



Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Forschungsinstitut der Zementindustrie

Sechste aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge

Monitoring-Bericht 1999

Verminderung der CO₂-Emissionen
Beitrag der deutschen Zementindustrie

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Die weiterentwickelte Selbstverpflichtung der deutschen Zementindustrie.....	6
3	Monitoring 2000	7
4	Energieverbrauch.....	8
4.1	Energieeinsatz bei der Zementherstellung	8
4.2	Energieverbrauch 1999	10
4.2.1	Thermischer Energieverbrauch	10
4.2.2	Elektrischer Energieverbrauch.....	12
5	CO₂-Emissionen.....	14
5.1	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen	14
5.2	Rohstoffbedingte CO ₂ -Emissionen	15
6	Maßnahmen zur Erreichung des Minderungsziels	17
6.1	Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes sowie zur Abwärmenutzung	17
6.2	Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen	20
6.3	Einsatz von Sekundärbrennstoffen	28
6.4	Koordination und Informationstransfer	29
6.5	Forschungsarbeiten.....	30

Anlage: Monitoring-Tabellen

1 Zusammenfassung

Im Laufe des Berichtsjahres 1999 hat die deutsche Wirtschaft durch stete Diskussionen mit dem Umwelt- und dem Wirtschaftsministerium versucht, den Stellenwert ihrer Selbstverpflichtung zum Klimaschutz in der Klimaschutzpolitik der Bundesregierung zu erhöhen. Diese schwierigen Diskussionen waren letztlich im Jahr 2000 von Erfolg gekrönt, als die Bundesregierung in ihrem im Herbst des Jahres 2000 verkündeten Klimaschutzprogramm die Leistungen der deutschen Industrie anerkannt hat. Ausschlaggebend war dafür unter anderem die neu formulierte, im November 2000 unterzeichnete weiterentwickelte „Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge“. Aus Sicht der Industrie ist dabei die Zusage der Bundesregierung von besonderer Bedeutung, die für die beteiligten Industriebranchen formulierten Ermäßigungen bei der Ökosteuer auch in der Zukunft beizubehalten.

Auf internationaler Ebene haben die 5. und 6. Klimavertragsstaatenkonferenz in Bonn und Den Haag keine wesentlichen Fortschritte zur Umsetzung der Beschlüsse von Kyoto gebracht. Insbesondere die ohne schriftliche Vereinbarung beendete Konferenz in Den Haag hat die außerordentlich großen Differenzen zwischen der Europäischen Union auf der einen Seite sowie den USA, Japan und einigen anderen Staaten auf der anderen Seite deutlich gemacht. Dadurch ist die Unsicherheit nach wie vor sehr groß, in wie weit flexible Mechanismen, wie das Emission Trading oder Joint Implementation in der Zukunft genutzt werden können, wenn die Maßnahmen vor Ort weitgehend ausgeschöpft sind. Gerade für energieintensive Branchen, wie die Zementindustrie, ist kritisch zu prüfen, ob überhaupt und in welcher Ausgestaltung solche Ausweichmöglichkeiten in der Zukunft an Bedeutung gewinnen können.

Die in dem vorliegenden Bericht zusammengestellten Daten zum Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen der Zementindustrie im Jahr 1999 basieren auf einer Umfrage des Vereins Deutscher Zementwerke, die im Frühjahr 2000 durchgeführt wurde. Der vorliegende Bericht berücksichtigt die weiterentwickelte Selbstverpflichtung der deutschen Zementindustrie zum Klimaschutz (siehe Kapitel 2). Daher sind neben den Energieverbrauchsdaten auch die aus dem Energieverbrauch sowie aus der Rohstoffumwandlung resultierenden CO₂-Emissionen dargestellt. Andere Treibhausgase spielen bei der Zementherstellung keine Rolle.

Allgemeine Angaben

Zur deutschen Zementindustrie gehörten Ende 1999 38 Unternehmen mit 63 Werken. Im Verein deutscher Zementwerke waren 33 Unternehmen mit 63 Werken organisiert. Die Zahl der Beschäftigten ist im Jahr 1999 mit 11 372 gegenüber dem Vorjahr leicht gesunken. Der Gesamtumsatz stieg geringfügig auf 5,5 Mio. DM. An der aktuellen Umfrage haben sich wie im Vorjahr 33 Unternehmen beteiligt. Damit beträgt die erfasste Zementmenge im Jahr 1999 96,6 % der insgesamt produzierten Menge (zum Vergleich 1998: 96,7 %). Für die nicht erfassten Unternehmen wurden wiederum Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten des VDZ durchgeführt. Der Erfassungsgrad der eingesetzten Brennstoffenergie beträgt dementsprechend 99,3 % des gesamten Brennstoffenergieverbrauchs.

Brennstoffenergieverbrauch

Die deutsche Zementindustrie hat im Jahr 1999 einen spezifischen Brennstoffenergieverbrauch von 2 800 kJ/kg Zement erreicht. Dies bedeutet eine überraschend hohe Verminderung um 105 kJ/kg. Damit hat sie ein Niveau erreicht, das dem Zielwert für das Jahr 2005 entspricht. Da der klinkerbezogene Brennstoffenergieverbrauch gegenüber dem Vorjahr praktisch unverändert blieb, ist die Verminderung auf eine gewollte, dennoch unerwartet deutliche Steigerung des Verkaufs von Zement mit mehreren Hauptbestandteilen zurückzuführen. Der Inlandsversand von Portlandhüttenzementen (CEM II-Zemente mit einem Hüttsandanteil bis zu 35 %) stieg gegenüber dem Vorjahr im Jahr 1999 von 3,4 auf 4,4 Mio. t/a. Auch der Versand von CEM III-Zementen, die nach Norm bis zu 80 % Hüttsand enthalten können, stieg von 4,5 auf 4,7 Mio. t/a. Neben der Verwendung von Hüttsand wurden auch verstärkt Portlandkalksteinzemente hergestellt, die bis zu 20 % Kalkstein enthalten können. Der absolute Brennstoffenergieverbrauch stieg von 100,7 Mio. GJ/a im Jahr 1998 auf 102,3 Mio. GJ/a. Demnach wurde der verringerte spezifische Energieaufwand durch die erhöhte Zementproduktion (36,6 gegenüber 34,7 Mio. t/a) mehr als kompensiert. Für die weitere Entwicklung ist fraglich, ob das erreichte niedrige Niveau gehalten oder gar noch weiter abgesenkt werden kann, da die zur Verfügung stehenden Mengen an Hüttsand begrenzt sind. Da der spezifische Energieverbrauch bei der Zementherstellung somit gewissen Fluktuationen unterworfen ist, ist ein erneuter Anstieg in den nächsten Jahren nicht auszuschließen.

Jahr	Brennstoffenergieverbrauch	
	absolut [10^6 GJ/a]	spezifisch [kJ/kg Zement]
1987	119,9	3 510
1990	109,5	3 200
1994	102,9	3 000
1995	102,8	3 000
1996	97,6	2 995
1997	99,3	2 975
1998	100,7	2 905
1999	102,3	2 800
2005 ¹⁾	--	2 800 ²⁾

1) Zieljahr

2) Im Rahmen der Selbstverpflichtung von der deutschen Zementindustrie prognostizierter Wert im Zieljahr

Elektrischer Energieverbrauch

Der elektrische Energieverbrauch betrug im Jahr 1999 102,0 kWh/t Zement und lag damit um 2,7 kWh/t niedriger als im Vorjahr. Der gesamte elektrische Energieverbrauch stieg allerdings wegen der erhöhten Zementproduktion um 0,1 Mio. MWh/a auf 3,73 MWh/a. Der elektrische Energieverbrauch gewinnt für die Selbstverpflichtung der Zementindustrie zukünftig an Bedeutung, da die daraus resultierenden CO₂-Emissionen in die weiterentwickelte Minderungszusage einbezogen wurden.

CO₂-Emissionen

Die brennstoffbedingten CO₂-Emissionen der Zementindustrie betragen im Jahr 1999 0,199 t CO₂ t/Zement oder 7,26 Mio. t/a. Hierin sind die Emissionen aus dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen nicht berücksichtigt, da sie fossile Brennstoffe vollständig substituieren. Gegenüber dem Vorjahr bedeutet dies eine Verminderung der spezifischen CO₂-Emissionen um 0,02 t CO₂/t Zement. Dieses ist zum einen auf den erhöhten Einsatz von Sekundärbrennstoffen und zum anderen auf den verstärkten Einsatz von anderen Hauptbestandteilen als Klinker zum Zement zurückzuführen. Die durch den Stromverbrauch bedingten CO₂-Emissionen sanken gegenüber dem Vorjahr geringfügig auf 0,068 t CO₂/t Zement (1998: 0,072 t CO₂/t Zement) oder 2,5 Mio. t/a.

Jahr	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen ¹⁾	
	absolut [t CO ₂ /a]	spezifisch [t CO ₂ /t Zement]
1987	13,35	0,392
1990 ²⁾	12,06	0,352
1994	11,19	0,324
1995	11,14	0,325
1996	10,35	0,317
1997	10,02	0,301
1998	10,03	0,288
1999	9,76	0,267

1) ohne Sekundärbrennstoffe

2) Basisjahr der neuen Vereinbarung

Die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen aus der Entsäuerung des Kalksteins hängen vor allem von den Rohstoffrezepturen und den unterschiedlichen produzierten Zementsorten ab. Spezifisch sanken sie von 0,443 t CO₂/t Zement in 1998 auf 0,427 t CO₂/t Zement im Jahr 1999. Die absoluten rohstoffbedingten CO₂-Emissionen betragen damit 15,6 Mio. t/a.

2 Die weiterentwickelte Selbstverpflichtung der deutschen Zementindustrie

Am 09. November 2000 haben die Bundesregierung sowie die Spitzenverbände der deutschen Wirtschaft eine weiterentwickelte Vereinbarung zum Klimaschutz unterzeichnet. Darin verpflichtet sich die deutsche Industrie, ihre CO₂-Emissionen bis 2005 um 28 % sowie die Emissionen der sogenannten sechs Kyoto-Gase bis 2008/2012 um 35 % zu vermindern. Als Gegenleistung verzichtet die Bundesregierung auf zusätzliche ordnungsrechtliche Maßnahmen sowie auf die Einführung eines Energieaudits auf Unternehmensebene. Darüber hinaus sollen auch weiterhin die Anstrengungen der Wirtschaft bei der Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform durch entsprechende Ausnahmeregelungen berücksichtigt werden. Im Falle einer EU-weiten Harmonisierung der Energiebesteuerung wird sich die Bundesregierung für wettbewerbskonforme Lösungen und eine Berücksichtigung der von der deutschen Wirtschaft bislang erbrachten Leistungen einsetzen.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil dieser Vereinbarung war die Aktualisierung der Branchenverpflichtungen, mit denen die Zusage des BDI ausgefüllt werden musste. Die deutsche Zementindustrie hat die Initiative des BDI von Anfang an unterstützt und hat daher nunmehr auch ihre eigene Selbstverpflichtung weiterentwickelt. Unter Einbeziehung der CO₂-Emissionen aus dem Stromverbrauch und unter Anpassung des Verpflichtungszeitraums an den der Chapeauerklärung sagt sie nun eine 28 %ige Minderung ihrer energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen im Zeitraum 1990 bis 2008/2012 zu. Insgesamt, d. h. auch unter der zusätzlichen Berücksichtigung der rohstoffbedingten Anteile, wird sie damit die spezifischen CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung um 16 % bis zum Jahr 2012 reduzieren. Unter der Voraussetzung gleicher Produktionsmengen wie 1990 werden die energiebedingten CO₂-Emissionen der Zementindustrie damit im Jahr 2012 um etwa 3,4 Mio. t/a, einschließlich des CO₂ aus der Entsäuerung der Kalksteins sogar um 4,4 Mio. t/a niedriger sein als im Jahr 1990.

Die Zementindustrie geht in ihrer Zusage davon aus, dass die Emissionen aus dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen wie bisher bei der Berechnung der CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung nicht angerechnet werden. Neben der Erweiterung des Sekundärbrennstoffeinsatzes wird die Zementindustrie ihre Anstrengungen fortsetzen, den Anteil von ungebrannten Hauptbestandteilen im Zement, insbesondere Hüttensand und Kalksteinmehl, zu erhöhen. Als dritte Maßnahme sollen die noch verbleibenden Potentiale der verfahrenstechnischen Optimierung der Ofen- und Mahlanlagen soweit wie möglich ausgenutzt werden, obwohl diese bereits weitgehend ausgeschöpft sind.

3 Monitoring 2000

Im Rahmen der Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft zum Klimaschutz hat sich die deutsche Zementindustrie im März 1995 bereit erklärt, sich an dem vom BDI koordinierten und vom Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) begleiteten Monitoring-System zu beteiligen. Mit der Weiterentwicklung ihrer Selbstverpflichtung hat die deutsche Zementindustrie darüber hinaus bekräftigt, auch bis zum Jahr 2012 die relevanten Daten zum Energieverbrauch und zu den CO₂-Emissionen dem RWI und der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Es ist weiterhin vorgesehen, im jährlichen Rhythmus die thermischen und elektrischen Energieverbräuche sowie die Produktionsdaten zu erheben. Diese werden gemeinsam mit den daraus berechneten CO₂-Emissionen der Zementindustrie in anonymisierter Form dem RWI zur Überprüfung übergeben.

