gestiegen. Ihr Anteil ist jedoch unverändert geblieben, da die KWK-Stromerzeugung ebenfalls zugenommen hat.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Für eine Bewertung bleibt anzumerken, dass eine genaue Beurteilung der Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung nach den Ergebnissen des KWK-Berichts nicht für den Sektor Industrie getrennt sondern nur für den KWK-Bereich insgesamt möglich ist (RWI 2010). Zurückzuführen ist dies auf die Art und Weise der Datenerfassung. So wird z.B. die Erzeugung in Industrieparks (Contracting) generell der allgemeinen Versorgung zugerechnet.

19. Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft

Deutschland hält innerhalb Europas den größten Kraftwerkspark vor. Insgesamt war im Jahr 2011 eine inländische Kraftwerksleistung von 123,8 GW installiert. Davon gehörten allein 111,7 GW der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft (StaBuA/FS4/R6.4).

Unter dem Begriff der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft werden die nicht-industriellen Stromerzeuger, die Netzbetreiber sowie die Endversorgungsunternehmen für Elektrizität zusammengefasst. Im Strommarkt waren 2011 rund 1100 Unternehmen als Stromlieferanten aktiv (BDEW 2013: 5). Diese beschäftigten rund 132 400 Mitarbeiter bei einem Umsatz aus dem Stromverkauf an Verbraucher ohne Stromsteuer von 70,5 Mrd. €. Zusammen mit der industriellen Kraftwerkswirtschaft, der Stromerzeugung der Deutschen Bahn AG und den privaten Erzeugern bildet dieser Sektor die gesamte Elektrizitätsversorgung.

19.1 Datenbasis

Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft wird vertreten durch den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW). Er ist an die Stelle des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) getreten, der sich im Herbst 2007 mit den anderen Einzelverbänden der Energie- und Wasserwirtschaft zu einem Gesamtverband zusammengeschlossen hat. Der VDEW hat im Rahmen seiner Fortschrittsberichte Angaben hinsichtlich der Nettostromerzeugung von 1991 bis 2004 und der CO₂-Emissionsmenge für 1990 bis 2004 gemacht (VDEW 2005 und 2007) und aus beiden Datenreihen einen spezifischen CO₂-Emissionswert je netto erzeugter Kilowattstunde Strom ermittelt. Dieser Wert wird ausgewiesen, einmal bezogen auf den gesamten Energiemix – einschließlich Kernenergie und regenerativer Energien – zum anderen allein für fossile Brennstoffe. Die Fortführung der Datenreihen bis 2012 wurde vom BDEW übernommen (BDEW 2013).

Zur Ermittlung der Nettostromerzeugung für 1990 wurden die CO₂-Emissionen sowie ein vom VDEW für dieses Jahr geschätzter spezifischer Emissionswert von 0,67 kg CO₂/Nettokilowattstunde herangezogen. Durch eine Division der absoluten Emissionsmenge durch den spezifischen Wert ergibt sich eine Nettostromerzeugung von rund 431 Mrd. kWh. Beide Datenreihen stellen die Grundlage des Monitoringberichtes dar.

Im Rahmen der Veröffentlichung der Bruttostromerzeugung der Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) publiziert das Statistische Bundesamt monatlich den für die Bruttostromerzeugung erforderlichen Verbrauch an CO₂-relevanten fossilen Brennstoffen (StaBuA/FS4/R6.5). Bis 2002 erfolgte dieser Ausweis des Verbrauchs ausschließlich für die Strom-, ohne die Wärmeerzeugung. Mittels der für das Monitoring vereinbarten CO₂-Faktoren ließ sich hieraus ein Emissionsvolumen für die

allgemeine Elektrizitätswirtschaft ermitteln. Bei einer Gegenüberstellung mit den VDEW-Angaben zu den Emissionen im Monitoringbericht 2000 - 2002 (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 erzeugte Kilowattstunde erforderliche Nettostromerzeugung ergibt sich aus der Differenz der Bruttostromerzeugung aus Kraftwerken der EVU (einschließlich Bahn) und des Eigenverbrauchs (StaBuA FS4/R.6.4). 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 für die Jahre ab 2000 eine entsprechende Bereinigung vorgenommen. Bei den Emissionen konnten die Umbuchungen weitgehend auf Basis messtechnisch ermittelter bzw. im Rahmen der Emissionsberichterstattung im Emissionszertifikatehandel (CITL ab 2005) sowie für das Europäische Schadstoffemissionsregister EPER (bis 2007) bzw. E-PRTR (ab 2008) berichteter Werte erfolgen. Die Werte der Nettostromerzeugung sind entweder von den entsprechenden Unternehmen berichtet oder auf Basis der Werte von 1999 geschätzt (VDEW 2007). Ein Austausch der endgültigen Daten für 2010 gegen die im Bericht für das gleiche Jahr noch als vorläufig ausgewiesenen Werte führte zu einer leichten Verbesserung des Zielerreichungsgrades.

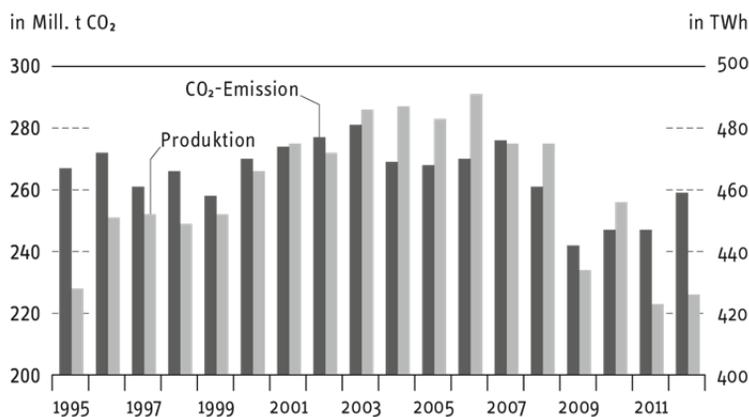
Ausführungen zu ergriffenen CO₂-Minderungsmaßnahmen der EVU sind dem Fortschrittsbericht des BDEW (2013) entnommen. Ferner veröffentlicht das Statistische Bundesamt in der Fachserie 4, Reihe 6.1, detailliertes Zahlenmaterial hinsichtlich der Investitionstätigkeit der allgemeinen Elektrizitätsversorgung.

19.2 Energieverbrauch und Produktion

Die Nettostromversorgung aus Kraftwerken der Stromversorger einschließlich der Einspeisung privater Erzeuger lag - vorläufigen Schätzungen nach - 2012 bei etwa 537 Mrd. kWh und damit erneut auf dem Niveau von 2010 (BDEW 2013: 6). Den größten Beitrag zur Stromerzeugung lieferten 2012 Braunkohle- und Steinkohle-

kraftwerke mit 26,5 % und rund 20 %. Rund 17,5 % der Stromerzeugung wurden aus Kernenergie gewonnen. Der Anteil von Erdgas ging auf 9 % weiter zurück, nachdem er 2011 bereits auf 11 % gesunken war. Der Beitrag der Erneuerbaren Energien stieg nach 22 % im Jahr 2011 weiter auf 24 % in 2012.

Schaubild 19.1
CO₂-Emissionen und Nettostromerzeugung der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft
 1995 bis 2012; ohne umgruppierte Industriekraftwerke und Deutsche Bahn



Nach Angaben des BDEW (2013).

Während in früheren Jahren der Import-/Exportsaldo nahezu ausgeglichen war, ist seit einigen Jahren ein Stromexportsaldo zu verzeichnen. Während 2011 ein Exportüberschuss von mehr als 6 Mrd. kWh zu verzeichnen war, wurden 2012 netto rund 23 Mrd. kWh exportiert.

Die den EVU nach statistischer Bereinigung zuzuordnende Nettostromerzeugung ist in den vergangenen Jahren zunächst deutlich gestiegen. 1995 wurden netto 428 Mrd. kWh von der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft erzeugt. Dieser Wert stieg bis 2006 auf 491 Mrd. kWh (Schaubild 19.1). Seitdem ist ein Rückgang der Nettostromerzeugung zu verzeichnen, verbunden mit einem gleichzeitigen Anstieg von auf Basis des EEG vergüteter Stromerzeugung aus Anlagen, die nicht vom Berichtskreis der allgemeinen Versorgung erfasst sind. 2009 ging die Nettostromerzeugung aufgrund des Wirtschaftseinbruchs erheblich zurück. Nach einem erneuten Zuwachs im Jahr 2010 sank die Erzeugung bis 2012 auf 425,6 Mrd. kWh.

19.3 Entwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen

Das deutsche Energierecht hat im vergangenen Jahrzehnt bedeutende Novellierungen und Ergänzungen erfahren. Zu den wichtigsten zählen neben dem durch die EU-Kommission forcierten Liberalisierungsprozess der Energieversorgung, die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes (KWKG).

Die Liberalisierung auf europäischer Ebene wurde im Juli 1996 mit der Verabschiedung der EU-Richtlinie 96/92/EG eingeleitet, welche die Mitgliedstaaten zur schrittweisen Öffnung der nationalen Strommärkte verpflichtete. Eine Möglichkeit der nationalen Umsetzung bestand im „Verhandelten Netzzugang“, die von den Spitzenverbänden der deutschen Stromwirtschaft zur Vereinbarung der „Freiwilligen Verbändevereinbarung“ im April 1998 genutzt wurde. 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, Langerfeldt 2004). Die EU-Mitgliedstaaten sind demnach verpflichtet, durch nationale Rechtsetzung eine Trennung von Stromerzeugung und Netzbetrieb zu bewerkstelligen. Zudem wurde die Einrichtung einer Regulierungsbehörde verpflichtend, deren Aufgabe in der Sicherung eines diskriminierungsfreien Zugangs zu den Stromnetzen besteht. Die Umsetzung der Richtlinie 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“ abgelöst hat.

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 2001:11). Mit der EU-Erweiterung auf inzwischen 27 Mitgliedsländer wurde das Ziel auf insgesamt 20 % festgelegt (EU 2009).

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. Im Jahr 2008 erfolgte die zweite wesentliche Novellierung. Die Grund-

struktur wurde weiterhin beibehalten. Die Novelle schreibt vor, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis 2020 auf mindestens 30 % auszubauen und danach kontinuierlich weiter zu erhöhen. Die wichtigsten Änderungen zur Erreichung dieses Ziels betreffen eine attraktivere Gestaltung des Repowering, die Verbesserung der Bedingungen für die Offshore-Windkraft und eine Verbesserung der Netzintegration von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien sowie einer neuen Regelung des Einspeisemanagements. Eine erneute Novelisierung trat zum 1. Januar 2012 in Kraft. Sie verbesserte unter anderem die Direktvermarktung und konkretisierte das sog. „Grünstromprivileg“, das die Befreiung der Energieversorgungsunternehmen von der EER-Umlage regelt. Zentraler Punkt war die Anpassung der Vergütungsregelungen. Speziell für Strom aus Photovoltaik trat rückwirkend zum 1. April 2012 die sog. „Photovoltaik-Novelle“ in Kraft, mit der die Vergütung von Solarstrom neu geregelt wurde.

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 Stromerzeugung aus bestehenden Anlagen wurde ab dem 1.1.2000 auf eine Reststrommenge von 2 623 TWh beschränkt. Im Rahmen dieser Regelung ging am 14. November 2003 im niedersächsischen Stade das erste deutsche Kernkraftwerk vom Netz. Am 11. Mai 2005 folgte die Stilllegung des Kernkraftwerks Obrigheim in Baden-Württemberg.

Im Elften Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes vom 8. Dezember 2010 erfolgte eine Änderung bezüglich der verbleibenden Laufzeiten: Die Betriebszeiten der vor 1980 gebauten sieben Anlagen wurden um acht Jahre und die der zehn übrigen Atomkraftwerke um 14 Jahre verlängert. Als Folge des Erdbebens von Fukushima wurden am 15. März 2011 im Zuge eines von der Bundesregierung verfügten Laufzeitmoratoriums die sieben ältesten Anlagen für drei Monate vom Netz genommen (BMU 2011a). Die Reaktorsicherheitskommission wurde damit beauftragt, die Sicherheitsstandards aller Kernkraftwerke umfassend zu überprüfen und neu zu bewerten. Gleichzeitig wurde eine Ethikkommission beauftragt, Ende Mai eine grundlegende Bewertung zur Energieversorgung der Zukunft vorzulegen. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Kommissionen beschloss die Bundesregierung am 6. Juni 2011 ein Ausstiegskonzept (BMU 2011b). Hiernach wird schrittweise bis spätestens Ende 2022 vollständig auf die Stromerzeugung in deutschen Kernkraftwerken verzichtet. Die abgeschalteten acht Anlagen sollen nicht wieder ans Netz gehen. Die Übertragung von Reststrommengen bleibt jedoch weiterhin möglich.

Als wesentliches Instrument zur Minderung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen wurde in Deutschland am 19. März 2002 das Gesetz für die Erhaltung,

die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKG) (zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 25. Oktober 2008) eingeführt. Das Gesetz fördert den Neubau und die Modernisierung von hocheffizienten KWK-Anlagen sowie den Neu- und Ausbau von Wärmenetzen, in die Wärme aus KWK-Anlagen eingespeist wird und unterstützt die Markteinführung der Brennstoffzelle. Der KWK-Bonus für den derart erzeugten Strom wird nach Größe und Alter der Anlage gestaffelt gezahlt. Der Neu- und Ausbau von Wärmenetzen wird mit einer Investitionszulage gefördert. Ziel ist es, den Anteil der KWK an der deutschen Stromerzeugung bis 2020 auf 25 % zu steigern.

19.4 Die Selbstverpflichtung

Die Unternehmen der deutschen Elektrizitätswirtschaft haben in ihrer aktualisierten Selbstverpflichtungserklärung vom März 1996 eine Minderung der CO₂-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 CO₂ 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 Energiemix frei entscheiden können, ein ungestörter Betrieb der Kernkraftwerke möglich ist und die Nutzungsdauer und Leistung der bestehenden Kernkraftwerke erhöht werden kann.

1990 wurden insgesamt 289 Mill. t CO₂ emittiert. Unter den vom VDEW gemachten Annahmen würde demnach eine CO₂-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 CO₂-Emissionen bis 2015 um insgesamt 25 Mill. t auf 264 Mill. t CO₂ zu reduzieren (Übersicht 19.2).

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).

19.5 Bis 2012 erreichte CO₂-Minderungen

Die Unternehmen der allgemeinen Elektrizitätsversorgung haben 2012 der Stromerzeugung zuzuordnende CO₂-Emissionen in Höhe von etwa 259 Mill. t CO₂ emittiert (Tabelle 19.1). Nachdem die Emissionen sich 2011 kaum verändert haben, ist dies im Vergleich zu 2010 ein Anstieg um 11 Mill. t CO₂ bzw. 4,4 %. Die Nettostromerzeugung ist seit 2010 um 31 Mrd. kWh oder 6,8 % zurückgegangen. In Bezug auf 1990 wurden 30 Mill. t CO₂, d.h. 10,4 % weniger ausgestoßen, wohingegen die Nettostromerzeugung um 5 Mrd. kWh bzw. 1,2 % sank.

Tabelle 19.1

Nettostromerzeugung und CO₂-Emissionen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft 1990 bis 2012; Ziel: Reduktion der CO₂-Emissionen um 25 Mill. t auf 264 Mill. t bis 2015

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Produktion, (Mrd. kWh)	431	428	466	483	457	423	426
Emissionen, (Mill. t) ¹	289	267	270	267	248	247	259

Nach Angaben des BDEW (2013). – ¹ Einschl. Bereinigung für Kernenergieausstieg.