Im Frühjahr 2000 hat der Verein Deutscher Zementwerke die thermischen und elektrischen Energieverbräuche sowie die Produktionsdaten der deutschen Zementindustrie für das Jahr 1999 abgefragt. Von den im Jahr 1999 in Deutschland tätigen 38 (Vorjahr 39) zementherstellenden Unternehmen sind 33 im Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) organisiert. Insgesamt wurden 42 Werke mit Klinkererzeugung (Vorjahr 43) sowie 21 Mahlwerke (Vorjahr 24) betrieben. An der aktuellen Umfrage haben sich wiederum insgesamt 33 Unternehmen beteiligt, davon 32 VDZ-Mitgliedswerke. Damit betrug die durch das Monitoring erfaßte produzierte Zementmenge 96,6 % der gesamten Zementproduktion (Vorjahr: 96,7 %). Die durch das Monitoring erfaßte Brennstoffmenge beträgt sogar 99,3 % des Gesamtverbrauchs (Vorjahr: 98,9 %). Dementsprechend kann auch der Anteil der erfaßten brennstoffbedingten CO₂-Emissionen in ähnlicher Größenordnung angesetzt werden. Für die nicht erfaßten Unternehmen wurden wiederum Schätzungen der Energieverbräuche auf der Basis von Erfahrungswerten des Forschungsinstituts der Zementindustrie durchgeführt. Die Repräsentanz der Daten ist somit wie auch in den Vorjahren als sehr gut anzusehen. Die ausgefüllten Monitoring-Tabellen des RWI sind dem Bericht als Anlage beigefügt.

4 Energieverbrauch

4.1 Energieeinsatz bei der Zementherstellung

Aufgrund des hohen Anteils der Energiekosten an den Herstellkosten von Zement ist die Zementindustrie seit jeher bestrebt, Energie rationell einzusetzen und Brennstoffenergiekosten zu senken, obwohl der Energieanteil des Zements im fertigen Bauwerk sehr gering ist. Die Verringerung des Brennstoffenergieverbrauchs der Zementindustrie in den letzten 45 Jahren ist in aktualisierter Form in der beigefügten Grafik dargestellt (**Bild 1**). Daraus geht hervor, daß der anlagentechnische Wirkungsgrad und damit die Ausnutzung der Brennstoffenergie über 70 % beträgt. Diese Effizienzsteigerung ist das Ergebnis kontinuierlicher Verbesserungen der Verfahrenstechnik, die unabhängig von den Brennstoffkosten durchgeführt werden und eine langfristige Optimierung der Energieeffizienz zur Folge haben.

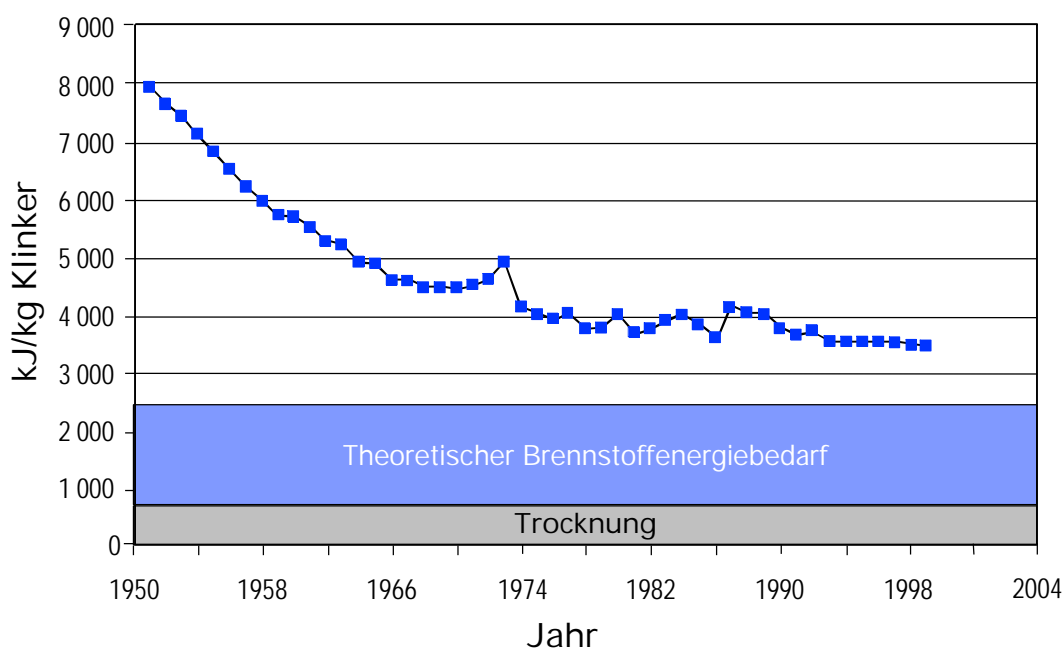


Bild 1: Spezifischer Brennstoffenergieverbrauch
(bis 1986 alte Bundesländer, danach gesamte Bundesrepublik)

Brennstoffenergie wird bei der Zementherstellung im wesentlichen für das Brennen des Zementklinkers aufgewendet. Beim in Deutschland überwiegend angewendeten Trockenverfahren wird das mehlfein aufgemahlene Rohmaterial (im wesentlichen Kalkstein und Ton bzw. deren natürliches Gemisch, der Mergel) im Gegenstrom vom Ofenabgas auf Temperaturen von etwa 850 bis 900 °C vorgewärmt. Das Brennen des Klinkers erfolgt in Drehrohröfen, wo das Brenngut bei Flammentemperaturen von über 2 000 °C auf die notwendige Sinter-

temperatur von 1 400 bis 1 450 °C aufgeheizt wird. Diese hohen Temperaturen sind notwendig, damit sich die für die Zementeigenschaften notwendigen Klinkerphasen bilden können. In einem nachgeschalteten Klinkerkühler wird der fertig gebrannte Zementklinker im Gegenstrom zur Verbrennungsluft abgekühlt. Die so vorgewärmte Luft wird dem Ofen als Verbrennungsluft zugeführt.

Die wesentlichen Abwärmeströme beim Klinkerbrennprozeß sind das Ofenabgas sowie – je nach Anlagentechnik – überschüssige Kühlluft aus dem Klinkerkühler mit einem Temperaturniveau von etwa 250 bis 400 °C. Je nach Feuchte des Rohmaterials dienen sie zu dessen Trocknung oder zur Trocknung von Zuschlagstoffen, wie z. B. Hüttensand. Die verbleibende Abwärme fällt auf einem Temperaturniveau von 80 bis 150 °C an und ist wirtschaftlich nicht mehr verwertbar.

Elektrische Energie wird bei der Zementherstellung vor allem für die Rohmaterialaufbereitung (etwa 35 %), zum Brennen und Kühlen des Klinkers (ca. 22 %) und für die Zementmahlung (ca. 38 %) aufgewendet. Der stetige Anstieg des elektrischen Energieverbrauchs durch höhere Anforderungen an die Produktqualität und an den Umweltschutz konnte zwischenzeitlich gestoppt werden (s. **Bild 2**). So konnte beispielsweise durch effizientere Verfahren zur Zementmahlung der Mehrverbrauch kompensiert werden. Da die Gebrauchseigenschaften der Zemente aus neuartigen Mühlen jedoch nicht ohne weiteres mit denen aus herkömmlichen Kugelmühlen vergleichbar sind, kann das Potential der Energieeinsparung nach wie vor nicht in vollem Umfang genutzt werden.

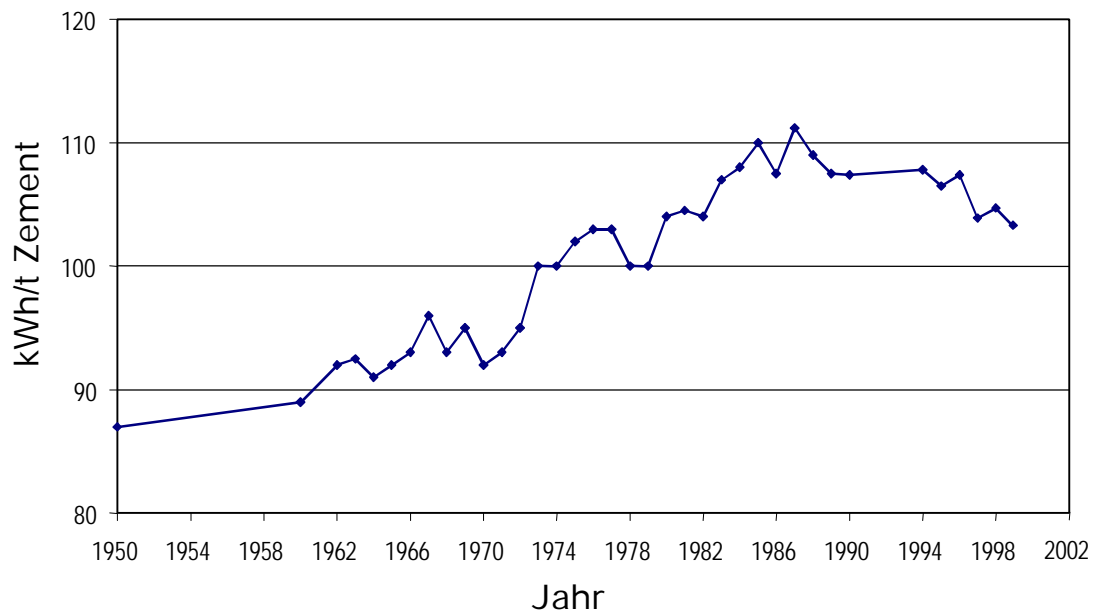


Bild 2: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch
(bis 1986 alte Bundesländer, danach gesamte Bundesrepublik)

4.2 Energieverbrauch 1999

4.2.1 Thermischer Energieverbrauch

Die im Jahr 1999 in der Zementindustrie eingesetzten Brennstoffmengen sind aufgeteilt nach Energieträgern in **Tafel 1** den Verbräuchen der Jahre 1987 bis 1989 gegenübergestellt.

Tafel 1: Brennstoffenergieverbrauch nach Energieträgern

Brennstoff	1987	1990	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]
Steinkohle	48,2	47,5	49,9	43,1	37,9	38,2	32,0	29,4
Braunkohle	56,0	45,8	32,5	33,4	32,1	31,4	33,2	32,1
Petrolkoks	0,8	0,8	1,9	10,0	9,9	9,5	10,2	9,7
Heizöl S	4,5	4,2	5,8	3,3	2,4	2,2	4,5	5,9
Heizöl EL	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
Erdgas und andere Gase	2,4	0,8	0,3	1,1	1,3	1,6	0,6	0,6
sonstige fossile Brennstoffe	2,9	2,1	1,9	0,6	0,6	0,5	1,1	0,9
Fossile Brennstoffe insgesamt	115,0	101,4	92,5	91,8	84,5	83,6	81,9	78,9
Sekundärbrennstoffe insgesamt	4,9	8,1	10,4	11,0	13,1	15,7	18,8	23,4
Thermischer Energieverbrauch insgesamt	119,9	109,5	102,9	102,8	97,6	99,3	100,7	102,3

Aus den in Tafel 1 zusammengestellten Daten wird deutlich, daß der Gesamt-brennstoffenergieverbrauch gegenüber dem Vorjahr um 1,6 Mio. GJ zuge-nommen hat. Dies ist in erster Linie auf die von 34,7 Mio. t (1998) auf 36,6 Mio. t (1999) angestiegene Zementproduktion (Zement aus in Deutschland gebrann-tem Klinker) zurückzuführen. Gegenüber dem Jahr 1987 beträgt die absolute Reduzierung des Brennstoffenergieverbrauchs damit 14,7 % sowie gegenüber 1990 6,6 %. Aus der Tabelle geht weiterhin hervor, daß die Substitution der Re-gelbrennstoffe durch sekundäre Brennstoffe in der Zementindustrie weiter vor-anschreitet. Der Anteil der Sekundärbrennstoffe stieg von 18,6 % im Vorjahr auf nunmehr 22,9 %. Durch den verstärkten Einsatz von Sekundärbrennstoffen wurde im Berichtsjahr vorwiegend Steinkohle sowie im geringeren Maße Braunkohle und Petrolkoks substituiert. Aufgrund der zeitweise niedrigeren Ko-sten für Heizöl stieg der Verbrauch an Heizöl S leicht um 1,4 Mio. GJ/a an. Die energetische Verwertung von Abfällen stellt nach Auffassung der Zementindu-strie einen wesentlichen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen dar, da fossile Brennstoffe in energetisch äquivalentem Maße ersetzt werden. Da dar-über hinaus der thermische Wirkungsgrad von Drehofenanlagen zum Brennen von Zementklinker deutlicher höher als der anderer Verwertungsverfahren ist, führt der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie insgesamt auch zu einer CO₂-Reduzierung.

Tafel 2 gibt eine Übersicht über die Entwicklung der ermittelten absoluten und spezifischen Brennstoffenergieverbräuche von 1987 bis 1999.

Tafel 2: Absoluter und spezifischer Brennstoffenergieverbrauch

Jahr	Brennstoffenergieverbrauch	
	absolut [10 ⁶ GJ/a]	spezifisch [kJ/kg Zement]
1987	119,9	3 510
1990	109,5	3 200
1994	102,9	3 000
1995	102,8	3 000
1996	97,6	2 995
1997	99,3	2 975
1998	100,7	2 905
1999	102,3	2 800
2005 ¹⁾	--	2 800 ²⁾

1) Zieljahr

2) Im Rahmen der Selbstverpflichtung von der deutschen Zementindustrie prognostizierter Wert im Zieljahr

Bei der Berechnung der spezifischen Verbräuche wurde der Gesamtverbrauch an thermischer Energie einschließlich der Sekundärbrennstoffe berücksichtigt. Als Bezugsgröße wurde wiederum die aus dem in Deutschland hergestellten Zementklinker ermahlene Zementmenge eingesetzt. Zemente aus Importklinker blieben unberücksichtigt, da hierfür in Deutschland keine Brennstoffe verbraucht wurden. Aus den in Tafel 2 dargestellten Angaben geht hervor, daß der Gesamtbrennstoffenergieverbrauch von 100,7 Mio. GJ/a auf 102,3 Mio. GJ/a leicht angestiegen ist. Der spezifische Brennstoffenergieverbrauch der deutschen Zementindustrie lag im Jahr 1999 gegenüber dem Vorjahr mit 2 800 kJ/kg Zement um 105 kJ/kg niedriger. Damit hat die Zementindustrie ihr Zielniveau für das Jahr 2005 erreicht.

Da zugleich der auf die Klinkerproduktion bezogene Energieverbrauch gegenüber dem Vorjahr praktisch unverändert bleibt, ist die überraschend hohe Minderung ausschließlich auf die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zurückzuführen (siehe auch Kapitel 6.2). Dies ist das Ergebnis der Bemühungen der Zementindustrie in den vergangenen Jahren, die Akzeptanz dieser Zementarten im Markt zu verbessern. Allein der Absatz von Portlandhüttenzementen (CEM II/A-S, CEM II/B-S) stieg im vergangenen Jahr von 3,4 auf 4,4 Mio. t/a an. In wie weit sich der erreichte hohe Anteil dieser Zemente im Markt halten bzw. sogar weiter steigern lässt, ist heute kaum abzusehen, da die verfügbaren Hüttsandmengen begrenzt sind und die Gebrauchseigenschaften dieser Zemente von den Verwendern akzeptiert werden müssen.

4.2.2 Elektrischer Energieverbrauch

Die Daten zum elektrischen Energieverbrauch der deutschen Zementwerke sind in **Tafel 3** zusammengestellt. Demnach hat sich der absolute elektrische Energieverbrauch gegenüber dem Vorjahr vor allem wegen der gestiegenen Zementproduktion von 3,63 auf 3,73 Mio. MWh/a erhöht. Dagegen sank der spezifische elektrische Energieverbrauch im gleichen Zeitraum von 104,7 auf 102,0 kWh/t Zement. Die Veränderung liegt noch im Bereich üblicher Schwankungsbreiten. Allerdings trägt der verstärkte Einsatz anderer Zementhauptbestandteile als Klinker auch zu einer gewissen Verminderung des elektrischen Energieverbrauchs bei. Zwar erfordern Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen, wie Hüttsand oder Kalkstein einen höheren Mahlenergieaufwand, da sie bei gleicher Qualität feiner aufgemahlen werden müssen. Andererseits wird jedoch der elektrische Energiebedarf für die Herstellung des substituierten Klinkers (Rohmaterialaufbereitung, Brennprozeß) eingespart.

Tafel 3: Elektrischer Energieverbrauch der deutschen Zementindustrie

Jahr	Elektrischer Energieverbrauch	
	absolut [10^6 MWh/a]	spezifisch [kWh/t Zement]
1987	3,80	111,2
1990	3,67	107,4
1994	3,72	107,8
1995	3,64	106,5
1996	3,50	107,4
1997	3,47	103,9
1998	3,63	104,7
1999	3,73	102,0

Die Zementindustrie ist skeptisch, ob eine signifikante Verringerung des derzeitigen spezifischen elektrischen Energieverbrauchs zukünftig möglich sein wird. Aufgrund der steigenden Marktanforderungen an die Leistungsfähigkeit, wie zum Beispiel die Feinmahlung der Zemente, ist insbesondere bei zunehmender Produktion von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen ein insgesamt höherer Energieverbrauch zur Feinmahlung zu erwarten. Auch höhere Anforderungen an die Abgasreinigung, wie sie zum Beispiel mit der Novellierung der TA Luft vorgesehen ist, können zu einer Erhöhung des elektrischen Energieverbrauchs beitragen. So würde z. B. die diskutierte Herabsetzung des Staubgrenzwertes in der TA Luft von 50 auf 20 mg/m³ dazu führen, daß die Elektrofilter der Zementwerke mit höherer Filterspannung und damit höherem Stromverbrauch betrieben werden müssen.

5 CO₂-Emissionen

5.1 Energiebedingte CO₂-Emissionen

Das Treibhauspotential der Emissionen der Zementindustrie wird praktisch ausschließlich durch Kohlendioxid bewirkt. Andere Treibhausgase, so auch die im Kyoto-Protokoll genannten, treten bei der Zementherstellung nicht oder nur in extrem geringen Mengen auf (vgl. Monitoring-Bericht 1998).

Beim Klinkerbrennprozess entstehen CO₂-Emissionen durch die Umsetzung von Brennstoffenergie zur Erzeugung von Prozeßwärme. Darüber hinaus wird Brennstoffenergie für Trocknungsprozesse für andere Hauptbestandteile des Zements, wie z. B. Hüttensand aufgewendet. Über die brennstoffbedingten CO₂-Emissionen der Zementindustrie wird im Rahmen des Monitorings regelmäßig berichtet. Im Jahr 1999 betragen sie 0,199 t CO₂/t Zement oder 7,26 Mio. t/a. Hierin sind die CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen nicht berücksichtigt, da sie fossile Brennstoffe vollständig substituieren. Da die Abfälle ansonsten an anderer Stelle ihren Kohlenstoffgehalt zu CO₂ oder anderen Treibhausgasen freisetzen würden, führt der Einsatz von Sekundärbrennstoffen insgesamt zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen.

Eine Substitution der traditionellen fossilen Brennstoffe Braun- und Steinkohle durch andere Brennstoffe mit niedrigeren spezifischen CO₂-Emissionen, wie z. B. Erdgas ist aus Kostengründen nicht möglich. Da die Brennstoffkosten maßgeblich die Herstellkosten des Zements beeinflussen, gehen die Bestrebungen der Zementindustrie aus Wettbewerbsgründen dahin, fossile Brennstoffe verstärkt durch Abfallbrennstoffe zu ersetzen.

Wie bereits in den Vorjahren wurden bei der Berechnung der brennstoffbedingten CO₂-Emissionen im vorliegenden Bericht vorwiegend die vom RWI vorgeschlagenen CO₂-Emissionsfaktoren verwendet. Nur für Petrolkoks und Braunkohlenstaub wurden die spezifischen Emissionsfaktoren für die in der Zementindustrie eingesetzten Brennstoffqualitäten verwendet (Braunkohle 0,093 kg CO₂/MJ Brennstoff, Petrolkoks 0,096 kg CO₂/MJ Brennstoff). Diese Faktoren beruhen auf einer Vielzahl von Brennstoffanalysen des Forschungsinstituts der Zementindustrie. Bei Verwendung der vom RWI angegebenen Faktoren würde bei diesen Brennstoffen den spezifischen Brennstoffbedingungen der Zementindustrie keine Rechnung getragen. Die sich aus der Verbrennung der einzelnen Energieträger ergebenden CO₂-Emissionen sind der **Tabelle IV, Anlage** zu entnehmen.

Der elektrische Energieverbrauch macht nur etwa 10 % des gesamten Energieverbrauchs der Zementwerke aus. Als Primärenergie gerechnet ist der Anteil des elektrischen Energieverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen, die sich aus deren Einsatz ergeben, jedoch größer. Die durch den Stromverbrauch bedingte CO₂-Emission betrug im Jahr 1999 0,068 t CO₂/t Zement oder 2,50 Mio. t/a. Eine Eigenstromerzeugung findet in der deutschen Zementindustrie bisher praktisch nicht statt. Nur in einem einzigen Zementwerk wurde ein Abhitzeessel in den Vorwärmer eingebaut und der erzeugte Dampf auf einer vorhandenen Turbine zur Stromerzeugung genutzt (siehe Monitoring-Bericht 1997). Eine zweite Anlage, die auf Basis der ORC-Technik arbeitet, wurde erst kürzlich in Betrieb genommen (s. Monitoring-Bericht 1998).

Für die Berechnung der indirekten CO₂-Emissionen aus dem Stromverbrauch werden im Rahmen des vom BDI organisierten Monitorings einheitliche CO₂-Emissionsfaktoren verwendet (s. Tabelle V, Anlage). Diese Faktoren basieren auf dem statistischen Jahresbericht des Referats Elektrizitätswirtschaft des BMWi. Gemäß der zugrunde liegenden Methodik werden die Faktoren des Basisjahres 1990 verwendet. Dadurch wird gewährleistet, daß Effizienzsteigerungen durch die stromverbrauchende Industrie dieser angerechnet werden, während Verbesserungen bei der Stromerzeugung bzw. CO₂-Minderungen durch Brennstoffwechsel der stromerzeugenden Industrie gutgeschrieben werden. Der für 1990 und alle Folgejahre angesetzte Emissionsfaktor beträgt 0,67 t CO₂/MWh.

5.2 Rohstoffbedingte CO₂-Emissionen

Bei der Entsäuerung des wichtigsten Rohstoffs Kalkstein (chemisch CaCO₃) wird CO₂ freigesetzt. Die je Tonne produzierten Klinkers erzeugte rohstoffbedingte CO₂-Emission hängt von der Rohstoffrezeptur ab, variiert aber nur in geringem Maße. Sie beträgt in Deutschland ca. 0,53 t CO₂/t Klinker oder derzeit ca. 0,427 t CO₂/t Zement. Aus der in 1999 erzeugten Klinkermenge von 29,5 Mio. t ergibt sich eine rohstoffbedingte CO₂-Emission von 15,61 Mio. t pro Jahr. Damit ergeben sich für das Jahr 1999 die in **Tafel 4** dargestellten spezifischen bzw. absoluten CO₂-Emissionen. Eine Verminderung der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen ist nur – in begrenztem Maße – durch die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen - möglich.

Tafel 4: CO₂-Emissionen der Zementindustrie im Jahr 1999

	Absolute CO₂-Emissionen in 10⁶ t/a	Spezifische CO₂-Emissionen in t CO₂/t Zement
thermisch bedingt ¹⁾	7,26	0,199
elektrisch bedingt	2,50	0,068
rohstoffbedingt	15,61	0,427
energiebedingt	9,76	0,267
gesamt	25,37	0,694

1) ohne Sekundärbrennstoffe

Damit ergeben sich insgesamt die in Tafel 5 zusammengestellten spezifischen CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie für den Zeitraum 1987 bis 1999. Das neue Basisjahr für die auf die spezifischen energiebedingten CO₂-Emissionen umgestellte Selbstverpflichtung der Zementindustrie ist das Jahr 1990. Die Daten für 1987 werden zur Information mit angegeben. Die Verminderungen der energiebedingten CO₂-Emissionen beträgt gegenüber dem Basisjahr 24,1 %; unter Berücksichtigung der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen ergibt sich daraus eine Verminderung um 13,5 %.

Tafel 5: Spezifische CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie (in t CO₂/t Zement)

Jahr	aus thermischem Energieverbrauch¹⁾	aus elektrischem Energieverbrauch	aus Kalkstein-entsäuerung	gesamt
1987	0,317	0,075	0,456	0,848
1990 ²⁾	0,280	0,072	0,450	0,802
1994	0,252	0,072	0,450	0,775
1995	0,254	0,071	0,451	0,776
1996	0,245	0,072	0,451	0,768
1997	0,231	0,070	0,453	0,754
1998	0,218	0,070	0,444	0,732
1999	0,199	0,068	0,427	0,694

1) ohne Sekundärbrennstoffe

2) Basisjahr

6 Maßnahmen zur Erreichung des Minderungsziels

6.1 Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes sowie zur Abwärmenutzung

Die heutige Situation der deutschen Zementindustrie ist durch die in den Jahren nach der deutschen Wiedervereinigung getätigten Investitionen in Neuanlagen bzw. in die grundlegende Umstrukturierung und Optimierung der Zementwerke in den neuen Bundesländern gekennzeichnet. Auch in den alten Bundesländern wurden nach 1990 mehrere Ofenanlagen neu gebaut. Eine Anlage befindet sich derzeit noch im Bau und wird im Jahr 2001 in Betrieb gehen. Damit sind die deutschen Zementwerke heute auf einem technischen Stand, der kaum noch spektakuläre Neuerungen zulässt. Dennoch sind wiederum in einer Vielzahl von Zementwerken im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses Anstrengungen unternommen worden, den thermischen bzw. elektrischen Energieverbrauch zu senken. Als Beleg hierfür sind im folgenden zwei Beispiele beschrieben.