Die hier ausgewiesenen CO₂-Emissionen der allgemeinen Versorgung sind um die Auswirkungen des seit 2003 einsetzenden Kernenergieausstiegs bereinigt worden (siehe hierzu auch Abschnitt 19.6). Konkret betrifft dies laut Verband die Stilllegungen des Kernkraftwerks Stade am 14. November 2003 und des Kernkraftwerks Obrigheim am 11. Mai 2005. Der BDEW geht davon aus, dass im Jahresdurchschnitt der nachfolgenden Jahre bei einem Weiterbetrieb in Stade netto 4,6 Mrd. kWh und in Obrigheim 2,7 Mrd. kWh erzeugt worden wären. Der politisch gewollte Rückgang der Kernkraft wird vom Verband im Rahmen der Selbstverpflichtungserklärung, die unter der Annahme eines ungestörten Betriebes der Kernkraftwerke abgegeben wurde, dadurch berücksichtigt, dass der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft eine entsprechende Menge an CO₂-Emissionen, die durch diese Produktion vermieden

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

worden wären, angerechnet wird. Für die Bewertung der zusätzlichen Emissionen im Grundlastbereich durch den Wegfall der Kernenergie wurde hier der fiktive CO₂-Koeffizient, der die Substitution der Kernkraft durch Steinkohle und Braunkohle zu gleichen Teilen unterstellt, zugrunde gelegt (BDEW 2011: 14). Hiernach hätte sich bei Weiterbetrieb der Kernkraftwerke im Jahr 2005 eine Einsparung von 6,3 Mill. t CO₂ ergeben, die den Kraftwerken bei der Emissionsermittlung als Einsparung angerechnet wurde. In den Jahren 2006 bis 2010 lag die entsprechende Gutschrift jeweils bei etwa 7,4 Mill. t CO₂.

Im Zuge der Änderungen des Atomgesetzes im Jahre 2011 (AtomG 2011) wurden acht weitere Kernkraftwerke dauerhaft stillgelegt. Eine analoge Bereinigung der CO₂-Emissionen zu den 2003 und 2005 stillgelegten Kraftwerken hätte erhebliche Auswirkungen auf die Vergleichbarkeit der bisherigen Monitoring-Ergebnisse. Stattdessen werden die Auswirkungen der zusätzlichen Stilllegungen in der Zusammenfassung gesondert dargestellt.

Für die spezifischen Emissionen¹² ergab sich folgendes Bild: Nach Angaben des BDEW (2013) betrug die CO₂-Emissionen je erzeugter Nettokilowattstunde 2011 und 2012 rund 0,60 bzw. 0,63 kg CO₂. Seit 1999 schwanken die Werte zwischen 0,56 und 0,63, wobei der Wert von 0,56 kg CO₂ 2004, 2008 und nun 2010 erreicht wurde (RWI 2008: 249; Schaubild 19.2). Im Jahr 2007 stiegen die spezifischen Emissionen einmalig auf rund 0,60 kg CO₂ (RWI 2008: 249; Tabelle 19.2). Im Vergleich zu 1990 bedeutet der Wert von 2012 eine Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen um 0,04 kg/kWh bzw. 6,0 %.

Neben dem spezifischen Emissionswert, der sich auf den gesamten Energiemix bezieht, hat der BDEW auch Angaben zu spezifischen Emissionen veröffentlicht, in denen berücksichtigt wird, dass mit Kernenergie und Erneuerbaren Energien kein CO₂-Ausstoß verbunden ist. Das Emissionsvolumen wird dadurch verursachergerecht zur Nettostromerzeugung aus fossilen Energieträgern in Verhältnis gesetzt. Dieser spezifische Wert liegt bedeutend höher (Tabelle 19.2; RWI 2008: 250). Von 1990 bis 2005 sank er von 1,08 auf 0,91 kg CO₂ je fossiler Nettokilowattstunde. Danach bewegte sich der spezifische Emissionswert zwischen 0,88 (2010) und 0,92 kg CO₂/kWh (netto) in den Jahren 2006 und 2007. 2012 wies er mit 0,91 kg CO₂ erneut das Niveau der Jahre 2005 und 2009 auf. Insgesamt sank der Wert zwischen 1990 und 2010 um 0,17 kg CO₂ je fossiler Nettokilowattstunde bzw. um 15,7 %.

¹² Die spezifischen CO₂-Emissionen wurden nach Angaben des Verbandes vor der durch die Datenumstellung 2000 erforderlichen Bereinigung der Werte um die Bahn- und Industriekraftwerke sowie vor Berücksichtigung der stillgelegten Kernkraftwerke ermittelt.

Tabelle 19.2
Spezifische CO₂-Emissionen

1990 bis 2012; in kg CO₂ je kWh gesamte Nettoerzeugung bzw. fossile Nettoerzeugung

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Insgesamt, (kg CO ₂ / kWh) ¹	0,67	0,62	0,58	0,57	0,56	0,60	0,63
Minderung geg. 1990 (in %)	-	7,5	13,4	14,9	16,4	10,4	6,0
Fossil, (kg CO ₂ / kWh)	1,08	1,03	0,98	0,91	0,88	0,89	0,91
Minderung geg. 1990 (in %)	-	4,6	9,3	15,7	18,5	17,6	15,7

Nach Angaben des BDEW (2013). - ¹ Ohne Bereinigung für Kernenergieausstieg.

19.6 Ursachenanalyse

Zur Erfüllung ihrer Minderungszusage stehen den EVU mehrere Wege offen, beispielsweise der vermehrte Einsatz CO₂-freier Techniken zur Stromerzeugung. Hier sind in erster Linie die betriebenen Kernkraftwerke zu nennen. In weitaus geringerer Größenordnung stehen auch regenerative Energietechnologien zur Verfügung. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch eine effizientere Ausnutzung des fossilen Energiemix, z.B. durch Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades, durch Kraft-Wärme-Kopplung sowie durch Substitution von kohlenstoffreichen Energieträgern.

Tabelle 19.3 gibt die jährliche Nettostromerzeugung der deutschen Kernkraftwerke sowie die dadurch vermiedenen CO₂-Emissionen wieder. Bei der Ermittlung dieser Emissionen wird unterstellt, dass Kernkraft gleichermaßen Strom aus Braun- wie aus Steinkohlekraftwerken substituiert. Die vermiedenen Emissionen nahmen zwischen 1990 und 2000 um 9 Mill. t bzw. um 5,8 % auf 164 Mill. t zu, bei einem Anstieg der Nettostromerzeugung um 14,1 %. Zwischen 2000 und 2010 sank die Nettostromerzeugung der Kernkraftwerke um 18,0 % auf 132 Mrd. kWh und die vermiedenen Emissionen um 18,3 % auf 134 Mrd. kWh. Die Minderung bei den Emissionen entsprach in etwa der der Nettostromerzeugung.

In den Berichtsjahren 2011 und 2012 ging die Nettostromerzeugung der Kernkraftwerke um 22,7 und 28,8 % auf 102 bzw. 94 Mrd. kWh zurück. Die Menge der vermiedenen CO₂-Emissionen wurde um 23,1 % oder 31 Mill. t 2011 und im Jahr darauf um 29,9 % bzw. 40 Mill. t reduziert. Insgesamt wurden bis 2012 die durch Nettostromerzeugung aus Kernkraft vermiedenen CO₂-Emissionen um 61 Mill. t bzw.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

39,4 % niedriger angegeben als 1990, während die entsprechende Stromabgabe aus Kernkraftwerken um 33,3 % bzw. 47 Mrd. kWh zurückging.

Tabelle 19.3
Inländische Kernkraftwerke: Nettostromerzeugung und vermiedene CO₂-Mengen (ohne Kernkraftanteile der Deutschen Bahn)

1990 bis 2012

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Nettostromerzeugung, (Mrd. kWh)	141	145	161	153	132	102	94
CO ₂ -Einsparung, (Mill. t)	155	156	164	155	134	103	94
Emissionskoeffizienten, (kg CO ₂ /kWh)	1,10	1,08	1,02	1,01	1,02	1,01	1,0

Nach Angaben des BDEW (2013).

Der Grund für die auftretenden Diskrepanzen in der Entwicklung von Nettostromerzeugung und Emissionen vor allem in den neunziger Jahren liegt darin, dass die Höhe der durch Kernkraftstrom vermiedenen Emissionen nicht allein durch das Niveau der Nettostromerzeugung bestimmt wird, sondern auch durch die spezifischen Emissionen, die bei der Erzeugung des durch Kernkraftwerke verdrängten Stroms in den jeweiligen Kohlekraftwerken aufgetreten wären.

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 CO₂-Emissionskoeffizient allmählich. Vom VDEW wurde für die Jahre 1990 bis 2000 eine kontinuierliche Senkung dieses Emissionskoeffizienten von 1,1 auf 1,02 kg CO₂/kWh angegeben (Tabelle 19.3). Dies erklärt die weitaus geringere Wachstumsrate der vermiedenen Emissionen im Vergleich zum Anstieg der Nettostromerzeugung in diesen Jahren. Nach dem Rückgang des Emissionskoeffizienten bis 2003 auf 0,98 kg CO₂/kWh stieg er bis 2007 erneut auf 1,03 kg CO₂/kWh. 2008 und 2009 sank der Koeffizient wiederum auf 1,01 kg CO₂/kWh. Nachdem der Emissionskoeffizient 2010 mit 1,02 kg CO₂/kWh wieder auf den Wert von 2000 gestiegen war, konnte er bis 2012 auf 1,0 kg CO₂/kWh verringert werden.

Hätte 2012 noch der Koeffizient von 1990 gegolten, hätte die Menge der vermiedenen Emissionen bei 103 Mill. t gelegen, mithin um 9 Mill. t höher als angegeben. Der mit 61 Mill. t erheblich geringere effektive Anstieg der durch Kernkraft vermiedenen Emissionen im Vergleich zum Anstieg der Nettostromerzeugung ist damit auf

den deutlichen Rückgang des Emissionskoeffizienten, also die Effizienzverbesserung des Stein- und Braunkohlekraftwerksparks, in den neunziger Jahren zurückzuführen.

Als eine der Ursachen möglicher starker Schwankungen des CO₂-Ausstoßes werden Einflüsse des Wetters auf die Höhe der Stromerzeugung 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 CO₂-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 CO₂-Einsparungen durch Kernkraft erreichten ihren geringsten Wert seit 1995. Derartige Effekte aber haben im aktuellen Berichtszeitraum keine gravierende Rolle gespielt.

Die Nettostromerzeugung aus Kernkraft nahm 2011 und 2012 aufgrund der Abschaltung der acht Kernkraftwerke mit -22,7 und -7,8 % erheblich ab. Aber auch ohne diesen Sondereinfluss hat sich die Nettostromerzeugung aus Kernkraftwerken seit 2000 mehr und mehr von der Stromerzeugung insgesamt abgekoppelt. Gedeckt wurde der Strombedarf durch ein stärkeres Wachstum bei Stein- und Braunkohle- sowie Gaskraftwerken und eine Ausweitung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.

Tabelle 19.4
Erneuerbare Energien: Stromerzeugung und vermiedene CO₂-Emissionsmengen
 1990 bis 2012; gerundete Werte

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Nettostromerzeugung, (Mrd. kWh)	15	19	24	21	26	25	29
CO ₂ , vermieden, (Mill. t)	17	21	25	22	26	25	30

Nach Angaben des BDEW (2013).

Die Stromerzeugung der EVU mittels regenerativer Energietechnologien stieg zwischen 1990 und 2000 von 15 auf 24 Mrd. kWh (Tabelle 19.4). Von 2001 bis 2006 schwankte sie zwischen 21 und 22 Mrd. kWh. Nur 2003 kam es vorübergehend zu einem drastischen Rückgang auf 18 Mrd. kWh (RWI 2007: 243). Bis 2010 stieg die

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Stromerzeugung aus regenerativen Energien auf 26 Mrd. kWh. 2012 konnte mit einer Nettostromerzeugung von 29 Mrd. kWh ein weiterer deutlicher Zuwachs realisiert werden. Während die allgemeine Energieversorger die Nettostromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2000 um 9 Mrd. kWh bzw. 60 % ausbauten, betrug die weitere Steigerung der Nettostromerzeugung aus diesen Quellen bis 2012 bei 5 Mrd. kWh bzw. 20,8 %.

Die Menge der CO₂-Emissionen, die durch diese Art der Stromerzeugung vermieden werden konnte, nahm zwischen 1990 und 2000 um 8 Mill. t auf 25 Mill. t im Jahr 2000 zu (Tabelle 19.4). Der Beitrag der regenerativen Energietechnologien an der gesamten Emissionsminderung der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft lag damit 2000 bei 32 %. Die Menge der vermiedenen Emissionen lag 2012 mit gut 30 Mill. t CO₂ etwa 13 Mill. t über dem Wert von 1990. Grund für den schwächeren Anstieg der vermiedenen CO₂-Emissionen (76,5 %) im Vergleich zum Anstieg der Nettostromerzeugung mit 93,3 % ist auch hier die Effizienzverbesserung der Stein- und Braunkohlekraftwerke in den neunziger Jahren, die sich in dem der Berechnung zugrunde liegenden fiktiven CO₂-Koeffizienten widerspiegelt. Bei der Berechnung der Höhe der vermiedenen Emissionen wurden dieselben Emissionskoeffizienten wie bei Kernkraft herangezogen. Auch hier führen Wirkungsgradsteigerungen der Kohlekraftwerke zu einer Minderung der vermiedenen Emissionen.

Der Einfluss des heißen Sommers 2003, der für eine beträchtliche Änderung des Energiemix zu Lasten der CO₂-freien Energieträger sorgte, wird auch in diesem Bereich deutlich: Mit nur etwa 18 Mill. t fiel die CO₂-Vermeidung durch den Einsatz „regenerativer Energien“ vergleichsweise gering aus (RWI 2007: 243).

Die vom BDEW genannte Vermeidungsmenge veranschaulicht, dass Regenerative Energien einen deutlichen Beitrag zur Zielerfüllung der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft leisten können. Hierbei ist zudem anzumerken, dass ein großer Anteil der unter dem EEG geförderten Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien außerhalb der für die Selbstverpflichtungserklärung gesetzten Bilanzgrenzen der allgemeinen Versorgung erzeugt wird. Die dem Monitoring zugrunde gelegte Energiestatistik des Statistischen Bundesamtes umfasst nur Anlagen mit einer Leistung von mehr als 1 MW_{el} und ist aufgrund von gesetzlich festgelegten Fallzahlbegrenzungen zusätzlich eingeschränkt. Dies betrifft vor allem die Stromerzeugung aus privaten und von kleineren EVU und Stadtwerken betriebenen Windkraft-, Biogas- und Photovoltaikanlagen. Darüber hinaus wird aber aufgrund der Fallzahlbeschränkung auch der Zubau vieler EVU-betriebener Wind- und Solarparks mit einer elektrischen Leistung von über 1 MW_{el} nicht oder nicht zeitnah erfasst. In der Energiestatistik der Kraftwerke der öffentlichen Versorgung spielen deshalb vor allem feste Biomasse, Abfälle und Wasser eine Rolle.

Die Verbesserung der Energieeffizienz in den Kohle- und Gaskraftwerken der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft verdeutlicht Tabelle 19.5. Der entsprechende Brennstoffeinsatz wird hier in Petajoule pro Mrd. Kilowattstunde (PJ/Mrd. kWh) für den Zeitraum 2003 bis 2012 wiedergegeben.

Bei Steinkohlekraftwerken ist in den Jahren 2006 und 2007 eine Verschlechterung der Energieeffizienz von 8,4 auf 8,8 PJ/Mrd. kWh festzustellen. Bis 2010 verbesserte sie sich wieder leicht auf 8,6 PJ/Mrd. kWh, auf dem sie auch bis 2012 verharrte. Erdgaskraftwerke wiesen 2005 und 2006 eine Energieeffizienz von 6,9 PJ/Mrd. kWh auf. Danach sank der spezifische Energieeinsatz bis auf 6,4 PJ/Mrd. kWh im Jahr 2011 und 2012, wobei 2009 vorübergehend ein Anstieg auf 6,8 PJ/Mrd. kWh festzustellen war. Bei den Braunkohlekraftwerken blieb der pro Milliarden Kilowattstunden benötigte Energieeinsatz von 2003 bis 2006 bei 9,5 PJ/Mrd. kWh. 2007 stieg er vorübergehend leicht auf 9,6 PJ/Mrd. kWh und sank bis 2010 9,3 PJ/Mrd. kWh. Insgesamt bedeutet das von 2003 bis 2012 bei Steinkohlekraftwerken eine Verschlechterung, bei Braunkohle- und Gaskraftwerken eine leichte Verbesserung der Energieeffizienz. Die Effizienzveränderungen bei Steinkohlekraftwerken lassen sich nach Angaben des BDEW zum großen Teil über die erheblichen Schwankungen witterungsabhängiger Stromerzeugung (vor allem Wind) begründen. Um Stromschwankungen auszugleichen, werden Kohlekraftwerke in Teillast betrieben mit negativen Konsequenzen für die Effizienz. In den letzten Jahren war das Winddargebot, gemessen anhand der erreichten Vollastbenutzungsstunden der installierten Windanlagen, gegenüber den „windreichen“ Jahren 2006 und insbesondere 2007 trotz des erheblichen Zubaus an Leistungen deutlich geringer. Die Effizienzverbesserung bei den in Grundlast betriebenen Braunkohlekraftwerken lässt sich nach Verbandsaussagen direkt auf entsprechende Effizienzsteigerungsmaßnahmen und Stilllegungen vor allem im rheinländischen Braunkohlerevier zurückführen. Der in den letzten Jahren erfolgte rasante Ausbau der Photovoltaik wirkt sich vor allem in den sonnenreichen Sommermonaten insbesondere über die Mittagsstunden aus. Er trifft damit in erster Linie im unteren Mittellastbereich betriebene ältere Gaskraftwerke, da viele Erdgaskraftwerke auf Kraft-Wärme-Kopplung die Wärmegrundlast auch im Sommer bereitstellen. Der BDEW gibt an, dass Steinkohlekraftwerke des unteren Mittellastbereiches dagegen vornehmlich in Kraft-Wärme-Kopplung in den Wintermonaten betrieben werden und hier deshalb relativ weniger betroffen sind. Insgesamt überwiegt aber offensichtlich in den letzten Jahren in Summe bei den Gaskraftwerken die erhebliche Effizienzsteigerung durch Zubau einer ganzen Reihe von hocheffizienten, vornehmlich ungekoppelt betriebenen GuD-Großanlagen (vgl. auch Tabelle 19.7 zum Vergleich ungekoppelter und gekoppelter Erzeugung).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Der deutliche Rückgang bei den spezifischen CO₂-Emissionen zwischen 2007 und 2008 von 0,92 kg CO₂/kWh auf 0,89 kg CO₂/kWh (Tabelle 19.2), bezogen auf fossile Energieträger, hat neben den leichten Effizienzverbesserungen der Stein- und Braunkohlekraftwerke auch eine Ursache in Veränderungen im Brennstoffmix. Als wesentlichen Grund für diese Verbesserung im Jahr 2008 wurde vom Verband angeführt, dass ältere fossile Kraftwerke aufgrund des wieder verstärkten Einsatzes der Kernkraftwerke weniger und regelmäßiger gelaufen sind. Ebenso gelang es, Windspitzen besser abzufedern.

Tabelle 19.5
Umwandlung fossiler Energieträger
2003 bis 2012; Energieeffizienz in PJ/Mrd. kWh; gerundete Werte

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Steinkohle	8,4	8,4	8,5	8,8	8,8	8,7	8,7	8,6	8,6	8,6
Braunkohle	9,5	9,5	9,5	9,5	9,6	9,4	9,4	9,3	9,4	9,3
Erdgas	6,7	6,5	6,9	6,9	6,7	6,7	6,8	6,7	6,4	6,4

Berechnungen des VDEW bzw. BDEW nach Angaben des Statistischen Bundesamts (BDEW 2013).

2009 war dagegen neben der erneuten leichten Effizienzverschlechterung bei den Gaskraftwerken und einer Konstanz bei Kohlekraftwerken aufgrund des starken Kernkraftzurückgangs ein verstärkter Einsatz der Braunkohlekraftwerke festzustellen, begleitet von einem sehr niedrigen Stromerzeugungsniveau. Dies erklärt insgesamt die Verschlechterung der spezifischen CO₂-Emissionen gegenüber 2008.

2010 verbesserten sich die spezifischen CO₂-Emissionen insgesamt wieder bis etwa auf das Niveau von 2008. Dies ist nach Angaben des Verbandes auf einen leichten Rückgang der Braunkohleverstromung gegenüber dem Vorjahr und einen leichten Anstieg der Stromerzeugung aus Gaskraftwerken zusätzlich zu den Effizienzverbesserungen bei allen drei Kraftwerkarten zurückzuführen. Hinzu kam ein Anstieg der Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken.

Der erneute Anstieg der spezifischen Emissionen im Bereich der mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerke 2011 und 2012 ist dagegen unmittelbare Folge der Stilllegung weiterer Kernkraftwerke infolge des AtomG 2011. Der deutliche Rückgang Nettostromerzeugung aus Kernenergie wurde sowohl durch einen weiteren Anstieg der unsteten und nicht verbrauchsorientierten Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (insbesondere Wind und Photovoltaik) als auch durch eine erhebliche Steigerung der Erzeugung aus Braun- und Steinkohlekraftwerken im Grundlastbereich kompensiert. Da diese Kraftwerke auch Erzeugungsschwankun-

gen bei erneuerbaren Energien ausgleichen, konnten sie teilweise nicht in Volllast gefahren werden, wodurch sie weniger effizient arbeiteten (BDEW 2013). Infolge der Energiewende sind die spezifischen Emissionen der fossilen Kraftwerke 2011 und 2012 auf 0,89 bzw. 0,91 kg CO₂ / kWh gestiegen (Tabelle 19.2). Dennoch lagen sie damit auf dem Niveau des Jahres 2005 und immer noch deutlich unter denen des Basisjahres.

Tabelle 19.6

Nettostromerzeugung und CO₂-Emissionen der EVU

1990 bis 2012; Ziel: Reduktion der CO₂-Emissionen um 25 Mill. t bis 2015

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012
Produktion, (Mrd. kWh)	431	428	466	483	457	423	426
Spezif. CO ₂ -Emissionen insg. (kg CO ₂ /kWh) ¹⁾	0,67	0,62	0,58	0,57	0,56	0,60	0,63
Fikt. Emissionen, (Mill. t)	-	287	312	324	306	283	285
Emissionen, (Mill. t) ²⁾	289	267	264	267	248	247	259
Differenz	-	20	48	57	58	36	26

Nach Angaben des BDEW (2013). – ¹⁾ Ohne Bereinigung für Kernenergieausstieg.

²⁾ Einschl. Bereinigung für Kernenergieausstieg.

Die Auswirkungen des Wandels im Energiemix insgesamt sowie der Veränderungen der Energieeffizienz aller Kraftwerke auf die CO₂-Emissionen lassen sich von den Auswirkungen des Anstiegs der Stromerzeugung isolieren. Multipliziert man die spezifischen CO₂-Emissionen für 1990 mit der Stromerzeugung der Jahre 2011 und 2012, ergeben sich fiktive Emissionen für diese Jahre 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 Energiemix erzielten CO₂-Minderungen. Ohne diese Änderungen wären im Jahr 2011 rund 36 Mill. t und 2012 etwa 26 Mill. t CO₂ zusätzlich ausgestoßen worden (Tabelle 19.6).

19.7 Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung

Der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gilt als ein wesentliches Instrument zur Senkung der CO₂-Emissionen. Im Vergleich zur ungekoppelten Erzeugung wird hierdurch eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz und somit ein geringerer Emissionsausstoß erwartet. Die CO₂-Emissionen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft in der Abgrenzung des CO₂-Monitoringberichts enthalten sowohl die Emissi-

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

onen aus der ungekoppelten Stromerzeugung als auch die der KWK-Stromerzeugung. Erfolge bei der Emissionsminderung durch neu in Betrieb genommenen KWK-Anlagen und modernisierte KWK-Altanlagen schlagen sich demnach dort nieder.

Im Fokus des CO₂-Monitoringberichts standen in den letzten Jahren als entscheidende Determinanten für die Entwicklung der Emissionen die Entwicklung der Kernenergie und der Erneuerbaren Energien, denen keine CO₂-Emissionen zugeordnet werden, sowie die Struktur des fossilen Kraftwerksparks und die Effizienz dieser Kraftwerke. Der Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung wurde in diesem Rahmen nicht explizit herausgestellt. Sie spielt insofern jedoch eine Rolle, als der Wirkungsgrad dieser Anlagen im Vergleich zur ungekoppelten Erzeugung deutlich höher ist.

Die Vermeidung von CO₂-Emissionen durch Kraft-Wärme-Kopplung gegenüber der ungekoppelten Erzeugung wird ausführlich im KWK-Bericht des ÖKO-Instituts dargestellt (zum Folgenden RWI 2012). Das ÖKO-Institut weist dort die zwischen dem Basisjahr 1998 und dem jeweiligen Berichtsjahr¹³ realisierten CO₂-Einsparungen im Vergleich zur ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung aus. Referenzgröße sind dabei zwei Referenzszenarien, die auf dem technologischen Standard der ungekoppelten Erzeugung von 1998 basieren.¹⁴ Da bei der ungekoppelten Erzeugung ebenfalls technologische Verbesserungen erfolgen, weisen Rechnungen, die sich auf ein statisches Vergleichssystem eines Basisjahres beziehen, zu hohe Vermeidungseffekte aus. Eine ergänzende Betrachtung des ÖKO-Institutes, die nicht Gegenstand des Monitorings der KWK-Vereinbarung ist und nicht mit den Verbänden abgestimmt wurde, versucht bei der Gegenüberstellung auch entsprechende technologische Verbesserungen bei der ungekoppelten Erzeugung zu berücksichtigen.

Im Folgenden soll durch eine kurze Ausführung der Beitrag der KWK-Anlagen deutlich gemacht werden. Nach Angaben des ÖKO-Instituts ist die Nettostromerzeugung aus KWK-Anlagen der allgemeinen Versorger zwischen 1998 und 2010 um 56,1 % gestiegen. Der KWK-Anteil wuchs in dieser Zeit von 7,6 % auf 11,4 %. Gleichzeitig hat die Stromkennzahl, d.h. die Relation von Strom- zur Wärmeerzeugung,

¹³ Das letzte Berichtsjahr für das Monitoring der Kraft-Wärme-Kopplungs-Vereinbarung vom 19. Dezember 2003 war das Jahr 2010 (RWI 2012).

¹⁴ Referenzszenario 1 geht von spezifischen Emissionen in Höhe von 770 g CO₂/kWh_{el} bei der Stromerzeugung und 295 g CO₂/kWh_{th} bei der Wärmeerzeugung aus. Referenzszenario 2 geht von spezifischen Emissionen in Höhe von 860 g CO₂/kWh_{el} bei der Stromerzeugung und 295 g CO₂/kWh_{th} bei der Wärmeerzeugung aus.

von 43 % auf 53 % zugenommen. Damit ist die Wärmeerzeugung um 26,0 % gestiegen. Die effektiven Emissionen aus der KWK-Erzeugung insgesamt lagen 2010 als Folge der deutlichen Ausweitung der Erzeugung um 25,8 % bzw. um 10,3 Mill. t höher.

Der Anteil der KWK-Stromerzeugung an der gesamten Nettostromerzeugung lag 2011 und 2012 in der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft bei 11,9 bzw. 11,7 %, jedoch mit deutlichen Unterschieden bei den einzelnen Energieträgern. 2012 betrug der Anteil der KWK-Stromerzeugung aus Steinkohlekraftwerken 12,1 %, bei Braunkohlekraftwerken nur 3,0 %, bei Gaskraftwerken dagegen 57,9 % und bei Erneuerbaren Energien 37,0 %. Erneuerbare Energien¹⁵ spielen mit einem Anteil von knapp 3,0 % an der gesamten Stromerzeugung hier erst eine geringe Rolle. Der KWK-Strom im Bereich allgemeine Elektrizitätswirtschaft wird zu 57 % aus Erdgas, gut 25 % aus Steinkohle, etwa 9,5 % aus Erneuerbaren Energien und zu 8 % aus Braunkohle erzeugt. Effizienzverbesserungen durch einen hohen KWK-Anteil und somit positive Effekte auf die Emissionen insgesamt dürften vor allem aus der Entwicklung bei den Gaskraftwerken und, nicht ganz so ausgeprägt, bei den Steinkohlekraftwerken resultieren.

Ein Vergleich der spezifischen Energieverbräuche für die Energieträger zeigt, dass das Niveau des spezifischen Energieverbrauchs, wie zu erwarten war, bei der ungekoppelten Erzeugung deutlich höher liegt als im KWK-Bereich; und zwar bei Kraftwerken aller drei fossilen Energieträger (Tabelle 19.7).

Von diesem deutlich höheren Niveau ausgehend hat sich bei Erdgaskraftwerken die Energieeffizienz der ungekoppelten Stromerzeugung zwischen 2003 und 2012 stärker verbessert als bei der KWK-Strom- und Wärmeerzeugung insgesamt – ein Ergebnis des Zubaus hocheffizienter GuD-Anlagen. Berechnet für die KWK-Stromerzeugung allein ist sogar eine Verschlechterung festzustellen. Im Bereich Steinkohle hat sich die Energieeffizienz der ungekoppelten Erzeugung verschlechtert, während sie sich im KWK-Bereich verbessert hat. So ist KWK bei Steinkohle kaum durch den Photovoltaikausbau betroffen (siehe Ausführungen zur Effizienz der Kraftwerke).