Installation einer neuen Rollenmühle zur Rohmaterialaufbereitung im Zementwerk Bosenberg

Das Zementwerk Bosenberg ist ein mittelständisches Unternehmen im westfälischen Ahlen, in dem bereits im Jahre 1928 der Produktionsbetrieb mit damals drei Schachtöfen aufgenommen wurde. 1965 wurde mit der Inbetriebnahme eines Drehofens mit Rostvorwärmer eine umfangreiche Modernisierung des Werkes durchgeführt. Ab 1987 begann eine zweite Modernisierungsphase, welche eine Erweiterung der Zementlagerkapazität, den Bau eines Klinkersilos, die Optimierung der Zementmahanlagen, die Ertüchtigung des Drehofens sowie die landschaftliche Gestaltung der Außenanlagen des Werkes umfasste.

In der zweiten Hälfte der 90er Jahre wurde der Drehrohröfen, der eine Klinkerleistung von 500 t/d hat, technisch grundlegend modernisiert. Der Klinkerkühler wurde mit einem statischen Vorrost ausgestattet. In der Folgezeit wurde ein modernes Prozessleitsystem zur Ofenführung sowie ein automatisches Labor zur Qualitätssicherung und Kontrolle installiert. Alle diese Maßnahmen trugen zu einer deutlichen Erhöhung der Verfügbarkeit und einer Vergleichmäßigung des Ofenbetriebs bei.

Ende des Jahres 1998 wurde eine neue Vertikalmühle zur Rohmaterialaufbereitung in Betrieb genommen. Bis dahin wurden die Rohstoffe, die aus Kalkmergel aus den eigenen Lagerstätten sowie aus hochprozentigem Kalkstein aus dem Sauerland bestehen, in zwei älteren Kugelmühlen hergestellt. Bei der neuen

Mühle handelt es sich um einen Prototypen, der erstmals in einem Zementwerk zum Einsatz kam. Sie ist für einen nominellen Rohmehldurchsatz von 55 t/h bei einer Mahlfeinheit entsprechend einem Siebrückstand von $R_{0,09} = 12$ M.-% ausgelegt. Der Mahlbahnaußendurchmesser der Mühle beträgt 2,0 m. Die Mahlrollen besitzen einen Durchmesser von 1,0 m. Die Mühle besitzt eine installierte Antriebsleistung von 500 kW. Der Rotor des integrierten Hochleistungssichters hat einen Durchmesser von 1,7 m.

Die Mühle kann sowohl autark als auch im Verbundbetrieb mit dem vorhandenen Drehofensystem gefahren werden. Im fast ausschließlich praktizierten Verbundbetrieb kann zum einen die Wärmeenergie des Drehofenabgases zur Mahltrocknung genutzt werden und zum anderen die SO_2 -Emission der Anlage durch weitgehende Absorption des Schwefeldioxids an das Mahlgut vermindert werden. Dadurch ist eine Einsparung von rd. 40 % an thermischer Energie gegenüber dem alten Kugelmühlensystem möglich, so dass der Grad der Abwärmennutzung des Drehofens deutlich ansteigt. Insgesamt wird die Mühle je nach Mahlgutdurchsatz mit einem Gasvolumenstrom von 105 000 bis 130 000 m^3/h (bei 95 °C) betrieben. Davon kann ein Anteil zwischen 48 und 60 % in Form von Ofenabgas mit einer Temperatur von rd. 130 °C in der Mahltrocknung verwertet werden. Dadurch können ca. 940 t/a an schwerem Heizöl eingespart werden. Steuerungstechnisch ist die Rollenmühle über ein Expertensystem in die moderne Prozessleittechnik des Werks integriert.

Die nunmehr einjährigen Betriebserfahrungen mit der neuen Mühle zeigen, dass der garantierte elektrische Energiebedarf von 6,1 kWh/t für den Mühlenantrieb um bis zu 0,5 kWh/t unterschritten wird. Der Gesamtenergieverbrauch der Anlage inklusive Systemventilator, Zwischengas- und Filterventilator sowie aller sonstigen Nebenaggregate beträgt rd. 15,5 kWh/t und ist damit trotz der hohen zu fördernden Gasvolumenströme um rd. 16 % niedriger als der der ersetzten Kugelmühlen. Bei einem täglichen Rohstoffbedarf von rd. 825 t/d und einer durchschnittlichen Laufzeit des Ofens von 340 d/a konnte durch diese Investition einer Verminderung des elektrischen Energiebedarfs von ca. 830 MWh/a erreicht werden. Insgesamt beträgt die reduzierte CO_2 -Menge aus der Einsparung an thermischer und elektrischer Energie ca. 3 500 t/a.

Optimierung der Zementmühlen im Zementwerk Rüdersdorf der Ready mix Gruppe

Das Zementwerk Rüdersdorf wurde nach der deutschen Wiedervereinigung durch die Firma Ready mix AG übernommen und in den Folgejahren grundle-

gend modernisiert. Kernpunkt war der Ersatz mehrerer alter Drehofenanlagen durch eine moderne Ofenlinie mit einer Klinkerleistung von 6 000 t/d. Durch die Optimierung der Ofenanlage in Verbindung mit einer vorgeschalteten zirkulierenden Wirbelschicht zur Vergasung von Abfällen konnte der thermische Energieverbrauch des Zementwerks Rüdersdorfs deutlich gesenkt werden. Durch eine umfassende Sanierung der Abgasreinigungsanlagen wurde darüber hinaus die Umweltsituation in der Umgebung des Zementwerks drastisch verbessert.

Ein weiterer Schwerpunkt des Modernisierungsprogramms war die Neugestaltung der Zementmahanlagen. Diese beanspruchen je nach Zementsortiment etwa 30 bis 50 % des Gesamtstromverbrauchs in Zementwerken und stellen damit den mit Abstand größten Stromverbrauch dar. Vor der Wiedervereinigung erfolgte die Zementmahlung in Rüdersdorf in Durchlaufkugelmühlen, einer Verfahrenstechnik mit einem vergleichsweise hohen Bedarf an spezifischer elektrischer Energie. Bereits 1993 wurden die Durchlaufmühlen zu sogenannten Kombi-Mahanlagen, bestehend aus Gutbett-Walzenmühle, Desagglomerator, Hochleistungssichter und der Fertigmahlung in Kugelmühlen umgebaut. Dadurch wurde bereits eine deutliche Leistungssteigerung der Mahlanlagen sowie entsprechende Energieeinsparungen erreicht.

Die vier Zementmühlen mit einem Durchmesser von 3,2 m und einer Länge von 15 m sind mit speziellen Panzerungssystemen ausgerüstet. Dem Stand der Technik entsprechend waren nach der Umrüstung in den Mühlen hochverschleißfeste Mahlkugelfüllungen mit Größtdurchmessern von 25 mm im Einsatz. Da der spezifische elektrische Energiebedarf der Zementmahlung neben der angestrebten Zementfeinheit auch wesentlich von der verwendeten Mahlkugelhärtung abhängt, wurden zunächst diskontinuierliche Mahlungstests im Pilotmaßstab mit dem Ziel durchgeführt, eine Optimierung dieser beiden Parameter zu erzielen. Die Pilotversuche zeigten die Möglichkeit für eine Durchsatzsteigerung und eine Absenkung des spezifischen Elektroenergiebedarfs durch feinere Mahlkugelhärtungen auf.

Daher wurde im Jahr 1997 im Rahmen eines F&E-Projektes mit der großtechnischen Umsetzung begonnen. Durch sukzessive Veränderungen der Mahlkugelfüllungen an den Zementmühlen wurde die Anlageneffizienz der Kombi-Mahanlagen für alle produzierten Zementsorten deutlich verbessert. Die Anforderungen an die vorgeschalteten Gutbett-Walzenmühlen wurden dadurch nicht beeinflusst. Durch den Übergang zu sehr feinen Mahlkugelfüllungen bei

gleichzeitiger Absenkung des Mahlkugelfüllungsgrads der Mühle konnten Einsparpotentiale beim elektrischen Energieverbrauch von bis zu 10 % erreicht werden. Bei der Produktion eines Zementes der Sorte CEM I 32,5 R z. B. sank der Energieverbrauch von 28,3 auf 26,9 kWh/t.

Im Jahr 1999 konnten laut Produktionsstatistik eine Gesamteinsparung bei der Produktion der Zementsorten CEM I 32,5 R, CEM I 42,5 R und CEM I 52,5 R von fast 3 Mio. kWh/a erzielt werden. Von ausschlaggebender Bedeutung für die Nutzbarkeit dieser Einsparungen war die Tatsache, dass die Untersuchungen den Nachweis erbracht haben, dass trotz der selbst durchgeführten technischen Veränderungen der Mühle, die zu den Effizienzverbesserungen führten, keine Beeinflussung der Zementqualitäten hinsichtlich der Kornbandbreiten, Wasseranspruch und der Festigkeitsentwicklung eintrat. Die durchgeführten Maßnahmen führten damit zu einer Verringerung der indirekten energiebedingten CO₂-Emissionen des Werks von ca. 2 000 t/a.

6.2 Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen

Die deutsche Zementindustrie hat im Jahr 1999 ihre Bemühungen fortgesetzt, verstärkt Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen neben Klinker in den Markt zu bringen. Grundsätzlich erlauben es nationale und europäische Zementnormen, gebrannten Zementklinker teilweise durch andere Stoffe zu ersetzen. Eine technische Bedeutung weisen in Deutschland allerdings nur Hüttensand aus der Herstellung von Roheisen sowie ungebrannter Kalkstein auf. Wie bereits in Kapitel 4 dargestellt, ist die im Jahr 1999 erzielte unerwartet starke Verringerung des spezifischen Brennstoffenergieverbrauchs vor allem auf die vermehrte Produktion von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zurückzuführen. Wie aus **Tafel 6** hervorgeht, stieg der Absatz von hüttensandhaltigen CEM II- und CEM III-Zementen von 1998 nach 1999 deutlich an. Auch der Absatz von kalksteinmehlhaltigen Zementen konnte deutlich gesteigert werden.

Tafel 6: Inlandsabsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen (in 1 000 t/a)

Zementsorte	Anteil anderer Hauptbestandteile [%]	1998	1999
Portlandhüttenzement	6 – 35 (Hüttensand)	3.436	4.417
Portlandkalksteinzement	6 – 20 (Kalkstein)	1.504	1.852
Hochofenzement	36 – 80 (Hüttensand)	4.524	4.651
Portlandpuzzolanzement	6 – 35 (Trass)	86	143

Quelle: BDZ

Da die Eigenschaften von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen sich teilweise deutlich von denen von Portlandzementen unterscheiden, ist für den Inlandsabsatz dieser Sorten vor allem deren Marktakzeptanz von außerordentlicher Bedeutung. Daher haben wiederum viele Zementunternehmen entsprechende Aktivitäten im Markt entwickelt, um den Absatz zu fördern. In vielen Zementwerken sind die technischen Gegebenheiten für eine verstärkte Produktion dieser Zementsorten vorhanden. Zum Teil müssen allerdings Silos, Mischanlagen usw. nachgerüstet werden. Im folgenden sind einige Beispiele für solche Aktivitäten dargestellt.

Förderung des Absatzes von Portlandkalksteinzementen im Zementwerk Allmendingen der E. Schwenk Zementwerke KG

Das Zementwerk Allmendingen liegt im baden-württembergischen Urdonautal und wurde im Jahr 1888 gegründet. Heute verfügt es über eine Produktionskapazität von bis zu 1,2 Mio. t Zement/a. Der Zementklinker wird in einem Drehrohrofen mit vierstufigem Zyklonvorwärmer und Satellitenkühler mit einer Klinkerleistung von 4 000 t/d hergestellt. In mehreren Kugelmühlen werden verschiedene Zementsorten unter Verwendung von Zementklinker und anderen Zementhauptbestandteilen wie Kalksteinmehl durch gemeinsames Vermahlen hergestellt.

Die E. Schwenk Zementwerke KG hat sich sehr frühzeitig mit der Herstellung von Portlandkalksteinzement mit den Hauptbestandteilen Portlandzementklinker und hochwertigem Kalkstein in den Werken Allmendingen und Mergelstetten beschäftigt, um den Brennstoffbedarf je Tonne Zement abzusenken. Die geltende Zementnorm erlaubt die Substitution von Portlandzementklinker durch gemahlene Kalkstein bis zu einem maximalen Anteil von 20 %. Die Verwendung von Kalkstein als Hauptbestandteil in Portlandkalksteinzement ist an verschiedene Anforderungen geknüpft. Kalkstein ist geeignet, wenn der CaCO_3 -Gehalt mindestens 75 % beträgt und der Gehalt an organischen Bestandteilen (TOC) maximal 0,2 % aufweist. Darüber hinaus ist der Tongehalt limitiert. Unter Beachtung dieser Anforderungen weisen Portlandkalksteinzemente vergleichbare Zement- und Betoneigenschaften auf (z. B. Frostwiderstand) wie Portlandzemente.