¹⁵ Hierbei handelt es sich nicht um die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien insgesamt, sondern nur um die der allgemeinen Stromerzeuger. Hierzu gehören Biomasse, Biogas, Klär- und Deponiegas und sonstige erneuerbare Energien sowie Klärschlamm, Abfälle und sonstige Energieträger.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle 19.7
Spezifischer Energieverbrauch im Vergleich
 PJ/TWh; 2003 bis 2012

	Stromerzeugung (netto)			KWK- Wärme- erzeugung	KWK- insgesamt
	insgesamt	ungekoppelt	KWK-Strom		
Steinkohle					
2003	9,110	9,269	8,143	3,600	5,106
2005	8,962	9,062	8,120	3,621	4,692
2009	9,487	9,859	6,917	3,699	4,625
2012	9,438	9,763	7,078	3,539	4,623
2003/12, in %	3,6	5,3	-13,1	-1,7	-9,5
Braunkohle					
2003	10,316	10,385	7,633	3,600	4,680
2005	10,571	10,651	7,729	3,709	4,711
2009	10,267	10,351	7,381	3,643	4,645
2012	10,044	10,126	7,355	3,675	4,736
2003/12, in %	-2,6	-2,5	-3,6	2,1	1,2
Erdgas					
2003	6,923	8,274	6,048	3,600	4,575
2005	6,828	8,672	5,757	3,184	4,428
2009	7,063	7,943	6,312	3,156	4,470
2012	6,604	6,957	6,347	3,174	4,494
2003/12, in %	-4,6	-15,9	4,9	-11,8	-1,8
Biomasse					
2003	-	10,727	-	-	7,315
2005	-	9,660	-	-	6,331
2009	-	12,573	-	-	6,328
2012	-	13,858	-	-	5,706
2003/12, in %		29,2	-	-	-22,0
Abfälle u.Ä.					
2003	-	17,708	-	-	5,507
2005	-	16,971	-	-	6,988
2009	-	15,189	-	-	6,784
2012	-	14,886	-	-	6,732
2003/12, in %		-15,9	-	-	22,4

Eigene Berechnungen nach Angaben des BDEW und des Statistischen Bundesamtes.

Die Energieeffizienz bei Erneuerbaren Energien spielt für die Betrachtung im CO₂-Monitoringbericht keine Rolle, da der entsprechende Energieverbrauch hier nicht CO₂-relevant ist. Sie ist jedoch insofern wichtig, als mit einem höheren Wirkungsgrad die Energieträger wie Abfälle und Biogas besser ausgenutzt werden. Hier zeigt sich, dass bei Kraftwerken auf Basis von Abfällen die Energieeffizienz bei der ungekoppelten Erzeugung stark gestiegen ist, bei der KWK-Erzeugung hat sie sich verschlechtert.

Bei den sonstigen Erneuerbaren Energien (insbesondere Biomasse) zeigen sich umgekehrt eine Verbesserung im KWK-Bereich und eine Verschlechterung im ungekoppelten Bereich. Hier ist ebenfalls noch anzumerken, dass nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Verstromung von erneuerbaren Energien in Deutschland vom Berichtskreis der allgemeinen Versorgung erfasst ist und demzufolge die beobachteten Trends nicht repräsentativ für den Ausbau der erneuerbaren Energien als Ganzes sein müssen.

Ziel der Selbstverpflichtung und daher im Fokus des CO₂-Monitorings ist die effektive Minderung der absoluten CO₂-Emissionen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft und nicht die Realisierung bestimmter Vermeidungseffekte, deren Betrachtung in diesem Rahmen nur zur Verdeutlichung dient. Die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung (in der dem CO₂-Monitoringbericht zugrundeliegenden Abgrenzung) sind ohne Berücksichtigung der Gutschrift für stillgelegte Kernkraftwerke zwischen 1998 und 2010 um rund 11 Mill. t bzw. 4 % gesunken, bei einem Rückgang der Stromerzeugung um 5 %. Einflüsse von Verschiebungen im Energieträgermix und technologische Veränderungen haben sich hiernach nahezu kompensiert. Die durch Stromerzeugung aus Kernkraft und erneuerbaren Energien vermiedenen Emissionen wurden bereits angesprochen. Es wurde hierbei für beide eine Substitution der Stromerzeugung durch Stein- und Braunkohlekraftwerke zu je gleichen Teilen unterstellt. Nach dieser Rechnung konnten 2010 durch Kernkraft 61 Mill. t CO₂ weniger vermieden werden als 1998. Durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien gelang es dagegen, 13 Mill. t CO₂ mehr zu vermeiden (Tabellen 19.3 und 19.4).

Durch den Vergleich der KWK-Stromerzeugung mit der ungekoppelten Erzeugung ergaben sich nach der Rechnung des ÖKO-Instituts für 2010 gegenüber 1998 Emissionseinsparungen in Höhe von 10,6 Mill. t (Szenario 1) bis 12,3 Mill. t (Szenario 2) (RWI 2012: 8). Bei der ergänzenden Rechnung, bei der technologische Verbesserungen im Bereich der ungekoppelten Erzeugung beim Vergleich berücksichtigt wurden, ergab sich ein deutlich niedrigerer Vermeidungseffekt.

19.8 Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung

Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft gehört mit zu den größten Investoren in Deutschland. 2010 haben die EVU etwa 10,4 Mrd. € investiert (Tabelle 19.8). Das ist eine weitere deutliche Steigerung nach knapp 9,5 Mrd. € im Jahr 2009 und etwa eine Verdreifachung gegenüber 2005. Die Ausgaben für den Erhalt und den Ausbau der Stromnetze lagen 2009 bei etwa 2,9 Mrd. €. Auch hier ist eine Verdoppelung gegenüber 2005 festzustellen.

Tabelle 19.8
Investitionen der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft
2000 bis 2010; in Mill. €

	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Stromerzeugung	707	937	1 098	1 832	2 733	3 683	3 931
Leitungsnetz	1 368	1 171	1 401	2 314	2 702	2 840	3 288
Insgesamt	3 052	3 278	3 844	6 964	8 326	9 487	10 377

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts, Fachserie 4, Reihe 6.1. Angaben für 2011 und 2012 waren bei Fertigstellung des Berichts nicht erhältlich.

Im Fortschrittsbericht des BDEW (2013) werden für die Jahre 2005 bis 2012 beispielhaft Investitionsmaßnahmen der Elektrizitätswirtschaft im Bereich erneuerbare Energien sowie Effizienzsteigerungen bei Kernkraftwerken und im Anlagenpark fossiler Energieträger genannt. Die Effizienzsteigerungen des Kraftwerksparks bei fossilen Energieträgern umfassen im Wesentlichen Maßnahmen zur Ertüchtigung (Retrofit) bestehender und den Neubau von Kraftwerken, zur Verlagerung der Erzeugung auf effizientere Kraftwerke desselben Energieträgertyps sowie Altanlagenstilllegungen (BDEW 2013: 19f).

Über 70 % der bei den Stadtwerken installierten Stromerzeugungskapazitäten sind KWK-Anlagen. Nach Angaben des BDEW wurden 2005 eine Reihe erdgasbefeuerteter GuD-Anlagen in Betrieb genommen. 2011 kamen zwei weitere erdgasbefeuerte GuD-Anlagen hinzu. Neben diesen großen Kraftwerksprojekten wird eine Vielzahl weiterer Inbetriebnahmen und Kapazitätserweiterungen von kleineren bis mittleren KWK-Anlagen vor allem in den Bereichen Biomasse und Müllverbrennung in den letzten Jahren erwähnt, wobei viele dieser Anlagen jedoch aufgrund fehlender ganzjähriger Wärmesenken nicht ganzjährig in KWK betrieben werden. Ebenso wurden eine ganze Reihe erdgasbefeuerte Blockheizkraftwerke neu in Betrieb gesetzt, die in einzelnen Fällen jedoch nur bestehende ältere Anlagen ersetzt haben (RWI 2011).

Der Verband ergänzte den Ausweis der wichtigsten Neuanlageninbetriebnahmen gegenüber dem Fortschrittsbericht des Jahres 2010 um zwei Beispiele für 2011 und 2012: neben den bereits genannten GuD-Anlagen in 2011 wurden 2012 zwei Braunkohle-Kraftwerke in Betrieb genommen (BDEW 2013: 20). Der Beitrag einer Neuanlageninbetriebnahme zur Energieeinsparung ist jedoch zum großen Teil erst im Folgejahr zu erwarten. Die höheren Wirkungsgrade von Neuanlagen ermöglichen nach Ansicht des BDEW im Durchschnitt Brennstoffeinsparungen von 25 bis 40 % gegenüber vergleichbaren 25 bis 40 Jahre alten Kraftwerken. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl im Bau oder Genehmigungsverfahren befindlicher Großprojekte – insbesondere eine Reihe von Steinkohlekraftwerken und erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken – mit voraussichtlicher Inbetriebnahme im Zeitraum 2013 bis 2015 (BDEW 2013: 19).

Neben der Inbetriebnahme der Neuanlagen wurde im Berichtszeitraum eine Vielzahl von Retrofit-Maßnahmen durchgeführt. Herauszuheben sind hierbei eine Turbinenertüchtigung an den Braunkohle-Standorten Jänschwalde und Boxberg von Vattenfall Europe, die Inbetriebnahme von Vorschaltgasturbinen mit verbundener Abwärmenutzung zur Steigerung der Effizienz zweier Braunkohle-befuenerter Blöcke am RWE-Standort Weisweiler, die Modernisierung des Mark-E-Standortes Wehrdohl sowie die laufenden Modernisierungsprogramme von EnBW, Evonik STEAG und E.ON an Steinkohlekraftwerken. Den Ertüchtigungsmaßnahmen an den bestehenden Standorten kann im Regelbetrieb eine CO₂-Minderung von mindestens 3 Mill. t zugerechnet werden (BDEW 2013: 22).

Ebenfalls wurden vom Verband die Contractingkonzepte hervorgehoben, nach denen ein öffentlicher Versorger die Versorgung industrieller Großverbraucher herstellt, indem er bestehende Anlagen aus der industriellen Kraft- und Wirtschaft übernimmt, modernisiert oder durch Neuanlagen ersetzt. Hierdurch vermindern sich die Emissionen der industriellen Kraftwirtschaft, die der allgemeinen Versorgung steigen an, wenn auch auf Grund der Ertüchtigungsmaßnahmen in geringerem Umfang. Die vom Verband beispielhaft für 2005 bis 2012 angegebenen Anlagen produzieren 1 000 GWh Strom und 2 500 GWh Nutzwärme pro Jahr mit klimarelevanten CO₂-Emissionen von jährlich rund 1 Mill. t. Die Inbetriebnahme der meisten Anlagen erfolgte in den Jahren 2005 und 2006. 2007/2008 nahm nur die KGU der Stadtwerke Aalen den Betrieb auf, 2008 die Anlage der MVV Energiedienstleistungen Ludwigshafen. 2009 kam eine Anlage von E.ON Bayern in Miltenberg hinzu. E.ON Energy Pr. nahm 2010 eine Anlage in Plattling und 2012 eine in Philippsthal in Betrieb. Der BDEW geht jedoch zukünftig aufgrund der geänderten KWK-Vergütung und der Einspeisemöglichkeiten von KWK-Strom durch industrielle Anlagen durch die KWK-Novelle eher von einem Rückgang beim Contracting im Berichtsrahmen der allgemeinen Versorgung aus. So dürften entsprechende Pro-

jekte zwar unvermindert verfolgt werden, aber möglicherweise vermehrt im Bereich der Industriekraftwerke anfallen. Eine Angabe zu den durch Contracting vermiedenen Emissionen ist nicht möglich, da dem Verband weder Angaben zur Einspeisung ins öffentliche Netz noch zu den früheren Emissionen der übernommenen Industrieanlagen vorliegen (BDEW 2011: 21f).

Bei den erneuerbaren Energien fand im von der Energiestatistik erfassten Bereich der allgemeinen Versorgung vor allem ein erheblicher Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien statt, der nicht zuletzt auf das Erneuerbare-Energien-Gesetz zurückgeht. Die Zunahme der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ist vor allem auf den Ausbau der Windenergie, der Solarenergie sowie der Biomassenutzung zurückzuführen. Solarenergie und Biogasnutzung sind hierbei in erster Linie der privaten Erzeugung und Einspeisung in das öffentliche Stromnetz zuzuordnen, während der Ausbau und die Nutzung fester Biomasse und von Sekundärbrennstoffen vor allem in der allgemeinen Versorgung und teilweise auch im industriellen Bereich stattfindet.

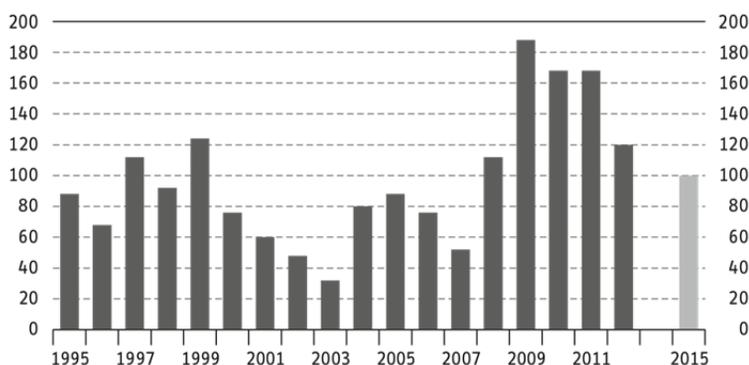
Angaben zur Höhe der im Berichtszeitraum insgesamt durch Minderungsmaßnahmen eingesparten CO₂-Emissionen wurden vom Verband nicht gemacht.

19.9 Zusammenfassung

Vorbehaltlich der Wiederinbetriebnahme des Kernkraftwerks Mühlheim-Kärlich hat die allgemeine Elektrizitätswirtschaft im Rahmen der Klimaschutzklärung der deutschen Wirtschaft bis 2015 eine CO₂-Emissionsreduktion von 12 % bzw. rund 35 Mill. t gegenüber 1990 zugesagt. Da zwischenzeitlich entschieden wurde, dass dieses Kernkraftwerk nicht wieder ans Netz genommen wird, verminderte sich die zugesagte CO₂-Reduktion auf insgesamt 25 Mill. t. Damit sollen 2015 maximal 264 Mill. t CO₂ emittiert werden.

Die zugesagte CO₂-Reduktion konnte bereits 1999 aufgrund der Zunahme der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und vor allem aus Kernkraft deutlich übertroffen werden (Schaubild 19.2). Bis 2003 sank der Zielerreichungsgrad jedoch wieder auf 32 %. Der Anteil von Strom aus Kernenergie und erneuerbaren Energien ging in dieser Zeit auf 36 % zurück, u.a. aufgrund des heißen Sommers von 2003 bei gleichzeitigem starkem Anstieg der Stromerzeugung insgesamt. Bis 2005 wurde erneut eine sprunghafte Verbesserung des Zielerreichungsgrades auf 88 % vor allem als Ergebnis des Rückgangs der Stromerzeugung insgesamt erreicht, während der Anteil CO₂-freier Energieträger stagnierte.

Schaubild 19.2
Zielerreichungsgrade der allgemeinen Elektrizitätswirtschaft
 1995 bis 2012; in %



Eigene Berechnungen nach Angaben des VDEW (2007) und des BDEW (2013).

Bis 2007 sank der Zielerreichungsgrad erneut auf 52 %. Während für die Verschlechterung in 2006 hauptsächlich der Anstieg der Stromerzeugung insgesamt verantwortlich war, gab es 2007 zwar ebenfalls einen deutlichen Rückgang der Stromerzeugung, insgesamt aber einen drastischen Einbruch bei der Kernenergie, der zum großen Teil auf technisch bedingte Stillstände zurückzuführen war. Diese Entwicklung führte zu höheren Kohleanteilen im Energieträgermix.

2008 sind die Emissionen gegenüber 2007 um 15 Mill. t zurückgegangen bei einem Anstieg der Nettostromerzeugung um nur 0,4 %. Damit konnte für dieses Jahr ein Zielerreichungsgrad von 112 % erreicht werden. Etwa 8 Mill. t sind nach Angaben des Verbandes auf den starken Anstieg der Stromerzeugung aus Kernkraft zurückzuführen. Weitere 4 Mill. t führt der BDEW auf die durchschnittliche Effizienzsteigerung des fossilen Anlagenparks durch Verbesserung des Wirkungsgrades zurück, 3 Mill. t auf den Brennstoffwechsel von Kohle auf Erdgas (BDEW 2009). Die Anpassung des Energieträgermix wurde durch die sinkenden Preise auf den Märkten für Rohstoffe und Emissionszertifikate begünstigt.

Hauptursache für den Rückgang der Emissionen in 2009 um 5,9 % war in erster Linie der inländische Nachfragerückgang. Auch die Nettoausfuhr ging deutlich zurück. Die Nettoerzeugung sank aufgrund des überproportionalen Rückgangs der Produktion aus Kernkraftwerken und der entsprechenden Verlagerung hin zu Braunkohlekraftwerken mit 7 % etwas stärker als die Emissionen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien verringerte sich zwar nur um 2 %, konnte aber aufgrund ihres geringen Anteils diesen Effekt nicht ausgleichen.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

2010 und 2011 konnte ein Zielerreichungsgrad von 168 % erreicht werden, 2012 lag er schließlich bei 120 %. Der Grund für den erneuten Anstieg der CO₂-Emissionen liegt in der Stilllegung von acht Kernkraftwerken im Zuge des AtomG 2011. Ein beträchtlicher Teil der Stromerzeugung wurde zwar durch erneuerbare Energien übernommen, dennoch wurden auch konventionelle Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen stärker gefahren. Zudem müssen die Schwankungen in der Erzeugung der erneuerbaren Energie durch fossile Kraftwerke ausgeglichen werden. Diese Form der Erzeugung ist jedoch nicht sehr energieeffizient. Zusammengekommen sind die CO₂-Emissionen daher durch den Wegfall der acht Kernkraftwerke gestiegen.

Die Stromwirtschaft hat in den letzten fünf Jahren und drei Jahre vor Ablauf der Minderungsverpflichtung ihre Zusage mehr als erfüllt. Der Rückgang der Emissionen fiel mit 8,0 % deutlich höher aus als der der Produktion mit 1,3 %. Hierzu beigetragen haben der Rückgang der Nettostromerzeugung aus Kernenergie, Effizienzverbesserungen bei den fossilen Kraftwerken gegenüber dem Vorjahr, sowie ein Anstieg der Erzeugung aus erneuerbaren Energien.

Der Verband geht in seiner Erklärung zur Klimavorsorge von einem ungestörten Betrieb der Kernkraftwerke aus. Der sukzessive Ausstieg aus der Kernkraft wurde 2002 nach der Abgabe der Selbstverpflichtung gesetzlich festgelegt. In den CO₂-Emissionen, die in den Fortschrittsberichten des BDEW ausgewiesen werden, sind daher zusätzlich die durch Kernkraft hypothetisch vermeidbaren Emissionen aus der Stromerzeugung der stillgelegten Kernkraftwerke berücksichtigt.

Nach dem Beschluss der Bundesregierung vom 6. Juni 2011 gehen die acht abgeschalteten Kernkraftwerke nicht wieder ans Netz. Darüber hinaus sollen die übrigen Anlagen bis Ende 2022 schrittweise stillgelegt werden. Soweit die Substitution durch fossile Energieträger erfolgt, wird dies zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen führen.

Anhang

A. Wirtschaftliche Entwicklung der an der Klimavereinbarung beteiligten Sektoren

Die am Monitoring beteiligten Industriebereiche vereinigten 2011 und 2012 rund ein Drittel der Produktion des Verarbeitenden Gewerbes auf sich (StaBuA/FS4/R3.1 2013). Während sowohl das Bruttoinlandsprodukt (BIP) als auch der Produktionsindex des Verarbeitenden Gewerbes zwischen 1991 und 2012 insgesamt um rund 32 % wuchsen (Tabelle A.2), verzeichneten in diesem Zeitraum von den am Monitoring teilnehmenden Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes 9 ein negatives Wachstum. Hierzu trugen insbesondere die teils zweistelligen negativen Wachstumsraten des Jahres 2009 bei. In 2011 und 2012 konnten sich einige dieser Sektoren wieder stabilisieren und positive Wachstumsraten erzielen (Tabelle A.1).

Tabelle A.1
Entwicklung des Produktionsindex
1991-2012

	1991-2005	1991-2010	2010-2012
Chemische Industrie	32,3	39,0	-3,0
Eisenschaffende Industrie	12,8	0,3	-3,6
Elektrotechnik- und Elektronikindustrie	55,1	72,9	9,3
Feuerfest-Industrie	-0,1	-1,9	-5,0
Glasindustrie	7,5	12,8	-0,4
Kaliindustrie (Rohsalzverarbeitung in t)	-4,7	-16,2	5,4
Kalkindustrie	-12,5	-12,0	-1,1
Keramische Fliesen und Platten	-42,8	-52,9	12,3
Mineralölverarbeitung	17,5	7,1	-0,2
Nichteisen-Metallindustrie	9,3	5,2	-10,7
Steinkohlenbergbau	-62,0	-81,6	-14,6
Textilindustrie	-39,1	-60,3	-7,3
Zellstoff- und Papierindustrie	39,4	50,8	-7,1
Zementindustrie	-24,5	-26,0	14,7
Ziegelindustrie	-8,5	-33,9	6,5
Zuckerindustrie	42,9	-5,4	19,5

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 2.1.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Tabelle A.2

Produktion des Verarbeitenden Gewerbes und reales Bruttoinlandsprodukt

1991-2012; Veränderung in %

	1991- 2005	1991- 2010	1991- 2012	2010	2011	2012	2010- 2012
Produktionsindex Verarbeitendes Gewerbe	17,3	23,1	31,7	11,9	8,0	-1,0	7,0
Bruttoinlandsprodukt	18,8	27,0	31,8	4,3	3,2	0,8	3,7

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 2.1 und Fachserie 18, Reihe 1.4.

Die Produktionsentwicklung in den einzelnen Industriebereichen verlief sehr unterschiedlich. So sank die Produktion der Textilindustrie zwischen 1991 und 2010 um etwa 60 %. 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-, und Ziegelindustrie 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 2010 um fast 53 %, die der Zementindustrie um 26 % und die der Kalkindustrie um 12 %. Einige Branchen konnten hingegen ihre Produktion bis 2010 kräftig steigern. Dazu zählen beispielsweise die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, die Chemische Industrie sowie die Zellstoff- und Papierindustrie (Tabelle A.1). Im Zuge der gesamtwirtschaftlichen Erholung konnten viele Bereiche in den Jahren 2011 und 2012 die Folgen der Finanz- und Wirtschaftskrise wieder ausgleichen. So wuchsen beispielweise die Produktion in der Zucker- und der Zementindustrie sowie die Herstellung keramischer Fliesen und Platten um jeweils mehr als 10 %.

Nach einem als Folge der Wirtschafts- und Finanzkrise negativen Wirtschaftswachstum von -5,5 % in 2009 konnte 2010 wieder ein Anstieg des realen Bruttoinlandsprodukts um 4,3 % verzeichnet werden. Neben den zum Vorjahr deutlich gestiegenen Exporten (15,0 %) trug auch die um 2,7 % gestiegene Inlandsnachfrage zu einem positiven Wirtschaftswachstum bei. 2011 und 2012 wuchs das Bruttoinlandsprodukt erneut schwächer (Tabelle A.3).

Der Anstieg der Inlandsnachfrage ging 2011 vor allem auf die um fast 10 % gegenüber dem Vorjahr gestiegenen Ausfuhren zurück. Auch die Bauinvestitionen nahmen deutlich zu (6,1 %). Von dieser positiven Entwicklung profitierte als Bauzulieferer auch die Produktion der Kalkindustrie, deren Zuwachs zum Vorjahr 2,3 % betrug. Die Produktion der keramischen Fliesen und Platten sowie der Zementindustrie wuchs mit 9,2 bzw. 21,6 % noch deutlich stärker (Tabelle A.1). Von den beiden

am Monitoring beteiligten Verbrauchsgütersektoren war die Produktion der Textilindustrie um 7,3 % rückläufig, während die Zuckerindustrie gegenüber dem Vorjahr ein positives Wachstum von fast 36 % vorweisen konnte. 2012 verlief die Baukonjunktur wieder schwächer. Nur die Produktion von keramischen Fliesen und Platten wuchs noch weiter (2,8 %), während sie in der Kalk- und Zementindustrie um 3,4 bzw. 5,7 % zurückging. Die Produktion der beiden im Monitoring vertretenen Verbrauchsgütersektoren ging um 4,9 % (Zuckerindustrie) und 4,5 % (Textilindustrie) zurück.

Tabelle A.3
Veränderung des realen Bruttoinlandsprodukts und dessen Verwendung
 2005 bis 2012; Veränderungen der Indizes gegenüber dem Vorjahr in %

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Inlandsnachfrage	-0,2	2,7	2,0	1,2	-2,6	2,7	2,8	-0,3
Private Konsumausgaben	0,2	1,5	-0,2	0,8	0,0	0,9	1,7	0,8
Anlageinvestitionen	0,8	8,2	5,2	1,4	-13,3	6,0	6,6	-2,8
- Ausrüstungen	5,3	11,7	11,7	3,5	-28,5	10,1	7,6	-5,8
- Bauinvestitionen	-3,6	5,3	-0,3	-0,7	-3,4	3,3	6,1	-1,7
- Sonstige	5,7	9,0	7,9	7,3	-3,7	4,1	4,9	4,0
Ausfuhr	7,1	13,1	9,0	3,5	-16,1	15,0	9,7	5,2
Einfuhr	5,8	11,8	6,1	4,0	-9,7	12,4	9,2	3,0
Bruttoinlandsprodukt	0,7	3,7	3,4	1,2	-5,6	4,3	3,2	0,8

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Fachserie 4, Reihe 2.1 und Fachserie 18, Reihe 1.4.

Bei 6 der 16 am Monitoring beteiligten Sektoren konnten 2011 und 2012 Produktionszuwächse verzeichnen. Dies ist unter anderem auf die im Vorjahresvergleich deutlich gestiegenen Exporte (9,7 und 5,2 %) zurückzuführen. So ist die Produktion der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie um 9,3 % gestiegen. Aber auch andere, weniger exportintensive Branchen verzeichneten Zuwächse: so nahm die Produktion von Zucker um fast 20 % zu.

B. Die Entwicklung der Energiepreise

Mit dem sich abschwächenden weltwirtschaftlichen Wachstum in 2009 sank auch der weltweite Energieverbrauch um 1,3 %, dem höchsten Rückgang seit 1980 (BP 2013). 2010 erfolgte dann parallel zum wirtschaftlichen Aufschwung wieder ein deutlicher Anstieg des Energieverbrauchs um 5,6 %; 2011 und 2012 wuchs der weltweite Energieverbrauch um jeweils mehr als 2 %. Allerdings war diese Entwicklung nicht gleichmäßig auf alle Energieträger verteilt. Während der Verbrauch von Erdgas und Kohle um rund 7 bis 8 % stieg, ist beim Öl nur eine Zunahme von rund 3 % festzustellen. 2012 wuchs der Verbrauch von Erdgas und Kohle noch mit 2,5 bzw. 2,8 %, der Ölverbrauch nahm um 1,2 % zu.

Ursächlich für die schwache Entwicklung beim Ölverbrauch dürften auch die gegenüber dem Vorjahr gestiegenen Ölpreise gewesen sein. Die jahresdurchschnittlichen Preise der bekanntesten Ölsorten lagen 2011 zwischen 20-40 % über denen des Vorjahres (Tabelle B.1).

Tabelle B.1
Nominale Weltmarktpreise für Rohöl und deren Veränderungen gegenüber 2000
1990 bis 2012; in US \$/bbl

	1990	2000	2005	2010	2011	2012	Mittel
Brent	23,73	28,50	54,52	79,50	111,26	111,67	42,69
seit 2000	-	-	91,3%	179,0%	290,4%	291,8%	
Dubai	20,45	26,20	49,35	78,06	106,18	109,08	40,33
seit 2000	-	-	88,4%	197,9%	305,3%	316,3%	
WTI	24,50	30,37	56,59	79,45	95,04	94,13	42,50
seit 2000	-	-	86,3%	161,6%	213,0%	210,0%	

WTI: West Texas Intermediate. – BP (2013), MWV (2013), eigene Berechnungen.

Die Einfuhrpreise für Heizöl reagierten unmittelbar auf die Rohölpreisnotierungen. Die unterjährigen Preisanstiege verschärften sich im Gegensatz zu den Vorjahren durch die Schwankungen des Wechselkurses des Euro gegenüber dem Dollar. So nahm der Wert des Euro zwischen 2000 und 2011 um etwas mehr als 50 % zu (Tabelle B.2). 2012 hingegen fiel sein Wert um rund 8 % gegenüber dem Vorjahr. Dadurch stiegen die in Euro bemessenen Einfuhrpreise für Rohöl schneller als die in Dollar notierten Weltmarktpreise (Tabelle B.3).

Tabelle B.2
Wechselkursverhältnis des Euros zum US-Dollar und Inflation in Deutschland
 1990 bis 2012; in US \$/€

	1990	2000	2005	2010	2011	2012
Dollar/Euro	1,2102	0,924	1,244	1,326	1,392	1,285
seit 2000	-	-	34,7 %	43,5 %	50,7 %	39,1 %
Inflationsrate		1,4 %	1,5 %	1,1 %	2,0 %	2,0 %
Inflation seit 2000	-	-	7,9 %	16,7 %	19,1 %	21,4 %

Deutsche Bundesbank (2013), StaBuA/FS17 (2013), eigene Berechnungen.

Die Weltmarktpreise lagen 2012 je nach Sorte um etwa 210 % bis 316 % höher als 2000 (Tabelle B.1). Auch der Einfuhrpreis für schweres Heizöl nahm im selben Zeitraum um etwa 232 % zu, bei leichtem Heizöl betrug der Anstieg rund 166 %.

Tabelle B.3
Grenzübergangspreise (cif) für Rohöl, Heizöl und Erdgas
 1990 bis 2012; in €/t SKE

	1990	2000	2005	2010	2011	2012	Mittel
Rohöl	98	156	216	307	408	442	172
seit 2000	-	-	38,5 %	96,5 %	161,1 %	183,1 %	
Schweres Heizöl	65	144	162	293	379	479	154
seit 2000	-	-	12,3 %	103,3 %	162,7 %	232,3 %	
Leichtes Heizöl	116	203	289	357	483	540	215
seit 2000	-	-	42,3 %	75,9 %	138,2 %	166,0 %	
Erdgas	61	87	131	168	212	238	113
seit 2000	-	-	51,0 %	93 %	143,9 %	173,6 %	

Die cif-Preise beinhalten sämtliche Kosten, einschließlich Fracht- und Versicherungsgebühren. - Rohöl, leichtes und schweres Heizöl: MWV (2013), Erdgas: BMWi (2013).

Während 2012 die Einfuhrpreise für Roh- und schweres Heizöl 442 € bzw. 479 € pro t Steinkohleneinheit (SKE) betrug, lag der Importpreis für Erdgas bei 238 €/t SKE. Eine der Ursachen dafür ist die informelle Ölpreisbindung für Erdgas: In den

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

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.