In Deutschland begann die Herstellung von Portlandkalksteinzement vor mehr als fünfzehn Jahren. Da diese Zemente zu dieser Zeit nicht genormt waren, mussten umfangreiche und aufwendige Zulassungsprüfungen durchgeführt werden, um die Eignung und Dauerhaftigkeit zu belegen. Eine der ersten Zulas-

sungen wurde 1986 für den Portlandkalksteinzement des Zementwerks Mergelstetten der E. Schwenk Zementwerke KG erteilt.

Für die Markteinführung neuer Zementsorten gilt allgemein, dass sich die Eigenschaften des damit hergestellten Betons im Vergleich zur Verwendung von bisher üblichen Zementarten nicht verschlechtern darf. Ihre Verwendung sollte möglichst sogar zu einer Verbesserung führen. Darüber hinaus stellt eine solche Markteinführung eine Aufgabe dar, die über mehrere Jahre geplant und durchgeführt werden muss.

Zur Einführung des Portlandkalksteinzementes des Werkes Allmendingen wurden von der E. Schwenk Zementwerke KG deshalb eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um den Einsatz in Transportbetonwerken zu fördern. Da PKZ im Verkehrsbereich z. B. für Brückenbauwerke zum Einsatz kommt, wurden Veranstaltungen zur Vorstellung beim Verkehrsministerium Baden-Württemberg und Regierungspräsidium Tübingen vorgenommen. Darüber hinaus wurden Informationsveranstaltungen bei Straßenbauämtern und Ingenieurbüros über die Eigenschaften des PKZ und seine Einsatzmöglichkeiten durchgeführt. Im Rahmen der Schwenk-Betonseminare wurden Brückenobjekte vorgestellt, bei denen Portlandkalksteinzement für alle Bauteile erfolgreich eingesetzt wurde. Die Objekte wurden von der Anwendungstechnik der E. Schwenk Zementwerke KG begleitet.

Bei Kundengesprächen wurde der PKZ mit in die Gespräche einbezogen und seine Vorteile dargestellt. Bei der Umstellung der Produktion wurde technische Hilfestellung geleistet und das Personal der Transportbetonindustrie entsprechend geschult.

Um auch der Fachöffentlichkeit die Erfahrungen mit der Verwendung von PKZ mitzuteilen, wurde in der Zeitschrift Beton ein Artikel mit dem Thema „Erfahrungen mit Portlandkalksteinzement“ veröffentlicht und entsprechende Sonderdrucke an Kunden und Behörden verteilt.

Diese marktorientierten Maßnahmen haben dazu beigetragen, dass die Produktion von Portlandkalksteinzement von ca. 2 000 t/a im Jahr 1995 auf über 315 000 t/a im Jahr 1999 gesteigert werden konnte. Im gleichen Zeitraum nahm die Herstellung von Portlandzementen im vergleichbaren Umfang ab.

Der mittlere Kalksteingehalt im Portlandkalksteinzement beträgt im Werk Allmendingen 18 %. Damit konnte im Jahr 1999 gegenüber dem Vorjahr durch die Substitution des Portlandzementes ohne PKZ eine CO₂-Minderung von ca. 10 400 t/a (energiebedingt) sowie einschließlich der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen sogar von 34 100 t/a erzielt werden.

Entwicklung von Portlandhüttenzementen mit erweitertem Leistungsspektrum im Zementwerk Deuna der Deuna Zement GmbH

Das Zementwerk Deuna liegt in Thüringen und wurde nach der deutschen Wiedervereinigung von der Dyckerhoff Zement GmbH übernommen. In den Folgejahren wurde das Zementwerk mit hohem Investitionsaufwand technologisch auf den neuesten Stand der Technik umgebaut und modernisiert. Darüber hinaus wurden die zuvor eingesetzten fossilen Brennstoffe (vor allem Braunkohle) teilweise durch Sekundärbrennstoffe substituiert. Über mehrere Jahre gelang es, die Einsatzmengen der aufbereiteten Teppichreste und Papierspuckstoffe durch verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen soweit zu steigern, dass inzwischen etwa ein Drittel des Wärmebedarfs durch Sekundärbrennstoffe gedeckt werden kann. Der heutige effiziente Ofenbetrieb sorgt in Verbindung mit dem Einsatz der Sekundärbrennstoffe für eine Zementproduktion mit vergleichsweise geringen energiebedingten CO₂-Emissionen.

Im Jahr 1999 wurden im Zementwerk Deuna Entwicklungsarbeiten zur Erweiterung des Leistungsspektrums von Portlandhüttenzementen durchgeführt. Die Arbeiten hatten die Zielstellung, die betontechnologischen Eigenschaften der Portlandhüttenzemente weiter an die von Portlandzementen anzunähern und die Vorteile aus der Hydratation des Hüttensandes bei Anwesenheit von gefährdeten Betonzuschlägen (schädigende Alkalikieselsäurereaktion) nutzbar zu machen.

Durch eine optimierte Abstimmung von Anteil und Eigenschaften der Hauptkomponenten Klinker und Hüttensand konnten Portlandhüttenzemente bereitgestellt werden, die in der betontechnologischen Leistungsfähigkeit Portlandzementen entsprechen und bezüglich der Betondauerhaftigkeit Vorteile gegenüber Portlandzementen aufweisen. In Bezug auf den Festigkeitsverlauf stellt der reaktive Klinker aus Deuna zusammen mit Hüttensand eine besonders leistungsfähige Kombination dar. Inzwischen wurden mit Portlandhüttenzementen mehrere Referenzobjekte erfolgreich abgeschlossen.

Um die Anwendbarkeit von Portlandhüttenzementen bei regional vorliegenden AKR-gefährdeten Betonzuschlägen zu untersuchen, wurden gemeinsam mit dem Forschungsinstitut entsprechende Forschungsarbeiten mit CEM II/B-S-Zementen (Hüttensandgehalt 21 – 35 %) durchgeführt. Unter AKR versteht man die schädigende Reaktion von im Zement vorliegenden löslichen Alkalien mit Kieselsäure aus bestimmten Betonzuschlagstoffen. Dabei weisen hütten-sandreiche Zemente in der Regel einen niedrigeren wirksamen Alkaligehalt (Bezeichnung „NA“) als manche Portlandzemente auf. Nach dem positiven Ergebnis der Untersuchungen wurde von der Deuna Zement GmbH die bauaufsichtliche Zulassung von vier neuen NA-Zementsorten der Festigkeitsklassen 32,5 R und 42,5 R beim Deutschen Institut für Bautechnik beantragt. Die abgeschlossenen Zulassungsuntersuchungen weisen die Eignung als NA-Zement nach.

Mit der Klassifizierung von CEM II/B-S-Zementen mit erhöhtem Alkaliäquivalent als NA-Zemente wurde eine weitere Maßnahme zur umfassenderen Anwendung von Portlandhüttenzementen erfolgreich abgeschlossen und bisherige vorsorgliche Einsatzbeschränkungen können entfallen. Der Anteil von Portlandhüttenzementen am gesamten Zementabsatz beträgt in der Deuna Zement GmbH über 30 % mit steigender Tendenz.

Förderung des Einsatzes von hüttensandhaltigen Zementen im Zementwerk Karsdorfer der Karsdorfer Zement GmbH

Nach der deutschen Wiedervereinigung wurde das Zementwerk Karsdorf der Karsdorfer Zement GmbH umfangreich nach dem neusten Stand der Technik umgestaltet und modernisiert. Beginnend vom Tagebau bis zur Verladung wurde alle Verluste bewertet und in ein Investitionsprogramm umgesetzt. Durch diese umfassende Modernisierung konnte der Wärmeverbrauch der Ofenanlagen um 580 kJ/kg Klinker sowie der Elektroenergieverbrauch um 32 kWh/t Zement reduziert werden.

Nach der abgeschlossenen verfahrenstechnischen Modernisierung wurde in enger Zusammenarbeit mit den Kunden der Karsdorfer Zement GmbH an der Entwicklung neuer Produkte gearbeitet. Da die Herstellung des Zementklinkers mit hohem Energieeinsatz und damit Energiekosten verbunden ist, bestand das Ziel der Produktentwicklung in der Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen. Im wesentlichen sollte durch den Einsatz von Hüttensand ein Teil des Klinkers substituiert werden. Umfangreiche Entwicklungsarbeiten haben zu einer Vielzahl neuer Produkte mit teilweise besseren Anwendungseigenschaften der Zemente geführt. Entsprechende Verbesserungen betrafen die

Verarbeitbarkeit, die Hydratationswärmeentwicklung sowie eine verringerte Alkali-Kieselsäurereaktion. Der Anteil des Klinkers in den hergestellten Zementsorten konnte insgesamt um durchschnittlich 10 % gesenkt werden.

Bezogen auf das Berichtsjahr 1999 konnte die Produktion von CEM II/A-S (Hüttensandgehalt 6 bis 20 %) von 51 000 auf 122 500 t/a, der Versand von CEM II B-S (Hüttensandgehalt 21 bis 35 %) von 75 000 auf 88 800 t/a sowie die Herstellung von Spezialprodukten von 35 000 auf 83 000 t/a gesteigert werden. In **Tafel 7** sind die im Zeitraum 1995 bis 1999 verarbeiteten Hüttensandmengen dargestellt. Daneben sind die Einsparungen an elektrischer und thermischer Energie aufgeführt, die sich durch die Substitution des Klinkers ergeben hat.

Tafel 7: Energieeinsparung durch den Einsatz von Hüttensand im Zementwerk Karsdorf

Jahr	Hüttensandeinsatz [t/a]	Energieeinsparung	
		elektrische Energie [GWh/a]	thermische Energie [10 ³ GJ/a]
1995	88 350	6,6	304
1996	73 470	5,5	253
1997	71 670	5,3	247
1998	89 110	6,3	292
1999	141 250	10,6	486

Erschwerend kam dazu, dass in den letzten zwei Jahren der Absatz von CEM III-Zementen (Hüttensandgehalt 36 bis 80 %) marktbedingt zurückgegangen ist und dadurch die angegebenen Hüttensandmengen zu 65 % in neu entwickelte Produkte eingehen mussten. Insgesamt führte diese Energieeinsparung im Jahr 1999 zu einer Vermeidung von insgesamt 52 300 t CO₂/a. Gegenüber dem Jahr 1998 wurde eine Verringerung der energiebedingten CO₂-Emission um ca. 21 000 t/a erreicht. Einschließlich der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen beträgt die Vermeidung im Jahr 1999 sogar ca. 128 600 t CO₂/a und die Verminderung gegenüber dem Vorjahr 73 100 t CO₂/a.

Um diese Sortenumstellung mit den entsprechenden Einsparungen an Energieaufwand realisieren zu können, waren ebenfalls Investitionen in neue Verfahrenstechniken erforderlich. Zum einen wurde die im Zementwerk Karsdorf erstmalig in Deutschland installierte Horizontal-Wälzmühle (Horomill, vergl. Monitoring-Bericht 1995/1996) technisch weiterentwickelt und für die Mahlung von Hüttensand optimiert. Im Jahr 1999 wurden ca. 40 000 t Hüttensandmehl

mit dieser Mühle gemahlen und dadurch gegenüber der Mahlung in konventionellen Kugelmühlen eine Energieeinsparung von ca. 40 kWh/t erreicht. Darüber hinaus wurden 71 000 t hüttensandhaltiger Zemente auf dieser Mühle gemahlen, was zu einer spezifischen Einsparung von 20 kWh/t gegenüber einer Kugelmühle führte. Insgesamt resultieren daraus weitere Einsparungen an elektrischer Energie von 3,0 GWh.

Des Weiteren wurde ein Mischturm gebaut, der es ermöglicht, aus den getrennt gemahlten Zementhauptbestandteilen Klinker, Hüttensand usw. verschiedene Produkte mit optimierten Eigenschaften herzustellen. Dabei hat sich herausgestellt, dass die gemischten CEM III-Produkte bei gleicher Qualität ca. 500 Blaine geringer aufgemahlen werden müssen, als bei gemeinsamer Vermahlung. Gleichzeitig ergaben sich Vorteile in den Verarbeitungseigenschaften und im Wasseranspruch des Zements. Die etwas gröbere Aufmahlung der Vorprodukte führte zu einer weiteren Einsparung an elektrischer Energie, die jedoch im einzelnen nicht zu quantifizieren ist.

Über den Mischturm können 40 bis 50 unterschiedliche Zementrezepturen mit nur einer Klinkersorte hergestellt werden, so dass die Zementeigenschaften entsprechend den Anforderungen der Kunden optimiert werden können.

Erweiterung des Produktangebots von Portlandhüttenzementen der Rüdersdorfer Zement GmbH

Mit den zwei Standorten Eisenhüttenstadt und Rüdersdorf verfügt das Zementwerk Rüdersdorf über ideale Voraussetzungen für die Produktion von hüttensandhaltigen Zementen. Im Rahmen einer Kooperation mit dem Stahlwerk in Eisenhüttenstadt übernimmt die Rüdersdorfer Zement GmbH granuliert Hochofenschlacke und verwertet diese weiter im Rahmen der Zementproduktion. Zum Teil wird Hüttensand auch an andere Zementunternehmen geliefert (siehe auch Monitoring-Bericht 1995/96).