Tabelle B.4
Grenzübergangspreise (cif) für Kraftwerks- und Kokskohle sowie für Koks
1991 bis 2012; in €/t SKE

	1991	2000	2005	2010	2011	2012	Mittel
Kraftwerkskohle	49	42	65	85	107	93	57
seit 2000	-	-	54,8 %	102,4 %	154,8 %	121,4 %	
Kokskohle	49	51	91	160	k.A.	k.A.	72
seit 2000	-	-	78,4 %	213,7 %	-	-	
Koks (€/t)	k.A.	78	230	259	320	259	168
seit 2000	-	-	194,9 %	232,1 %	310,3 %	232,1 %	

Die cif-Preise beinhalten sämtliche Kosten, einschließlich Fracht- und Versicherungsgebühren. BMWi (2013).

Ebenso wie bei Rohöl verstärkte die Abschwächung des Euro die Steigerung der Importpreise von Erdgas wie auch von Steinkohlen. Als Folge stieg der Einfuhrpreis für Kokskohle an und lag 2010 etwa 214 % über dem Niveau von 2000 (Tabelle B.4). Beim Koks stieg der jahresdurchschnittliche Importpreis von rund 78 € pro Tonne SKE im Jahr 2000 auf 259 €/t im Jahr 2012. Allein der Einfuhrpreis für Kraftwerkskohle fiel deutlich gegenüber dem Niveau des Vorjahres und lag 2012 nur noch etwa 121 % über dem von 2000. Die wesentlichen Gründe für die seit dem Jahr 2000 stark angestiegenen Kokspreise waren die gestiegene Nachfrage aus wachstumsstarken Entwicklungs- und Schwellenländern, insbesondere aus China, die weltweite Angebotsverknappung infolge von Kokereischließungen in Europa sowie begrenzte Frachtkapazitäten (Matthes und Ziesing 2005: 58). Das Zusammenwirken all dieser Faktoren führte zu einer Preisexplosion bei Koks wie zu Beginn der 80er Jahre.

Im Zuge der Preissteigerungen der letzten Jahre begannen viele Exportländer, ihre Förderkapazitäten an Kokskohlen zu erweitern. China baute seine Kokereikapazitäten massiv aus. Das traditionelle Muster, dass Preissteigerungen zu einer Ausweitung des Angebots führen, würde nach Auffassung der Internationalen Energieagentur (IEA 2004) Angebotsüberschüsse auf den Kohle- und Koksmärkten zur

Folge haben. Damit wären entsprechende Preissenkungen verbunden. Die dennoch gestiegenen Energiepreise belegen, dass die Kapazitätsausweitungen nicht mit den Nachfragesteigerungen mitgehalten haben. Der im Falle von Koks zwischen den Jahren 2008 und 2009 rückläufige Preis entkräftet diese Aussage nicht, da dessen Ursache im krisenbedingten Rückgang der Hochofenstahlproduktion zu suchen ist. Erneute Preissteigerungen traten denn auch mit Beginn der wirtschaftlichen Erholung auf.

Tabelle B.5
Gerundete Steuersätze auf Mineral- und Heizöl in Deutschland

1990 bis 2012; in €/1 000 l

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003- 2012	Veränd. geg. 1990
Ottokraftstoff verbleit	332	552	583	614	659	690	721	117,2 %
Ottokraftstoff bleifrei	291	501	532	562	593	624	655	125,1 %
Diesel	272	317	348	378	409	440	470	105,2 %
Leichtes Heizöl (Haushalte)	29	41	61	61	61	61	61	110,3 %

MWV (2013), eigene Berechnungen.

Letztlich entscheidend für die Höhe des Endenergieverbrauchs von Industrie und Haushalten sind indessen weder die Weltmarkt- noch die Einfuhrpreise, sondern die Verbraucherpreise. Neben Importpreisen und Erzeugerkosten spielen Steuern und Abgaben bei der Höhe der Endverbraucherpreise eine erhebliche Rolle. So werden Kraftstoffe mit der Mineralöl- und Ökosteuer belastet, Strom mit der Ökosteuer, der Abgabe für Kraft-Wärmekopplung (KWK), den Einspeisevergütungen für die Regenerativstromerzeugung sowie der Konzessionsabgabe und schließlich Brennstoffe mit der Konzessionsabgabe, der Mineralöl- sowie der Ökosteuer. Mit der Einführung der Ökosteuer 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.

Das Gesetz zum Einstieg in die Ökologische Steuerreform vom 1. April 1999 sowie das Gesetz zur Fortführung der Ökologischen Steuerreform vom 16. Dezember 1999

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

fürten zu einem starken Anstieg der Energiesteuern bis zum Jahr 2003 (Tabelle B.5). Seit 2003 blieben die Steuersätze unverändert. Zwischen 1990 und 2003 haben sich die Steuersätze für Ottokraftstoffe und leichtes Heizöl für private Haushalte jeweils mehr als verdoppelt. Während sich die Besteuerung von Erdgas im selben Zeitraum mehr als verdreifachte, fielen die Steuererhöhungen für Diesel deutlich geringer aus.

Tabelle B.6
Strom-, Erdgas- und Mehrwertsteuern in Deutschland
1990 bis 2012

	1990	1995	1999	2000	2001	2002	2003- 2006	2007- 2012
Stromsteuer, Cent/kWh	-	-	1,02	1,27	153	1,79	2,05	2,05
Stromsteuer, Euro/MWh	-	-	10,20	12,70	15,30	17,90	20,50	20,50
Erdgassteuer, Euro/MWh	1,33	1,84	3,48	3,48	3,48	3,48	5,50	5,50
Mehrwertsteuer- satz	14 %	15 %	16 %	16 %	16 %	16 %	16 %	19 %
„Kohlepennig“	8 %	9 %	-	-	-	-	-	-

MWV (2013).

Die sukzessive Erhöhung der Energiesteuer führte einerseits zu einem beinahe durchgehenden Anstieg der Verbraucherpreise (Matthes und Ziesing 2005: 52). Andererseits können drastische Ausschläge des Weltmarktpreises für Rohöl durch einen hohen Steueranteil gedämpft werden: Bei einem Steueranteil von etwa 40 % führt eine Verdopplung des Rohölpreises im Allgemeinen nicht zu einer Verdopplung der Verbraucherpreise für Mineralölprodukte, sondern zu einem vermutlich geringeren Anstieg.

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. Seitdem beträgt die Stromsteuer unverändert 2,05 Cent je Kilowattstunde (Tabelle B.6). Vor Einführung der Stromsteuer musste bis einschließlich 1995 eine Ausgleichsabgabe auf Strom bezahlt werden, die unter dem Namen „Kohlepennig“ bekannt ist. Der Kohlepennig stellte eine prozentuale Abgabe der Stromverbraucher auf den Strompreis dar, mit dessen

Hilfe der deutsche Steinkohlenbergbau subventioniert wurde. Der Kohlepfennig wurde im Oktober 1994 für verfassungswidrig erklärt und daraufhin abgeschafft.

Tabelle B.7
Nominale Verbraucherpreise für Erdgas und Strom
1990 bis 2012; in ct/kWh

	1990	2000	2005	2009	2010	2011	2012	Mittel
Erdgas (Haushalte)	4,0	3,9	5,3	7,0	6,4	6,7	7,0	4,9
seit 2000	-	-	35,9 %	79,5 %	64,1 %	71,8 %	79,5 %	
Strom (Haushalte)	12,8	14,9	18,2	22,7	23,4	25,1	25,8	18,1
seit 2000	-	-	22,1 %	52,3 %	57,0 %	68,5 %	73,2 %	
Strom (In- dustrie)	7,0	4,4	6,8	10,0	9,7	10,5	-	7,0
seit 2000	-	-	54,5 %	127,3 %	120,5 %	138,6 %	-	

Ohne Mehrwertsteuer. Wie allgemein üblich erfolgen Preisangaben zum unteren Heizwert. MWV (2010), BMWi (2013).

Trotz Einführung der Stromsteuer lagen die nominalen Strompreise für die Industrie bis 2005 sogar niedriger als 1990 (Tabelle B.7). Der entscheidende 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 geführt hat und somit Wettbewerb unter den Energieversorgern einführte.

Die verschiedenen Endverbrauchergruppen haben von der Liberalisierung 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 (RWI 2007). 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 kontinuierlich an. Der Haushaltsstrompreis lag mit 25,8 Cent pro Kilowattstunde (kWh) im Jahr 2012 um rund 73 % höher als im Jahr 2000.

Real bzw. inflationsbereinigt betrachtet sind die Preisanstiege seit 2000 moderater ausgefallen. So betrug der reale Strompreisanstieg bei Haushalten zwischen 2000 und 2012 lediglich rund 43 %, wohingegen die Strompreise nominal um etwa 73 % gestiegen sind (Tabelle B.7/B.8). Dennoch ist festzuhalten, dass sich Strom und Erdgas seit der Jahrtausendwende deutlich stärker verteuert haben als die

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

durchschnittlichen Lebenshaltungskosten. Im Vergleich zu 1990 lagen die realen Strompreise für Haushalte 2012 etwa 5 Cent höher.

Tabelle B.8
Reale Verbraucherpreise für Erdgas und Strom
1990 bis 2012; 2000=100; in ct/kWh

	1990	2000	2005	2009	2010	2011	2012	Mittel
Erdgas (Haushalte)	3,3	3,9	5,0	6,1	5,5	5,6	5,8	5,3
Seit 2000 in %	-	-	25,8	56,4	41,0	43,6	48,7	
Strom (Haushalte)	16,2	15,1	16,9	19,4	20,1	21,1	21,3	19,0
seit 2000 in %	-	-	13,2	32,2	34,2	41,6	43,0	
Strom (Industrie) ¹	8,8	4,4	6,3	8,7	8,3	8,8	-	7,3
seit 2000 in %	-	-	43,2	97,7	88,6	100,0	-	

Preisangaben erfolgen zum unteren Heizwert. MWV (2013), BMWi (2013).

Im Gegensatz zu den Strompreisen stiegen die Verbraucherpreise für Heizöl zwischen 2000 und 2012 sehr kräftig an: Schweres Heizöl verteuerte sich bis 2012 um rund 216 %, leichtes Heizöl um etwa 88 % (Tabelle B.9). In Preisen von 2000 war leichtes Heizöl im Jahr 2012 um rund 78 % teurer als noch zur Jahrtausendwende (Tabelle B.10).

Tabelle B.9
Nominale Verbraucherpreise für Heizöl
1990 bis 2012

	1990	2000	2005	2009	2010	2011	2012	Mittel
Schweres Heizöl (€/t)	120,7	174,7	231,5	291,1	378,1	496,3	551,3	206,7
seit 2000, in %	-	-	32,5	66,6	116,4	184,1	215,6	
Leichtes Heizöl (ct/l)	25,0	40,8	53,2	53,0	65,5	81,0	88,1	42,2
seit 2000, in %	-	-	30,4	49,1	60,5	98,5	115,9	

Preisangaben erfolgen zum Unteren Heizwert. MWV (2013), BMWi (2013).

Tabelle B.10
Reale Verbraucherpreise für Heizöl
 1990 bis 2012; 2000=100

	1990	2000	2005	2009	2010	2011	2012
Schweres Heizöl (€/t)	152,9	174,7	214,6	252,2	323,9	416,8	454,1
seit 2000, in %	-	-	22,8	44,2	85,4	138,6	159,9
Leichtes Heizöl (ct/l)	31,6	40,8	49,3	46,0	55,7	68,0	72,6
seit 2000, in %	-	-	20,8	12,5	37,5	66,7	77,9

Preisangaben erfolgen zum Unteren Heizwert. MWV (2013), BMWi (2013).

C. Datengrundlagen

Der Berichtszeitraum des vorliegenden Monitoringberichtes sind die Jahre 2011 und 2012. 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 CO₂-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 CO₂-Emissionen werden die Energieäquivalente der Brennstoffe mittels der in Tabelle C.1 aufgeführten CO₂-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 CO₂-neutral behandelt.

Eine spezielle Problematik stellt sich bei der Bilanzierung der CO₂-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 CO₂-Minderungen bei der Umwandlung, beispielsweise durch Effizienzsteigerungen oder Wandel im Brennstoffmix, sowohl den Kraftwerksbetreibern als auch den Verbrauchern gutgeschrieben werden, wurde der CO₂-Emissionsfaktor von Strom als intertemporal konstant festgelegt. Der Wert beträgt 0,67 t CO₂/MWh und entspricht dem CO₂-Emissionsfaktor von Strom aus der öffentlichen Stromerzeugung für das Basisjahr 1990.

Unter Berücksichtigung des verwendeten Brennwertes für Strom von 10,434 GJ/MWh lässt sich ein CO₂-Faktor auf Basis der Energieeinheit GJ errechnen.

Dividiert man 0,67 t CO₂/MWh durch den Brennwert 10,434 GJ/MWh, so lautet der resultierende CO₂-Faktor 0,0642 t CO₂/GJ.

Tabelle C.1
CO₂-Emissionsfaktoren im Monitoring
in t CO₂/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 Bundesamtes 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.

Aufgrund der Umstellung des Klassifikationssystems durch das Statistische Bundesamt 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.

Bis 2002 hat das Statistische Bundesamt den Verbrauch von ausgewählten Brennstoffen sowie von Strom in der Fachserie 4, Reihe 4.1.1 veröffentlicht. Die entspre-

chenden Daten wurden im Rahmen der monatlichen Produktionserhebung¹⁶ erhoben. Ab dem Berichtsjahr 2003 wurde die Datenerhebung auf eine eigenständige Jahresehebung umgestellt. Hierdurch wurde eine stärkere inhaltliche Differenzierung der erhobenen Merkmale erreicht (StaBuA 2007: 4). Die Ergebnisse der neuen Energieverwendungserhebung werden nicht mehr im Rahmen der Reihe 4.1.1, sondern als eigenständige 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 fehlerhaften 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.

Die Energieverwendungsdaten des Statistischen Bundesamtes sind derzeit mit einer zeitlichen Verzögerung von mindestens 15 Monaten verfügbar. Wegen der zeitnäheren Berichterstattung, die mit dem aktuellen Bericht umgesetzt wird, sind nun auch diejenigen Verbände, deren Angaben zum Energieverbrauch bislang auf den amtlichen Daten beruhten, dazu übergegangen, den Energieverbrauch direkt bei den Mitgliedsunternehmen zu erheben und gegebenenfalls auf die gesamte Branche in Deutschland hochzurechnen. Eine Plausibilitätsprüfung dieser Erhebungsdaten war nur anhand der Angaben zu den bisherigen Monitoringberichten möglich.

¹⁶ *Monatsberichte für Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden.*

Neben dem Energieverbrauch des Produzierenden Gewerbes werden in der *Fachserie 4, Reihe 4.1.1* Angaben zur Beschäftigung, zur Anzahl der Betriebe sowie zum Umsatz gemacht. Die *Fachserie 4, Reihe 3.1*, 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.