Die Anwendung von Portland- bzw. Hochofenzement im Transportbeton oder der Betonfertigteilproduktion ist unter Ausnutzung der jeweils typischen günstigen Produkteigenschaften, wie einer hohen Frühfestigkeit bei den Portlandzementen oder einer geringeren Hydratationswärme-Entwicklung bei den Hochofenzementen praxisüblich. Portlandhüttenzemente bieten nun die Möglichkeit, jeweils vorteilhafte Kombinationen der Eigenschaften zu entwickeln. 1998 wurde im Werk Eisenhüttenstadt mit der Herstellung eines CEM II/B-S 42,5 R (Portlandhüttenzement mit einem Hüttensandanteil von 21 bis 35 %) für die

Betonwarenproduktion begonnen. Neben der Sicherung der technologisch notwendigen Festigkeitsentwicklung stand eine Verbesserung der Wirkung von färbenden Betonzusätzen sowie eine Minderung der optisch registrierbaren Ausblühungen im Vordergrund. Dabei konnte auch auf die bei der Produktion des CEM III/A 42,5 R (Hochofenzement mit einem Hüttensandanteil zwischen 36 und 65 %) gewonnenen Erfahrungen zurückgegriffen werden.

Insbesondere im Bereich des Transportbeton sind Zemente mit sowohl einem günstigen Verarbeitungsverhalten als auch einer ausreichenden Festigkeitsentwicklung bei niedrigeren Temperaturen erforderlich. Ausgehend von den bereits vorliegenden Erfahrungen wurde – beginnend im Werk Eisenhüttenstadt und seit 1999 auch in Rüdersdorf – die Produktion eines CEM II/B-S 32,5 R (Portlandhüttenzement mit einem Hüttensandanteil von 21 bis 35 %) aufgenommen.

Die zementtechnologischen Entwicklungen wurden durch marktorientierte Maßnahmen begleitet, die den Absatz der neuen Zementsorten sicherstellen sollten. Die entsprechende Information der Kunden über die Eigenschaften der Portlandhüttenzemente erfolgt durch die Anwendungstechnik der Rüdersdorfer Zement GmbH. Dabei konnte auch die durch eine Arbeitsgruppe des Vereins Deutscher Zementwerke erarbeitete Informationsbroschüre zu Portlandkompositzementen genutzt werden. Neben gezielten Kundenveranstaltungen wurden auch die Mitteilungen in der unternehmenseigenen Kundenzeitung genutzt, um die Kunden gezielt zu informieren.

Um zukünftig weitere Absatzgebiete für hüttensandhaltige Zemente zu erschließen, wurde eine bauaufsichtliche Zulassung für CEM II B-S-Zemente als sogenannte NA-Zemente betrieben. Durch eine entsprechende Zulassung können diese hüttensandhaltigen Zemente zukünftig auch in Anwendungsbereichen eines Portlands-NA-Zementes eingesetzt werden, was bisher nicht der Fall ist. Diese Zemente weisen einen niedrigen wirksamen Alkaligehalt auf, der bei der Verwendung bestimmter alkaliempfindlicher Betonzuschlagstoffe vorgeschrieben ist.

Um am Standort Rüdersdorf diese zusätzlichen Sortimente produzieren zu können, waren Investitionen in Höhe von 1,5 Mio. DM erforderlich. Neben der Errichtung der notwendigen Silokapazität für das in Eisenhüttenstadt produzierte Hüttensandmehl waren der Einbau der Mischaggregate sowie zusätzliche Maßnahmen in den Fördersystemen zu realisieren.

Nachdem 1999 die Voraussetzungen zur Aufnahme der Produktion des CEM III/B-S 32,5 R am Standort Rüdersdorf geschaffen waren, konnte dessen Anteil im 4. Quartal von 0 % auf 30 % der Sackware gesteigert werden. Im Bereich der losen Ware wurde der Absatz von 1998 auf 1999 nahezu verdoppelt. Durch Erhöhung des spezifischen Hüttensandeinsatzes als Hauptbestandteil in der Zementproduktion konnte 1999 eine Verringerung des Klinkergehalts um über 1 % erreicht werden, was auf Basis der Jahresproduktion von 1999 einer substituierten Menge von ca. 15 000 t Klinker entspricht. Aus der dadurch eingesparten thermischen und elektrischen Energie sowie der substituierten Rohstoffe ergibt sich eine Reduzierung der CO₂-Emission von ca. 11 400 t/a.

6.3 Einsatz von Sekundärbrennstoffen

Ein Kernpunkt der weiterentwickelten Selbstverpflichtung der Zementindustrie ist die Umstellung der Verpflichtung von der Basis Energieverbrauch auf die CO₂-Emissionen. Unter diesen veränderten Rahmenbedingungen gewinnt die Substitution fossiler Brennstoffe durch sekundäre, aus Abfällen aufbereitete Brennstoffe zunehmend an Bedeutung. In dieser Brennstoffsubstitution sieht die Zementindustrie einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung ihrer CO₂-Emissionen, da diese ansonsten deponiert oder verbrannt werden müssten und dort ihr CO₂ freisetzen würden. Weiterhin stellen bestimmte Abfallstoffe, wie z. B. Holzabfälle erneuerbare Energieträger dar, die bei ihrem Wachstum Kohlendioxid aus der Atmosphäre eingebunden haben.

Im Jahre 1999 haben die deutschen Zementwerke den Anteil der Sekundärbrennstoffe an der gesamten Feuerungswärmeleistung der Drehöfen von 18,6 auf 22,9 % gesteigert. Dies entspricht einem Energieeinsatz von 23,4 Mio. GJ/a oder etwa 800 000 t SKE/a. Bezogen auf einen für die Zementindustrie typischen Heizwert von Steinkohle von 25 MJ/t entspricht dies einer tatsächlichen eingesparten Kohlenmenge von 935 000 t/a. Deren Einsatz in den Drehrohröfen der Zementindustrie hätte ansonsten eine CO₂-Emission von ca. 2,2 Mio. t/a verursacht.

Eine gesonderte Umfrage des Vereins Deutscher Zementwerke unter seinen Mitgliedswerken hat gezeigt, dass die traditionellen Sekundärbrennstoffe Altreifen und Altöl nach wie vor einen großen Anteil am Gesamtsekundärbrennstoffeinsatz haben. Allerdings gewinnen Brennstoffe aus anderen Abfallströmen zunehmend von Bedeutung. Wie **Tafel 8** zeigt, wurden im Jahr 1998 (die Werte von 1999 liegen noch nicht vor) neben den traditionellen Sekundärbrennstoffen

76 000 t/a an Altholz und 176 000 t/a an aufbereiteten Produktions- und Gewerbeabfällen in den Drehrohröfen der Zementindustrie verwertet.

Tafel 8: Sekundärbrennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie im Jahr 1998

Sekundärbrennstoff	1 000 t/a
Altreifen/Gummi	229
Altöl	168
Fraktionen aus Industrie-/Gewerbeabfällen (wie z. B. Kunststoffe, Papier, Textilien, etc.)	176
Altholz	76
Lösungsmittel	18
Teppichabfälle	18
Bleicherde	13
Sonstige (u.a. aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen)	84

Quelle: Umweltdaten der deutschen Zementindustrie (VDZ)

Wie eine Vielzahl von Untersuchungen zeigt, werden diese aufbereiteten Abfälle beim Klinkerbrennprozess mit einem hohen thermischen Wirkungsgrad und ohne negative Auswirkungen auf die Umwelt und das Produkt verwertet. Diese Verwertung stellt daher einen wesentlichen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen dar, da fossile Brennstoffe in energetisch äquivalentem Maße ersetzt werden.

6.4 Koordination und Informationstransfer

Die Koordination der Maßnahmen zur Verminderung des Brennstoffeinsatzes und der CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie erfolgte wie bereits zuvor durch die 1995 eingesetzte Kommission „CO₂-Minderung“. Die Kommission ist zusammengesetzt aus Vertretern der Zementunternehmen, des Bundesverbandes der deutschen Zementindustrie (BDZ) und des Vereins Deutscher Zementwerke (VDZ).

Nachdem die verfahrenstechnischen Möglichkeiten zu einer signifikanten Verminderung des Brennstoffenergieverbrauchs bei der Zementherstellung in den deutschen Zementwerken inzwischen weitgehend erschöpft ist, hat sich die Kommission "CO₂-Minderung" schwerpunktmäßig mit den Potentialen beschäftigt, die sich aus einer verstärkten Herstellung von Zementen mit mehreren

Hauptbestandteilen zukünftig ergeben kann. Neben den technischen Fragestellungen, die vor allem die Leistungsfähigkeit dieser Zementsorten betrifft, galt es, die in der Zukunft zur Verfügung stehenden Hüttensandmengen sowie die Marktfähigkeit der damit hergestellten Zemente abzuschätzen. In diesem Zusammenhang hat sie darauf hingewirkt, dass die Zementindustrie sich bemüht, die zukünftig zusätzlich anfallenden Hüttensandmengen, die sich aus dem Bau neuer Granulationsanlagen in der Stahlindustrie ergeben werden, möglichst vollständig zu übernehmen und zur Zementherstellung zu verwenden. Als zweiten Schwerpunkt hat sie bereits im Berichtsjahr 1999 begonnen, ein Konzept für die Aktualisierung der Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Zementindustrie zu entwickeln. Dabei ging es vor allem um die Fragen, in wie weit die Selbstverpflichtung an die veränderten nationalen und internationalen Rahmenbedingungen angepasst werden sollte. Das Ergebnis dieser Überlegungen ist die aktualisierte Erklärung der deutschen Zementindustrie vom Dezember 2000.

Im Frühjahr 1999 hat der Verein Deutscher Zementwerke eine Fachtagung „Verfahrenstechnik“ durchgeführt, bei der unter anderem Vorträge über die neuesten Entwicklungen in der Verfahrenstechnik unter dem Aspekt von Best Available Techniques (BAT) auf europäischer Ebene beschrieben wurden. Weiterhin wurde über die Betriebserfahrungen mit den modernen Vorcalcineranlagen, die in den vergangenen Jahren in Deutschland gebaut wurden, berichtet. Als weiterer Schwerpunkt wurde über Mahlsysteme zur Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen sowie über ein im Forschungsinstitut entwickeltes Simulationsmodell zur Prognose der physikalischen Eigenschaften (z. B. Korngrößenverteilung) von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen vorgetragen. An der Veranstaltung nahmen mehr als 400 Teilnehmer aus den Zementwerken sowie der Anlagenbauindustrie teil.

Die weiteren bereits in den früheren Monitoring-Berichten dargestellten Aktivitäten der VDZ-Ausschüsse Umwelt und Verfahrenstechnik sowie Ausbildungsaktivitäten im Rahmen des 1997 gegründeten VDZ-Bildungswerkes wurden weitergeführt.

6.5 Forschungsarbeiten

Auch im Berichtsjahr 1999 haben sich die Forschungsarbeiten des Forschungsinstituts der Zementindustrie sowie der Mitgliedswerke vor allem auf die Anwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen konzentriert. Im Mit-

telpunkt der Untersuchungen standen wiederum die Eigenschaften hüttensand- bzw. kalksteinhaltiger Zemente im Vergleich zu Portlandzementen.

Auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik wurden die Labor- und Betriebsuntersuchungen zur Ermittlung der verfahrenstechnischen Einflussgrößen auf die Eigenschaften dieser Zementsorten weitgehend abgeschlossen. Wesentliches Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass neben dem Hüttensandanteil, der Mahlfineinheit des Hüttensands und des Klinkers auch die Reaktivität des verwendeten Hüttensands und des Klinkers von wesentlicher Bedeutung sind. Da das Haupteinsatzgebiet des Zements die Verarbeitung zu Beton ist, wurde mit Untersuchungen begonnen, in wie weit sich der Einsatz von hüttensandhaltigen Zementen auf die Betoneigenschaften auswirkt. Ergebnisse von Untersuchungen aus verschiedenen Zementwerken sind zum Teil widersprüchlich und sollen durch Messungen an einer Pilotumlaufmahlanlage des Forschungsinstituts sowie durch Simulationsrechnungen überprüft werden.