Infolge des Inkrafttretens des Artikels 10 des Ersten Gesetzes zum Abbau bürokratischer Hemmnisse insbesondere in der mittelständischen Wirtschaft vom 22. August 2006 (Deutscher Bundestag 2006) hat sich der Berichtskreis für den Monatsbericht im Verarbeitenden Gewerbe geändert, der die Grundlage für die Veröffentlichungen in der *Fachserie 4, Reihe 4.1.1* bildet. Wurden zuvor alle Betriebe von Unternehmen mit mindestens 20 tätigen Personen erfasst, sind ab Januar 2007 nur noch Betriebe mit mindestens 50 Beschäftigten berücksichtigt (StaBuA/FS4/R4.1.1 2008: 5). Durch diese Umstellung hat es in den Zeitreihen für die Zahl der Betriebe, der Beschäftigten und des Umsatzes einen mehr oder minder deutlichen Bruch gegeben. Diese Brüche konnten auch durch andere Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes, die weiterhin auf den Berichtskreis „20+“ basieren, nicht behoben werden¹⁷. Ab 2007 sind die entsprechenden Angaben daher mit früheren nur eingeschränkt vergleichbar.

Zur Umrechnung des Brennstoffverbrauchs in Energieeinheiten werden die Heizwerte des Statistischen Bundesamtes, *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/FS4/R4.1.1 1995). *Gasförmige Brennstoffe* werden seitens des Statistischen Bundesamtes standardisiert in Form von Normkubikmetern (Nm³) mit einem oberen Heizwert¹⁸ von 35,16912 MJ/Nm³ behandelt. Seit 1995 werden Gase in der *Fachse-*

¹⁷ Hierzu zählt der *Jahresbericht für Betriebe*, der als jährlich erscheinende Arbeitsunterlage auf Anfrage zur Verfügung gestellt wird.

¹⁸ Heute werden die Begriffe „Brennwert“ für den oberen Heizwert und „Heizwert“ für den unteren Heizwert verwendet.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

rie 4, Reihe 4.1.1, in Kilowattstunden ausgewiesen. Auch diese Angaben erfolgen zum oberen Heizwert. Im Rahmen des Monitoring werden alle gasförmigen Brennstoffe außer Flüssiggas mit einem unteren Heizwert von 31,736 MJ/Nm³ bzw. 3,249 MJ/kWh bewertet.

Die allgemeine Elektrizitätswirtschaft wird vom Statistischen Bundesamt gesondert behandelt. Monatlich werden für diesen Sektor die „*Ausgewählten Zahlen zur Energiewirtschaft*“ in der Fachserie 4, Reihe 6.5 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 Bundesamtes in der Fachserie 4, Reihe 6.4, nationale Stromerzeugungsmengen, der Stromaußenhandel sowie der Stromverbrauch werden von der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen* auf Jahresbasis publiziert. Ausgewählte Leistungsdaten der Energiewirtschaft werden der *Statistik der Energiewirtschaft* des Verbandes der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. entnommen.

Der Brennstoffverbrauch der *Eisenschaffenden Industrie* kann der Eisen- und Stahlstatistik des Statistischen Bundesamtes entnommen werden. Die für diesen Wirtschaftszweig bedeutsamen Gase – Hochofengas, Kokereigas, Erdgas und Konvertergas – werden ebenso wie Erdgas auf den oberen Heizwert 35,16912 MJ/Nm³ standardisiert und in Normkubikmetern publiziert (BGS 1984).

Die für die einzelnen Sektoren geschilderten CO₂-Minderungsmaßnahmen entstammen grundsätzlich den jeweiligen Fortschrittsberichten für die Berichtsperiode, denn es ist Aufgabe der beteiligten Industrieverbände, ihre CO₂-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/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/> eingesehen werden.

Literatur

AGEB (2010), Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. Internet: <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=5>, abgerufen: 06.06.2013.

AGEB (2012), Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2011. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Internet: <http://www.ag-energiebilanzen.de>, Abrufdatum: 11.06.2013.

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.

ARGE (2010), Arbeitsmarkt in Zahlen – Kurzarbeit (KUG) nach dem SGB III, Statistik der Bundesagentur für Arbeit, Nürnberg, Internet: <http://statistik.arbeitsagentur.de>, Abrufdatum: 31.03.2010.

Baupraxis (2005), Die Ziegelherstellung – Von der Rohstoffgewinnung bis zum Mauerziegel. Las Palmas: LanzaRed S.L. Marketing, Internet: <http://www.bau-praxis.de/magazin/bauoekologie/ziegelproduktion1.html>, 25.07.2005.

BDEW (2009), Bericht für das Jahr 2008 des BDEW zur Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Teilbericht 1 zu: Erklärung des VDEW zum Klimaschutz vom 10. März 1995/27. März 1996. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft.

BDEW (2011), Bericht für das Jahr 2010 des BDEW zur Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Teilbericht 1 zu: Erklärung des VDEW zum Klimaschutz vom 10. März 1995/27. März 1996. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft.

BDEW (2013), Bericht für die Jahre 2011 und 2012 des BDEW zur Verifikation der Vereinbarungen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Teilbericht 1 zu: Erklärung des VDEW zum Klimaschutz vom 10. März 1995/27. März 1996. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft.

BDI (2000), Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Berlin: Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.

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.), Düsseldorf: Eisen- und Stahlstatistik.

BGS (2011), Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Preß und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokereien): Jahr 2010, Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Bonn: Eisen- und Stahlstatistik.

BGW (2001): Klimaschutz des deutschen Gasfachs 1990 – 2012. Berlin: Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft.

BMU (2011a), Energiewende beschleunigen, Internet: <http://www.bmu.de/moratorium/doc/47259.php>, Abruf: 17.05.2011.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

- BMU (2011b), Beschlüsse des Bundeskabinetts zur Energiewende vom 6. Juni 2011, Internet: <http://www.bmu.de/energiewende/doc/47467.php>, Abruf: 16.06.2011.
- BMWi (2010), Zahlen und Fakten: Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Stand: 05.2010. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Internet: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html>, Abruf: 30.08.2011.
- BMWi (2011), Zahlen und Fakten: Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Internet: <http://www.bmwi.de>, Abrufdatum: 30.08.2011.
- BMWi (2013), Zahlen und Fakten: Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Internet: www.bmwi.de, Abrufdatum: 23.09.2013.
- BP (2011), BP Statistical Review of World Energy 2011. London: BP p.l.c., Internet: www.bp.com/statisticalreview, Abrufdatum: 30.08.2011.
- BP (2013), BP Statistical Review of World Energy 2013. London: BP p.l.c., Internet: www.bp.com/statisticalreview, Abrufdatum: 23.09.2013.
- Buttermann, H.G., und B. Hillebrand (2002), Die Klimaschutzklärung der deutschen Industrie vom März 1996 - eine abschließende Bilanz. Monitoring-Bericht 2000. Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Institutes für Wirtschaftsforschung, Heft 40. Essen: RWI.
- BV Glas (2004a), Jahresbericht 2003, Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V., Internet: www.bvglas.de/presse/publikationen/jahresberichte, Abrufdatum: 04.07.2005.
- BV Glas (2004b), GlasNews, Ausgabe 1. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V., Internet: www.bvglas.de/presse/publikationen/glasnews, Abrufdatum: 04.07.2005.
- BV Glas (2013), Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Glasindustrie. Besondere Maßnahmen im Jahre 2011 und 2012. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V.
- BV-Kalk (2005), Fortschrittsbericht des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie. Köln.
- BV-Kalk (2008a), Weiterentwicklung der Selbstverpflichtungserklärung der Kalkindustrie zur Klimavorsorge bis zum Jahre 2012. Köln.
- BV-Kalk (2013), Besondere Anstrengungen der Kalkindustrie im Rahmen der CO₂-Monitoring Berichterstattung, April 2013. Köln.
- Deutsche Bundesbank (2013), Euro-Referenzkurs der EZB. Frankfurt am Main: Deutsche Bundesbank. Internet: <http://www.bundesbank.de>, Abrufdatum: 23.09.2013.
- DSK (2005), Lexikon. Deutsche Steinkohle AG, Internet: www.deutsche-steinkohle.de/lexikon.php?letter=aid=30&id=30.
- Energiewelten (2005), Steinkohlenbergwerk. Frankfurt am Main: Fachverband für Energie-Marketing und -Anwendung (HEA) e.V. beim VDEW, Internet: <http://www.energiewelten.de/lexikon/lexikon/index3.htm>, Abrufdatum: 25.07.2005.
- EU (2001), Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt, Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001, Brüssel.

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. Brüssel: Europäische Kommission, Internet: www.eur-lex.europa.eu/de/index.html, Abrufdatum: 12.03.2007.

EU (2002), Fortführung der ökologischen Steuerreform nach dem 31. März 2002. Staatliche Beihilfe – N44/2001 Deutschland. Brüssel: Europäische Kommission, Internet: http://europa.eu.int/comm/secretariat_general/sgb/state_aids/comp-2001/n449_01.pdf.

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.Brüssel: Europäische Kommission, Internet: www.eurlex.europa.eu/de/index.html, Abrufdatum: 05.05.2008.

EU (2009), Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und Änderung und anschließende Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009, Brüssel.

Feuerfest (2000), Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Aktualisierte Erklärung für 2000 über die Selbstverpflichtung zur Einsparung von CO₂ bis 2012. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Feuerfest (2005), *Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Fortschrittsbericht für die Jahre 2000 - 2003*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Feuerfest (2008), *Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Fortschrittsbericht für die Jahre 2005 - 2007*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Feuerfest (2009a), *Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Fortschrittsbericht 2008*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Feuerfest (2010a), *Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Fortschrittsbericht 2009*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Feuerfest (2010b), *Geschäftsbericht 2009 (Auszug)*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Feuerfest (2013a), *Energieeinsatz und Klimavorsorge in der Feuerfest-Industrie. Fortschrittsbericht für 2011 und 2012*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Feuerfest (2013b), *Geschäftsbericht 2011 und 2012 (Auszug)*. Bonn: Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V.

Fliesenverband (2000), Weiterentwicklung der Selbstverpflichtung zum Klimaschutz. Selb: Industrieverband Keramische Fliesen und Platten e.V.

Fliesenverband (2009), CO₂-Monitoring: Fortschrittsbericht 2008. Selb: Industrieverband Keramische Fliesen und Platten e.V.

Fliesenverband (2013), CO₂-Monitoring: Fortschrittsbericht 2011 und 2012. Selb: Industrieverband Keramische Fliesen und Platten e.V.

Landsberg, D. Freiherr von (2004), Auswirkungen des Emissionshandels auf die deutsche Kalkindustrie. *Zement-Kalk-Gips International* 57 (7).

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Gagelmann, F. und M. Frondel (2005), The Impact of Emissions Trading on Innovation - Science Fiction or Reality? European Environment, Vol. 15, pp. 203-211.

Gesamtverband textil+mode (2006), Zahlen zur Textil- und Bekleidungsindustrie, im Terminkalender stets zur Hand. Eschborn: Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e.V., Internet: www.textil-online.de/deutsch/Publikationen/Broschueren/K145.htm, Abrufdatum: 19.03.2007.

Gesamtverband textil+mode (2007), Fortschrittsbericht im Rahmen der Klimaschutzklärung: Erfolgreiche Energieeinsparmaßnahmen der Textilindustrie 2003 und 2004. Eschborn: Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e.V.

Gesamtverband textil+mode (2008), Erneuerte Selbstverpflichtungserklärung der Textilindustrie zum Schutz des Weltklimas. Eschborn: Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e.V.

Gesamtverband textil+mode (2013), Fortschrittsbericht im Rahmen der Klimaschutzklärung: Erfolgreiche Energieeinsparmaßnahmen der Textilindustrie 2011 und 2012. Eschborn: Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie e.V.

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: Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus e.V.

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 und 2002 vom 11. Februar 2005. Essen: Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus e.V.

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: Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus e.V.

GVSt (2008), 3. 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 2005 und 2007 vom 18. April 2008. Essen: Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus e.V.

GVSt (2009a), 4. 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 dem Jahr 2008 vom 5. Mai 2009. Essen: Gesamtverband Steinkohle.

GVSt (2009b), Ergänzung zum 4. Fortschrittsbericht des GVSt zum Klimavorsorge-Monitoring vom 9. Juni 2009. Essen: Gesamtverband Steinkohle.

GVSt (2010), 5. Fortschrittsbericht zur Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Industrie zur Klimavorsorge vom 9. November 2000. Erklärung des Gesamtverbandes Steinkohle zu dem Jahr 2009 vom 28. April 2010. Essen: Gesamtverband Steinkohle.

GVSt (2011), 6. Fortschrittsbericht zur Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Industrie zur Klimavorsorge vom 9. November 2000. Erklärung des Gesamtverbandes Steinkohle zu dem Jahr 2010 vom 2. Mai 2011. Essen: Gesamtverband Steinkohle.

GVSt (2013), 7. Fortschrittsbericht zur Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Industrie zur Klimavorsorge vom 9. November 2000. Erklärung des Gesamtverbandes Steinkohle zu den Jahren 2011 und 2012 vom 15. Mai 2013. Essen: Gesamtverband Steinkohle.

Hatzl, T. und P.L. Gehlken (2001), Mineralische Rohstoffe in der Ziegelindustrie - Wichtige Parameter in der täglichen Praxis des Geowissenschaftlers (Teil 1). *Ziegelindustrie International ZI*, Vol. 54 (11): 23-32.

Hillebrand, B., H.G. Buttermann und A. Oberheitmann (1997), CO₂-Monitoring der deutschen Industrie – ökologische und ökonomische Verifikation, Band 1. Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 23/1. Essen: RWI.

Holcim (2004), Kleine Zementgeschichte, Version 1.2. Holcim (Schweiz) AG, Communications (Hrsg.), Zürich.

IEA (2004), Renewables Information. Paris: International Energy Agency. Internet: www.iea.com, Abrufdatum: 21.07.2008.

IGBCE (2003), Chemie und Energie. Multis im Glasgeschäft: Grenzenlos aktiv. Hannover: Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie.

IISI (2011), Steel Statistical Yearbook 2010. Brüssel: International Iron and Steel Institute, Internet: <http://www.worldsteel.org>, Abrufdatum: 31. März 2010.

IPPC (2001), Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries, European Commission, Brüssel.

K+S (2005a), Klimaschutzklärung der Kaliindustrie - Fortschrittsbericht 2004. Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

K+S (2008a), Klimaschutzklärung der Kaliindustrie - Fortschrittsbericht 2005-2007. Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

K+S (2008b), Finanzbericht 2007. Kassel: K+S Aktiengesellschaft, Internet: www.k-plus-s.com, Abrufdatum: 17.07.2008.

K+S (2009a), Klimaschutzklärung der Kaliindustrie - Fortschrittsbericht 2008. Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

K+S (2009b), Unternehmens- und Nachhaltigkeitsbericht 2008. Kassel: K+S Aktiengesellschaft, Internet: www.k-plus-s.com, Abrufdatum: 23.03.2009.

K+S (2010), Klimaschutzklärung der Kaliindustrie - Fortschrittsbericht 2009. Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

K+S (2011a), Klimaschutzklärung der Kaliindustrie - Fortschrittsbericht 2010. Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

K+S (2011b), Unternehmens- und Nachhaltigkeitsbericht 2010. Kassel: K+S Aktiengesellschaft, Internet: www.k-plus-s.com, Abrufdatum: 08.07.2011.

K+S (2013), Zusatzinformationen zur Klimaschutzklärung 2012. Kassel: K+S Aktiengesellschaft.

Kerkhoff, H. J. (2009), Perspektiven in bewegten Zeiten - Zur Lage der Stahlindustrie, Vortrag auf der Handelsblatt-Jahrestagung „Stahlmarkt 2009“ am 4. März 2009 in Düsseldorf. Internet: http://www.stahlonline.de/wirtschaft_und_politik/wirtschaft_und_konjunktur/start.asp, Abrufdatum 20. April 2009.

Kohlenstatistik (2008), Entwicklung ausgewählter Energiepreise. Essen : Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., Internet: www.kohlenstatistik.de.