Weiterhin wurde durch chemisch-mineralogische Untersuchungen den Ursachen für diese phänomenologisch ermittelten Zusammenhänge nachgegangen. Durch Untersuchungen mit einem neuartigen Raster-Elektronenmikroskop (ESEM) wurden die Reaktionsmechanismen bei der Hydratation von Hüttensand bzw. Klinkermehl untersucht. Weiterhin standen die Wechselwirkungen zwischen dem Zementklinker und dem Hüttensand bei der gemeinsamen Hydratation im Mittelpunkt. Ziel der Untersuchungen ist es letztlich, die technischen oder chemischen Einflussmöglichkeiten zu ermitteln, um die Eigenschaften der hüttensandhaltigen Zemente an die der Portlandzemente weitest möglich anzupassen bzw. im Hinblick auf bestimmte Eigenschaften zu optimieren. Da die 2-Tage-Festigkeit hüttensandhaltiger Zemente in der Regel niedriger ist als die von Portlandzementen setzen manche Zementwerke den CEM II- bzw. CEM III-Zementen Bypassstäube aus der Klinkerherstellung zu. Diese Bypassstäube enthalten höhere Salzkonzentrationen, die sich positiv auf die Festigkeitsentwicklung dieser Zementsorten auswirkt. Durch entsprechende Untersuchungen wurde das Potential dieser Technik ermittelt. Wesentliches Ergebnis war, dass eine optimale Dosierung der Bypassstäube zwischen 1 und 5 % im fertig ermahlenden Zement beträgt.

CO₂-MONITORING

- Bitte in grau unterlegte Felder im EDV-Programm MS-Excel die entsprechenden Daten eintragen -

Branche (Verband)	Verein Deutscher Zementwerke
-------------------	------------------------------

Verwendete Datenbasis: (STABUA-Daten = 1; Verbandsdaten = 2) 2

Tabelle I. Gesamtbrennstoffeinsatz fossiler Energieträger

	Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995	Berichtsjahr 1996	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
Brennstoff ¹	[Menge/a]	[Menge/a]	[Menge/a]	[Menge/a]	[Menge/a]	[Menge/a]
Steinkohlen [t/a]	1.644.625	1.469.786	1.294.985	1.294.722	1.084.902	996.062
Steinkohlenbriketts [t/a]	0	0	0	0	0	0
Steinkohlenkoks [t/a]	0	0	0	0	0	0
Rohbraunkohlen [t/a]	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenbriketts [t/a]	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenkoks[t/a]	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenstaub [t/a]	2.611.224	1.558.587	1.495.225	1.463.439	1.550.596	1.495.596
Hartbraunkohlen [t/a]	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks [t/a]	27.296	323.475	320.868	306.266	329.162	312.417
Heizöl-S [t/a]	109.673	81.528	58.125	54.245	112.235	143.871
Heizöl-L [t/a]	4.683	6.127	7.227	5.794	6.578	8.250
Erdgas [1000 m³/a] bzw.	0	0	0	0	0	0
Erdgas [1000 KWh/a]	666.667	308.145	354.125	490.893	186.774	178.817
Erdölgas [1000 m ³ /a]	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas [t/a]	0	0	0	0	0	0
Raffineriegas [1000 m ³ /a]	0	0	0	0	0	0
Kokereigas (Ortsgas) [1000 m³/a] bzw.	0	0	0	0	0	0
Kokereigas (Ortsgas) [1000 KWh/a]	0	0	0	0	0	0
Gichtgas [1000 m ³ /a]	0	0	0	0	0	0
Grubengas [1000 m ³ /a]	0	0	0	0	0	0
Sonstige Regelbrennstoffe [t/a]	135.514	27.141	26.354	23.268	50.523	42.491

Anm: Als Heizwerte (Hu) in [GJ/Bezugseinheit] werden - sofern auf Daten des Statistischen Bundesamtes (STABUA) zurückgegriffen wird - die oben genannten STABUA-Angaben verwendet.

Falls verbandseigene Energieverbrauchswerte vorliegen, werden die Heizwerte der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) angesetzt.

1) Die Brennstoffverbräuche aus den Angaben des Statistischen Bundesamtes sind - sofern verwendet - neben den fett gedruckten Rubriken in die grau unterlegten Felder einzutragen.

[Bitte branchenspezifische Besonderheiten vermerken; z.B. Anteil des Brennstoffeinsatzes in (Kraftwerks-) Betreiber-gesellschaften mit KWK u.ä.; ggf. mit Quellenangabe]

Datenbasis : Erhebung durch den Verein Deutscher Zementwerke

Tabelle III enthält nicht den Einsatz von Sekundärbrennstoffen

Branchenspezifische CO₂ - Emissionsfaktoren für Braunkohlenstaub und Petrolkoks

Basisjahr 1987

Selbstverpflichtung bezieht sich auf den spezifischen thermischen Energieverbrauch

Hu-STABUA

Tabelle Ia. Heizwerte (H_n) fossiler Energieträger (Statist. Bundesamt)

	Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995	Berichtsjahr 1996	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
Brennstoff	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]
Steinkohlen [t/a]	29,308	29,308	29,308	29,308	29,308	29,308
Steinkohlenbriketts [t/a]	29,308	29,308	29,308	29,308	29,308	29,308
Steinkohlenkoks [t/a]	28,428	28,429	28,429	28,429	28,429	28,429
Rohbraunkohlen [t/a]	7,913	8,792	8,792	8,792	8,792	8,792
Braunkohlenbriketts [t/a]	20,222	20,223	20,223	20,223	20,223	20,223
Braunkohlenkoks[t/a]	20,222	20,223	20,223	20,223	20,223	20,223
Braunkohlenstaub [t/a]	21,446	21,466	21,466	21,466	21,466	21,466
Hartbraunkohlen [t/a]	14,654	13,275	13,275	13,275	13,275	13,275
Petrolkoks [t/a]	29,308	31,018	31,018	31,018	31,018	31,018
Heizöl-S [t/a]	41,031	40,614	40,614	40,614	40,614	40,614
Heizöl-L [t/a]	42,705	42,733	42,733	42,733	42,733	42,733
Erdgas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Erdgas [1000 KWh/a]	3,249	3,249	3,249	3,249	4,249	5,249
Erdölgas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Flüssiggas [t/a]	45,887	45,987	45,987	45,987	45,987	45,987
Raffineriegas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Kokereigas (Ortsgas) [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Kokereigas (Ortsgas) [1000 KWh/a]	3,249	3,249	3,249	3,249	3,249	3,249
Gichtgas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Grubengas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Sonstige Regelbrennstoffe [t/a]	21,400	21,400	21,400	21,400	21,400	21,400

Quelle: Statistisches Bundesamt, FS 4, R. 4.1.1. Die Heizwerte der nicht in der Reihe des Statistischen Bundesamtes aufgeführten Energieträger entsprechen den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.

Hu-AGEB

Tabelle Ib. Heizwerte (H_u) fossiler Energieträger (Arbeitsg. Energiebilanzen)

	Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995 ²	Berichtsjahr 1996 ²	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
Brennstoff	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]	[GJ/ME]
Steinkohlen [t/a]	29,033	29,491	29,491	29,491	29,491	29,491
Steinkohlenbriketts [t/a]	31,401	31,401	31,401	31,401	31,401	31,401
Steinkohlenkoks [t/a]	28,430	28,601	28,601	28,601	28,601	28,601
Rohbraunkohlen [t/a]	8,994	8,781	8,781	8,781	8,781	8,781
Braunkohlenbriketts [t/a]	19,339	19,457	19,457	19,457	19,457	19,457
Braunkohlenkoks[t/a]	29,726	29,935	29,935	29,935	29,935	29,935
Braunkohlenstaub [t/a]	21,446	21,466	21,466	21,466	21,466	21,466
Hartbraunkohlen [t/a]	14,963	13,275	13,275	13,275	13,275	13,275
Petrolkoks [t/a]	29,308	31,018	31,018	31,018	31,018	31,018
Heizöl-S [t/a]	41,031	40,614	40,614	40,614	40,614	40,614
Heizöl-L [t/a]	42,705	42,733	42,733	42,733	42,733	42,733
Erdgas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Erdgas [1000 Kwh/a]	3,249	3,249	3,249	3,249	3,249	3,249
Erdölgas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Flüssiggas [t/a]	45,887	45,987	45,987	45,987	45,987	45,987
Raffineriegas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Kokereigas (Ortsgas) [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Kokereigas (Ortsgas) [1000 KWh/a]	3,249	3,249	3,249	3,249	3,249	3,249
Gichtgas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Grubengas [1000 m ³ /a]	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736	31,736
Sonstige Regelbrennstoffe [t/a]	21,400	21,400	21,400	21,400	21,400	21,400

1) Für die neuen Bundesländer sind die frühest verfügbaren Heizwerte aus dem Jahr 1991 verwendet und mit dem Brennstoffverbrauch aus dem Jahr 1990 gewichtet.

2) Bei den Heizwerten der Festbrennstoffe handelt es sich um mit den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen über die Energieverbräuche in den alten und neuen Bundesländern gewichtete Daten.

Für die alten und neuen Bundesländer sind die frühest verfügbaren Heizwerte aus dem Jahr 1993 verwendet und mit den Brennstoffverbräuchen aus dem Jahr 1995 gewichtet.

Joule

Tabelle Ic.

Gesamtbrennstoffeinsatz fossiler Energieträger, in GJ

	Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995	Berichtsjahr 1996	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
	[GJ/a]	[GJ/a]	[GJ/a]	[GJ/a]	[GJ/a]	[GJ/a]
Brennstoff						
Steinkohlen	47.747.582	43.345.305	38.190.267	38.182.498	31.994.726	29.374.773
Steinkohlenbriketts	0	0	0	0	0	0
Steinkohlenkoks	0	0	0	0	0	0
Rohbraunkohlen	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenbriketts	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenkoks	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenstaub	56.000.000	33.456.355	32.096.247	31.413.937	33.284.825	32.104.219
Hartbraunkohlen	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	800.000	10.033.545	9.952.685	9.499.765	10.209.947	9.690.558
Heizöl-S	4.500.000	3.311.173	2.360.669	2.203.093	4.558.299	5.843.188
Heizöl-L	200.000	261.817	308.811	247.608	281.090	352.556
Erdgas	2.165.733	1.001.040	1.150.412	1.594.715	606.755	580.906
Erdölgas	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0	0	0	0	0	0
Raffineriegas	0	0	0	0	0	0
Kokereigas (Ortsgas)	0	0	0	0	0	0
Gichtgas	0	0	0	0	0	0
Grubengas	0	0	0	0	0	0
Sonstige Regelbrennstoffe	2.900.000	580.818	563.966	497.936	1.081.187	909.298
Summen	114.313.315	91.990.051	84.623.057	83.639.553	82.016.829	78.855.497
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut	---	---	-7.366.994	-983.504	-1.622.724	-3.161.332
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH	---	---	-8,0	-1,2	-1,9	-3,9
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut	---	-22.323.264	-29.690.258	-30.673.762	-32.296.486	-35.457.818
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH	---	-19,5	-26,0	-26,8	-28,3	-31,0

Anm.: [Menge Brennstoff/a] multipliziert mit Hu =[GJ/a].

Strombilanz

Tabelle II. Nettofremdstrombezug (NFS)

	Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995	Berichtsjahr 1996	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
Strom bezogen [MWh/a]	3.802.415	3.643.891	3.495.830	3.466.606	3.630.086	3.730.717
Strom abgegeben [MWh/a]	0	0	0	0	0	0
NFS [MWh/a]	3.802.415	3.643.891	3.495.830	3.466.606	3.630.086	3.730.717
BW	10,434	10,434	10,434	10,434	10,434	10,434
NBE [GJ/a]	39.674.398	38.020.359	36.475.490	36.170.570	37.876.322	38.926.299
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut		---	-1.544.868	-304.920	1.705.752	1.049.977
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH		---	-4,1	-0,8	4,7	2,8
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut		-1654039	-3198908	-3503828	-1798076	-748099
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH		-4,2	-8,1	-8,8	-4,5	-1,9

Anm.: NBE (Nettobrennstoffeinsatz) = Summe aus [Strom bezogen, MWh/a] multipliziert mit einheitlichem BW und [Strom abgegeben, MWh/a] multipliziert mit einheitlichem (-BW).

BW _{1990,D} = 10,434 GJ/MWh
BW _{1987,ABL} = 10,024 GJ/MWh
BW _{1987,NBL} = 12,281 GJ/MWh

BW = Brennstoffwert. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird der nach der Substitutionsmethode (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) primärenergetisch bewertete durchschnittliche spezifische Brennstoffeinsatz - in [GJ/MWh] - in Kraftwerken der öffentlichen Versorgung verwendet. Dieser auf die Netto-Stromerzeugung der öffentlichen Kraftwerke Gesamtdeutschlands bezogene Wert ist für das betreffende Jahr in der VDEW-Statistik ausgewiesen. Um den meldenden Verbänden nicht die Effizienzsteigerungen in den Kraftwerken der öffentlichen Versorgung zuzurechnen, wird der Berechnung des Nettobrennstoffeinsatzes der Brennstoffwert des Basisjahrs 1990 zugrunde gelegt.

Spezifischer Brennstoffeinsatz bei der Stromerzeugung in EVU-Kraftwerken (BW) Angaben in GJ/MWh

Jahr	1987	1990
Alte Bundesländer (brutto)	9,409	9,379
Alte Bundesländer (netto)	10,024	10,053
Neue Bundesländer (brutto)	11,167	11,138
Neue Bundesländer (netto)	12,281	12,252
Deutschland insgesamt (brutto)	a)	9,672
Deutschland insgesamt (netto)	a)	10,434

a) Zusammenfassung nicht sinnvoll.