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.

Löbke, 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 Rheinisch-Westfälischen Institutes für Wirtschaftsforschung, Heft 38. Essen: RWI.

Lohmann (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.

Mathes, F.Ch. und H.-J. Ziesing (2005), Sicherheit der Rohstoffversorgung – eine politische Herausforderung?! Kurzstudie für die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen. Berlin.

Meyer, A. (2001), Produktbezogene ökologische Wettbewerbsstrategien. Handlungsoptionen und Herausforderungen für die Textilbranche. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

Meyer, J., M. Sturm, A. Trautmann, M. Kruska, P. Weber, N. Elsasser und T. Mac (2000), Branchen-Energiekonzept zur Senkung der Energiekosten in der Textilindustrie – Teil II. *Melliand Textilberichte* 81: 532-535.

MWV (2001a), Zweite Klimaschutzklärung der deutschen Mineralölwirtschaft für den Wärmemarkt. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

MWV (2001b), Klimaschutzklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

MWV (2004), Sechster Fortschrittsbericht der deutschen Mineralölwirtschaft zur Klimaschutzklärung für den Wärmemarkt. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

MWV (2007), Vierter Fortschrittsbericht zur Klimaschutzklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

MWV (2008), Siebter Fortschrittsbericht der deutschen Mineralölwirtschaft zur Klimaschutzklärung für den Wärmemarkt. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

MWV (2010), Jahresbericht Mineralölzahlen 2010. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband. Internet: www.mwv.de, Abrufdatum: 30.08.2011.

MWV (2011c), Zehnter Fortschrittsbericht der deutschen Mineralölwirtschaft zur Klimaschutzerklärung für den Wärmemarkt. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

MWV (2013), Statistiken/Preise. Rohölpreisentwicklung 1960-2012. Internet: www.mwv.de/index.php/daten/statistikenpreise, abgerufen am 23.09.2013.

MWV (2013a), Jahresbericht Mineralöl in Zahlen 2012. Berlin: Mineralölwirtschaftsverband e.V., Internet: www.mwv.de/index.php/service/publikationen, Abrufdatum: 29.07.2013.

MWV (2013b), Elfter Fortschrittsbericht zur Klimaschutzerklärung der deutschen Mineralölindustrie für die Raffinerien. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

MWV (2013c), Zwölfter Fortschrittsbericht der deutschen Mineralölwirtschaft zur Klimaschutzerklärung für den Wärmemarkt. Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband e.V.

OECD (2001), CO₂-Emissions from Fuel Combustion, 1971-1999. IEA - International Energy Agency. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

RAG (2003), Geschäftsbericht 2002. Essen: Ruhrkohle AG, Internet: 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.

Routschka, G. (2001), *Taschenbuch Feuerfeste Werkstoffe*, 3. Auflage. Essen: Vulkan Verlag.

RWI (2005), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringbericht 2000 bis 2002. RWI-Projektberichte. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung. Internet: <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/>.

RWI (2007), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringbericht 2003-2004. RWI-Projektberichte. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Internet: <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/>.

RWI (2008), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringbericht 2005-2007. RWI-Projektberichte. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Internet: <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/>.

RWI (2009), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringbericht 2008. RWI-Projektberichte. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Internet: <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/>.

RWI (2010), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringbericht 2009. RWI-Projektberichte. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Internet: <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/>.

RWI (2011), Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringbericht 2010. RWI-Projektberichte. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Internet: <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/>.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

RWI (2012), Monitoring der Kraft-Wärme-Kopplungs-Vereinbarung: Berichtsjahr 2010. Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung der Klimavereinbarung vom 9.11.2000. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung. Internet: <http://www.rwi-essen.de/forschung-und-beratung/umwelt-und-ressourcen/projekte/co2-monitoring/>.

RWI und WSF (2009), Erweiterte Erfolgskontrolle bei Programmen zur Förderung der IGF im Zeitraum 2005-2009. Siebter Zwischenbericht: Die Rolle der IGF im Forschungsfeld Textil. RWI Projektbericht. Essen: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung und WSF Wirtschafts- und Sozialforschung.

Schmitz (2005), Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs 2002/2003. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2006), Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs 2004/ 2005. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2009), Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs 2007/ 2008. Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2010a), Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs 2008/ 2009. Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2010b), Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs 2008/ 2009. Bilder mit Zahlen. Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr. Gerhard Schmitz. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2011a), Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs. Berichtsjahre 2009/2010. Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2011b), Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs. Berichtsjahre 2009/2010. Bilder mit Zahlen. Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2013a), Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs. Berichtsjahre 2011/2012. Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

Schmitz (2013b), Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzklärung des deutschen Gasfachs. Berichtsjahre 2011/2012. Bilder mit Zahlen. Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz. Hamburg: Technische Universität Hamburg-Harburg.

StaBuA (1991), Statistisches Jahrbuch für das vereinte Deutschland. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA (2007), Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Qualitätsbericht. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA (2007a), Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008). Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Internet: <http://www.destatis.de>, Abrufdatum: 31. März 2010.

StaBuA (2009), Indizes der Produktion und der Arbeitsproduktivität im Produzierenden Gewerbe. Dezember 2008. Fachserie 4 "Produzierendes Gewerbe", Reihe 2.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA (verschiedene Jahrgänge), Monatsbericht über die Elektrizitätsversorgung (066). Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS17 (2013), Verbraucherpreisindizes für Deutschland. Lange Reihen ab 1948. Fachserie 17: Preise. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Internet: www.destatis.de, Abrufdatum: 30.08.2011.

StaBuA/FS4/R2.1 (verschiedene Jahrgänge), Indizes der Produktion und der Arbeitsproduktivität im Produzierenden Gewerbe. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 2.1, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R3.1 (verschiedene Jahrgänge), Produktion im Produzierenden Gewerbe. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 3.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R4.1.1 (verschiedene Jahrgänge ab 2003), Beschäftigung und Umsatz der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 4.1.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R4.1.1 (verschiedene Jahrgänge bis 2002), Beschäftigung, Umsatz und Energieversorgung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 4.1.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R6.1 (verschiedene Jahrgänge), Beschäftigung, Umsatz, Investitionen und Kostenstruktur der Unternehmen in der Energieversorgung, Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung, Beseitigung von Umweltverschmutzungen. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 6.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R6.4 (verschiedene Jahrgänge), Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 6.4. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R6.5 (verschiedene Jahrgänge), Produzierendes Gewerbe. Ausgewählte Zahlen zur Energiewirtschaft. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 6.5. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS4/R8.1 (2010), Eisen und Stahl. Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe, Reihe 8.1. Dezember 2009 Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/FS5/R1 (verschiedene Jahrgänge), Bautätigkeit. Fachserie 5 "Bauen und Wohnen", Reihe 1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

StaBuA/VGR (verschiedene Jahrgänge), Inlandsproduktberechnung. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Reihe 1.4. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

Stahl-Zentrum (2001), Erweiterte Selbstverpflichtung der Stahlindustrie zur Klimavorsorge bis 2012 im Rahmen der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom 9. November 2000, Wirtschaftsvereinigung Stahl und Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf. Internet: <http://www.rwi-essen.de/co2monitoring>.

Stahl-Zentrum (2009), 8. CO₂-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie in Deutschland – Berichtsjahr 2008. Düsseldorf: Stahlinstitut VDEh im Stahlzentrum, Internet: <http://www.rwi-essen.de/co2monitoring>.

Stahl-Zentrum (2009), Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2009/2010. Wirtschaftsvereinigung Stahl und Stahlinstitut VDEh (Hrsg.), Düsseldorf: Verlag Stahleisen.

Stahl-Zentrum (2010), 9. CO₂-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie in Deutschland – Berichtsjahr 2009. Düsseldorf: Stahlinstitut VDEh im Stahlzentrum, Internet: <http://www.rwi-essen.de/co2monitoring>.

Steimle und Schikora (2003), Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Prof. Dr. Fritz. Steimle, Dr. Ing. Holger Schikora, Plausibilitätsprüfung zur Klimaschutzzerklärung des deutschen Gasfachs. Essen: Universität-Gesamthochschule.

Taube, K. (1998), Stahlerzeugung Kompakt. Braunschweig: Vieweg Verlag..

UBA (2008), Nationaler Inventarbericht 2008, Dessau: Umweltbundesamt.

UBA (2011), Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990. Emissionsentwicklung 1990 – 2009. Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm>, Abruf: 17.05.2011.

VCI (2013b), Dokumentation energiesparender bzw. emissionsmindernder Maßnahmen der chemischen Industrie 2013. Frankfurt: Verband der Chemischen Industrie e.V.

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 CO₂-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, Teilbericht 1: Erklärung des VDEW zum Klimaschutz vom 10. März 1995/27. März 1996. Berlin: Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.

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 CO₂-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, Teilberichte 1 und 2. Berlin: Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.

VDN (2007), Selbstverpflichtung zum SF₆-Einsatz. Berlin: Verband der Netzbetreiber e.V., Internet: http://www.vdn-berlin.de/akt_sf6_2005_06_20.asp, Abrufdatum: 05.07.2007.

VDP (2000), Erklärung der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie zur Reduzierung des spezifischen Kohlendioxidausstoßes aus fossilen Energieträgern (Aktualisierung 2000), Bonn: Verein Deutscher Papierfabriken e.V.

VDP (2011), Papier 2011 - Ein Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V., März 2011.

VDP (2013), Kennzahlen deutscher Zellstoff- und Papierfabriken. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Internet: <http://www.vdp-online.de/de/papierindustrie/statistik.html>, abgerufen: 01.08.2013.

VDP (2013a), Monitoring-Bericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie zur Reduzierung des spezifischen Kohlendioxidausstoßes aus fossilen Energieträgern. Abschlussbericht (2011/2012) der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

VDP (2013b), Energieumfrage 2011. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

VDP (2013c), Energieumfrage 2012. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

VDP (2013d), Papier 2013 - Ein Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

VDZ (2000), Verminderung der CO₂-Emissionen - Beitrag der deutschen Zementindustrie. Fortschrittsbericht des Vereins Deutscher Zementwerke. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e. V.

VDZ (2005), Verminderung der CO₂-Emissionen - Beitrag der deutschen Zementindustrie, Siebte aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge, Monitoring-Bericht 2000-2003. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e.V., 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.

VDZ (2008), Verminderung der CO₂-Emissionen - Beitrag der deutschen Zementindustrie. Achte aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge, Monitoring-Bericht 2004-2007. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e.V.

VDZ (2010), Verminderung der CO₂-Emissionen - Beitrag der deutschen Zementindustrie, Zehnte aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e.V.

VDZ (2013), Verminderung der CO₂-Emissionen. Beitrag der deutschen Zementindustrie. Monitoring-Abschlussbericht 1990-2012. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e.V.

VdZ (2000), Verbändeerklärung des Vereins der Zuckerindustrie zur „Vereinbarung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge“. Berlin: Verein der Zuckerindustrie.

VdZ (2004), Monitoring zur Minderung des CO₂-Ausstoßes in der Zuckerindustrie -5.-7. Verbändebericht für die Jahre 1999/2000 bis 2001/2002. Berlin: Verein der Zuckerindustrie.

VdZ (2008a), Monitoring zur Minderung des CO₂-Ausstoßes in der Zuckerindustrie -10. bis 12. Verbändebericht für die Jahre 2005 bis 2007. Berlin: Verein der Zuckerindustrie, 30. Mai 2008.

VdZ (2008b), Fortschreibung der Verbändeerklärung der Zuckerindustrie vom 19. Dezember 2000 zur „Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge“. Berlin: Verein der Zuckerindustrie, 29. August 2008.

VdZ (2009), Monitoring über die Minderung des CO₂-Ausstoßes in der Zuckerindustrie - 13. Verbändebericht für das Jahr 2008. Berlin: Verein der Zuckerindustrie.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012

VdZ (2010), Monitoring über die Minderung des CO₂-Ausstoßes in der Zuckerindustrie - 14. Verbändebericht für das Jahr 2009. Berlin: Verein der Zuckerindustrie.

VdZ (2011), Monitoring über die Minderung des CO₂-Ausstoßes in der Zuckerindustrie - 15. Verbändebericht für das Jahr 2010. Berlin: Verein der Zuckerindustrie.

VdZ (2013), Monitoring über die Minderung des CO₂-Ausstoßes in der Zuckerindustrie - 16. Und 17. Verbändebericht für 2011 und 2012 (Abschlussbericht). Berlin: Verein der Zuckerindustrie.

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 (2005b), Statistik der Energiewirtschaft, Ausgabe 2005. Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (Hrsg.). Essen: Verlag Energieberatung GmbH.

VIK (2005c), Fortschrittsbericht des VIK zum CO₂-Monitoring im Rahmen der Vereinbarungen zwischen der Bundesregierung und der Deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom November 2000 und zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung für den Zeitraum 2000 bis 2002 vom 19. Mai 2005, Essen: Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.

VIK (2007a), *Statistik der Energiewirtschaft, Ausgabe 2007*, Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (Hrsg.). Essen: Verlag Energieberatung GmbH.

VIK (2008), VIK Monitoringberichte 2005-2007 (Teilberichte für 2005 bis 2007) zur 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. Entwurf, Stand September 2008. Essen: Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.

VIK (2009), VIK Monitoringbericht 2008 (vorläufiger Teilbericht für 2008) zur 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, Entwurf, Stand Juli 2009, Essen: Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V..

VIK (2013), VIK-Monitoringbericht 2011 und 2012 zur Verifizierung 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. Essen: Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.

Wiedmann, K.-P. und M. Langerfeldt (2004), Verschärftes Unbundeling in der deutschen Energiewirtschaft: Teil 1, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol.54 (3):158-165.

WV Stahl (2013), Erzeugung, Beschäftigung und Produktivität in Deutschland, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Internet: http://www.stahl-online.de/Deutsch/Linke_Navigation/Stahl_in_Zahlen/index.php?highmain=4&highsub=0&highsubsub=0.

WV Bergbau (1994), Das Bergbau Handbuch. Wirtschaftsvereinigung Bergbau e.V. (Hrsg.), Essen: Glückauf.

WVZ (2005), Zuckererzeugung. Bonn: Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V., Internet: www.Zuckerwirtschaft.de/3_3_4.html, Abrufdatum: 25.07.2005.

Ziegel (2008), Fortschrittsbericht für die Ziegelindustrie für die Jahre 2005 bis 2007. Bonn: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (zwei PDF-Dateien).

Ziegel (2009), Fortschrittsbericht für die Ziegelindustrie für das Jahr 2008. Bonn: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

Ziegel (2010), Fortschrittsbericht für die Ziegelindustrie für das Jahr 2009. Bonn: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

Ziegel (2011), Fortschrittsbericht für die Ziegelindustrie für das Jahr 2010. Bonn: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

Ziegel (2013a), Fortschrittsbericht für die Ziegelindustrie für 2011 und 2012. Bonn: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

Ziegel (2013b), Energiesparmaßnahmen 2011 und 2012. Bonn: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.

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. Frankfurt am Main: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

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 am Main: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

ZVEI (2009), Monitoringbericht für das Jahr 2008 der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie vom 3. Juni 2009. Frankfurt am Main: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

ZVEI (2010), Monitoringbericht für das Jahr 2009 der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie vom 28. Juni 2010. Frankfurt am Main: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

ZVEI (2013), Ausgewählte Maßnahmen zur CO₂-Minderung. Frankfurt: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

CO₂-Monitoringbericht 2011 und 2012