Quellen: 1987-1994 Statistischer Jahresbericht des Referats Elektrizitätswirtschaft im BMWi, Statistisches Bundesamt.

Gesamtbilanz

Tabelle III. Energieeinsatz gesamt (Summe Tabellen I und II)

Basisjahr 1990 [GJ/a]	Berichtsjahr 1995 [GJ/a]	Berichtsjahr 1996 [GJ/a]	Berichtsjahr 1997 [GJ/a]	Berichtsjahr 1998 [GJ/a]	Berichtsjahr 1999 [GJ/a]
GJ/a mit Fremdstrom	GJ/a mit Fremdstrom	GJ/a mit Fremdstrom	GJ/a mit Fremdstrom	GJ/a mit Fremdstrom	GJ/a mit Fremdstrom
153.987.713	130.010.410	121.098.547	119.810.123	119.893.151	117.781.796
GJ/a ohne Fremdstrom	GJ/a ohne Fremdstrom	GJ/a ohne Fremdstrom	GJ/a ohne Fremdstrom	GJ/a ohne Fremdstrom	GJ/a ohne Fremdstrom
114.313.315	91.990.051	84.623.057	83.639.553	82.016.829	78.855.497
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut	---	-8.911.863	-1.288.424	83.028	-2.111.355
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH	---	-6,9	-1,1	0,1	-1,8
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut	-23.977.304	-32.889.166	-34177590,5	-34094562,3	-36205916,8
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH	-15,6	-21,4	-22,2	-22,1	-23,5
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut	---	-7.366.994	-983.504	-1.622.724	-3.161.332
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH	---	-8,0	-1,2	-1,9	-3,9
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut	-22.323.264	-29.690.258	-30.673.762	-32.296.486	-35.457.818
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH	-19,5	-26,0	-26,8	-28,3	-31,0

Angaben ohne Sekundärbrennstoffe

CO₂-Energie

Tabelle IV. CO₂-Emissionen aus Tabelle I

Brennstoff	CO ₂ -Faktor	Basisjahr 1987 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1995 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1996 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1997 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1998 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1999 [tCO ₂ /a]
Steinkohlen	0,093	4.440.525	4.031.113	3.551.695	3.550.972	2.975.510	2.731.854
Steinkohlenbriketts	0,093	0	0	0	0	0	0
Steinkohlenkoks	0,105	0	0	0	0	0	0
Rohbraunkohlen	0,112	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenbriketts	0,098	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenkoks	0,106	0	0	0	0	0	0
Braunkohlenstaub	0,093	5.208.000	3.111.441	2.984.951	2.921.496	3.095.489	2.985.692
Hartbraunkohlen	0,097	0	0	0	0	0	0
Petrolkoks	0,096	76.800	963.220	955.458	911.977	980.155	930.294
Heizöl-S	0,078	351.000	258.271	184.132	171.841	355.547	455.769
Heizöl-L	0,074	14.800	19.374	22.852	18.323	20.801	26.089
Erdgas	0,056	121.281	56.058	64.423	89.304	33.978	32.531
Erdölgas	0,059	0	0	0	0	0	0
Flüssiggas	0,065	0	0	0	0	0	0
Raffineriegas	0,060	0	0	0	0	0	0
Kokereigas (Ortsgas)	0,044	0	0	0	0	0	0
Gichtgas	0,105	0	0	0	0	0	0
Grubengas	0,054	0	0	0	0	0	0
Sonstige Regelbrennstoffe	0,093	269.700	54.016	52.449	46.308	100.550	84.565
Summen		10.482.106	8.493.495	7.815.960	7.710.222	7.562.030	7.246.793
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut			---	-677.535	-105.737	-148.192	-315.237
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH			---	-8,0	-1,4	-1,9	-4,2
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut			-1988611,4	-2.666.147	-2.771.884	-2.920.076	-3.235.313
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH			-19,0	-25,4	-26,4	-27,9	-30,9

Anm.: [GJ Brennstoff / a] multipliziert mit CO₂-Faktor = [tCO₂/a].

Als CO₂-Faktoren sind die Werte aus BMU (Hrsg.), Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland

nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, September 1994 zu verwenden.

CO2-Strom

Tabelle V. CO₂-Emissionen aus Tabelle II (NFS: Nettofremdstrombezug)

	Basisjahr 1987 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1995 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1996 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1997 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1998 [tCO ₂ /a]	Berichtsjahr 1999 [tCO ₂ /a]
Nettofremdstrombezug [MWh/a]	3.802.415	3.643.891	3.495.830	3.466.606	3.630.086	3.730.717
EF	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Co ₂ -Emissionen [t CO ₂ /a]	2.547.618	2.441.407	2.342.206	2.322.626	2.432.158	2.499.580
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut	---	---	-99.201	-19.580	109.532	67.422
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH	---	---	-4,1	-0,8	4,7	2,8
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut	---	-106.211	-205.412	-224.992	-115.460	-48.038
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH	---	-4,2	-8,1	-8,8	-4,5	-1,9

Anm.: [Nettofremdstrombezug, MWh/a] multipliziert mit einheitlichem EF= [tCO₂/a].

EF _{1990,D} = 0,67 t CO ₂ /MWh _{netto}
EF _{1987,ABL} = 0,56 t CO ₂ /MWh _{netto}
EF _{1987,NBL} = 1,18 t CO ₂ /MWh _{netto}

EF = Spezifischer CO₂-Emissionsfaktor in [tCO₂/MWh] bezogen auf den gesamten Energieträgermix der Netto-Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung in Ost- und Westdeutschland im Jahr 1990.

Spezifische CO₂-Emissionsfaktoren bei der Stromerzeugung in EVU-Kraftwerken (EF)Angaben in t CO₂/MWh

Alte Bundesländer	1987	1990
Fossile Energieträger (brutto)	0,91	0,89
Fossile Energieträger (netto)	0,97	0,97
Alle Energieträger (brutto)	0,52	0,51
Alle Energieträger (netto)	0,56	0,55
Neue Bundesländer	1987	1990
Fossile Energieträger (brutto)	1,25	1,24
Fossile Energieträger (netto)	1,37	1,38
Alle Energieträger (brutto)	1,07	1,14
Alle Energieträger (netto)	1,18	1,27
Deutschland insgesamt	1987	1990
Fossile Energieträger (brutto)	a)	0,98
Fossile Energieträger (netto)	a)	1,07
Alle Energieträger (brutto)	a)	0,62
Alle Energieträger (netto)	a)	0,67

a) Zusammenfassung nicht sinnvoll.

Quelle: Berechnungen nach Angaben des Statistischen Jahresberichts des Referats Elektrizitätswirtschaft des BMWi.

Co2-Gesamt

Tabelle VI. CO₂-Emissionen gesamt (Summe Tabellen IV und V)

Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995	Berichtsjahr 1996	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
tCO ₂ /a mit Fremdstrom	tCO ₂ /a mit Fremdstrom	tCO ₂ /a mit Fremdstrom	tCO ₂ /a mit Fremdstrom	tCO ₂ /a mit Fremdstrom	tCO ₂ /a mit Fremdstrom
13.029.724	10.934.902	10.158.166	10.032.849	9.994.188	9.746.373
tCO ₂ /a ohne Fremdstrom	tCO ₂ /a ohne Fremdstrom	tCO ₂ /a ohne Fremdstrom	tCO ₂ /a ohne Fremdstrom	tCO ₂ /a ohne Fremdstrom	tCO ₂ /a ohne Fremdstrom
10.482.106	8.493.495	7.815.960	7.710.222	7.562.030	7.246.793
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut	---	-776.736	-125.317	-38.661	-247.814
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH	---	-7,1	-1,2	-0,4	-2,5
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut	-2.094.822	-2.871.558	-2996875,7	-3035536,5	-3283350,9
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH	-16,1	-22,0	-23,0	-23,3	-25,2
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut	---	-677.535	-105.737	-148.192	-315.237
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH	---	-8,0	-1,4	-1,9	-4,2
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut	-1.988.611	-2.666.147	-2.771.884	-2.920.076	-3.235.313
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH	-19,0	-25,4	-26,4	-27,9	-30,9

Spez.Energie

Bezugsgröße für den spezifischen Energieeinsatz:.....

Zementproduktion

Tabelle VII. Spezifischer Energieeinsatz (Jahresdurchschnitt; nur fossile Energieträger)

	Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995	Berichtsjahr 1996	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
Energieeinsatz gesamt [GJ/a] mit Fremdstrom (s. Tabelle III) bzw. Energieindex	153.987.713	130.010.410	121.098.547	119.810.123	119.893.151	117.781.796
Produzierte Menge [t/a] bzw. Produktionsindex	34.166.231	34.202.694	32.551.461	33.373.245	34.684.849	36.568.195
Spezifischer Energieeinsatz [GJ / Bezugsgröße] bzw. [Energieindex / Produktionsindex]	4,51	3,80	3,72	3,59	3,46	3,22
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut		---	-0,08	-0,13	-0,13	0
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH		---	-2,1	-3,5	-3,7	-6,8
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut		-0,71	-0,79	-1	-1	-1
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH		-15,7	-17,5	-20,3	-23,3	-28,5

Spez.CO2

Tabelle VIII. Spezifische CO2-Emissionen (Jahresdurchschnitt)

	Basisjahr 1987	Berichtsjahr 1995	Berichtsjahr 1996	Berichtsjahr 1997	Berichtsjahr 1998	Berichtsjahr 1999
CO2-Emissionen gesamt, mit Fremdstrom [tCO ₂ /a] (s. Tabelle VI) bzw. Emissionsindex	13.029.724	10.934.902	10.158.166	10.032.849	9.994.188	9.746.373
Produzierte Menge [t/a] bzw. Produktionsindex	34.166.231	34.202.694	32.551.461	33.373.245	34.684.849	36.568.195
Spezifische CO2-Emissionen [tCO ₂ /Bezugsgröße] bzw. [Emissionsindex / Produktionsindex]	0,381	0,320	0,312	0,301	0,288	0,267
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut		---	-0,008	-0,011	-0,012	0
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH		---	-2,4	-3,7	-4,2	-7,5
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut		-0,062	-0,069	-0,081	-0,093	-0,115
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH		-16,2	-18,2	-21,2	-24,4	-30,1

NACHRICHTLICH ¹

Tabelle IX. Gesamteinsatz sonstiger Energieträger

Sek.	Basisjahr 1987			Berichtsjahr 1995			Berichtsjahr 1996			Berichtsjahr 1997			Berichtsjahr 1998			Berichtsjahr 1999		
	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]
Sekundärbrennst.	29,308	168314	4932947	29,308	373863	10957176,8	29,308	445835	13066532,2	29,308	536755	15731216	29,308	640070	18759171,56	29,308	800221	23452877,07
			0			0			0			0			0			0
			0			0			0			0			0			0
			0			0			0			0			0			0
Summen			4932946,7			10957176,8			13066532,2			15731215,54			18759171,56			23452877,07
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut			---			---			2.109.355			2.664.683			3.027.956			4.693.706
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH			---			---			19,3			20,4			19,2			25,0
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut			---			6.024.230			8.133.585			10.798.269			13.826.225			18.519.930
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH			---			122,1			164,9			218,9			280,3			375,4

Nachw.	Basisjahr 1987			Berichtsjahr 1995			Berichtsjahr 1996			Berichtsjahr 1997			Berichtsjahr 1998			Berichtsjahr 1999		
	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]	Hu	[ME/a]	[GJ/a]
			0			0			0			0			0			0
			0			0			0			0			0			0
			0			0			0			0			0			0
			0			0			0			0			0			0
Summen			0			0			0			0			0			0
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) absolut			---			---			0			0			0			0
Differenz (Berichtsjahr-Vorjahr) in vH			---			---			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) absolut			---			0			0			0			0			0
Differenz (Berichtsjahr-Basisjahr) in vH			---			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!

Anm.: [ME/a] multipliziert mit Hu = [GJ/a]

- Sek.= Sekundärbrennstoffe (Siedlungsabfall, Altreifen, Produktionsrückstände etc.).
- Hu = Heizwert in [GJ/ME]; Angabe der Quelle(n) erforderlich, z.B. K.U. Birnbaum, R. Pauls, H.J. Wagner, M. Walbeck, "Berechnung sektoraler Kohlendioxidemissionen für die Bundesrepublik Deutschland", KFA-Bericht JÜL-2530, Jülich 1991.
- ME= Mengeneinheit.
- Nachw.= Nachwachsende Brennstoffe (Holz, Biogas etc.).

Raum für weitere branchenspezifische nachrichtliche Angaben

siehe gesonderten Bericht

1) Der Co2-Monitoring-Bericht bezieht sich auf fossile Brennstoffe und Fremdstrom. Aus dem Einsatz von anderen energetisch genutzten Stoffen und nachwachsenden Brennstoffen etc. resultierende CO2-Emissionen werden nicht durch den Einsatz von fossilen Primärenergieträgern verursacht. Angaben zum Einsatz von anderen energetisch genutzten Stoffen und nachwachsenden Brennstoffen etc. erscheinen daher in der Rubrik "Nachrichtlich". Sie dienen der Verbesserung der Transparenz.