
Monitoring-Abschlussbericht 1990 -2012

Verminderung der CO₂-Emissionen

Beitrag der deutschen Zementindustrie

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Situation der Zementindustrie im Berichtszeitraum.....	7
3	Monitoring 1995 bis 2012	9
4	Energieeinsatz	10
4.1	Energieeinsatz bei der Zementherstellung	10
4.2	Energieeinsatz 1990 bis 2012.....	12
4.2.1	Thermischer Energieeinsatz.....	12
4.2.2	Elektrischer Energiebedarf	13
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.....	17
6.2	Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen	17
6.3	Einsatz von alternativen Brennstoffen.....	19
7	Anhang	21

Verein Deutscher Zementwerke e.V.

Düsseldorf, Juni 2013

1 Zusammenfassung

Die deutsche Zementindustrie ist im Jahr 1995 zusammen mit anderen Branchen eine Selbstverpflichtung zum Klimaschutz eingegangen, die eine Reduktion des spezifischen Brennstoffeinsatzes von 1987 bis 2005 um 20 % vorsah. Im November 2000 haben die Bundesregierung sowie Spitzenverbände der deutschen Wirtschaft eine weiterentwickelte Vereinbarung zum Klimaschutz unterzeichnet, unter der sich die deutsche Zementindustrie verpflichtet hat, ihre energiebedingten CO₂-Emissionen (aus Brennstoff- und Strombedarf) bezogen auf das Basisjahr 1990 im Durchschnitt des Zeitraums 2008-2012 um 28 % zu senken. Tatsächlich wurden die spezifischen energiebedingten CO₂-Emissionen in dieser Zeit um 49 % gesenkt, womit das Ziel mehr als erreicht wurde. Im Rahmen dieser Klimavereinbarung hatte die Bundesregierung als Gegenleistung u. a. zugesagt, die Industrie bei der Entscheidung über die Einführung weiterer Instrumente, wie z. B. einen CO₂-Emissionshandel, zu beteiligen. Die Zementindustrie hat sich von Beginn an äußerst skeptisch gegenüber diesem neuen Instrument geäußert. Grund hierfür war nicht die Ablehnung des Emissionshandels als Instrument an sich. Vielmehr wurde befürchtet, dass die Ausgestaltung dieses Instruments zu neuen Wettbewerbsnachteilen für die europäische Industrie und insbesondere für die energieintensive Industrie führen würde. Heute bestätigen verschiedene internationale Studien die Bedenken der Zementindustrie. Die freiwillige Vereinbarung zum Klimaschutz hat letztlich durch die Einführung des Emissionshandels an politischer Bedeutung verloren.

Für die Zeit ab 2013, seit das das Kyoto-Protokoll ausgelaufen ist, gibt es bislang kein neues weltweites Abkommen. Zu einer zweiten Periode des Kyoto-Protokolls haben sich jedoch 35 Industrie-Länder auf der Klima-Konferenz in Durban im Dezember 2011 verpflichtet. Ab 2020, so die Übereinkunft, soll es ein weltweites Abkommen über neue Reduktions-Ziele geben, die noch durch die internationale Staatengemeinschaft verhandelt werden müssen. Diese Bemühungen sind bisher nur von eingeschränktem Erfolg. Insbesondere die USA sowie wichtige Schwellenländer wie China und Indien akzeptieren bislang keine quantitativen Minderungsvorgaben.

Die Europäische Union hat sich Anfang 2007 auf eine weitergehende Verminderung der Treibhausgasemissionen verständigt. Demnach sollen die Treibhausgasemissionen der EU bis zum Jahr 2020 um mindestens 20 % gesenkt werden. Basis ist weiterhin das Jahr 1990. Unter der Voraussetzung, dass andere wichtige CO₂-Emittenten, wie vor allem die USA, ebenfalls entsprechende Minderungsvorgaben akzeptieren, ist die EU bereit, eine Minderung bis 2020 um bis zu 30 % anzustreben.

Die deutsche Bundesregierung hatte sich bereits in ihrem Klimaschutzprogramm darauf festgelegt, die Treibhausgasemissionen Deutschlands bis 2020 um mindestens 30 % zu mindern.

Die EU hat für die Umsetzung dieser Zielvorgaben ein umfangreiches Klimapakett verabschiedet. Die darin enthaltene Emissionshandelsrichtlinie legt die Fortsetzung des europäischen Emissionshandelssystems nach dem Jahr 2012 fest. Im Zuge seiner Umsetzung wurde die Gefährdung der Zementindustrie in Europa durch mögliche Produktionsverlagerung (Carbon Leakage) anerkannt. Sie erhält deshalb eine kostenlose Zuteilung von CO₂-Emissionsrechten auf der Grundlage eines produktspezifischen Benchmarks. Die Gefährdung der unterschiedlichen Industrien für Carbon Leakage wird aktuell mit Geltung ab 2015 durch die EU Kommission neu bewertet.

Zementproduktion

Der Berichtszeitraum 1990 bis 2012 war für die deutsche Zementindustrie von mehreren konjunkturellen Schwankungen in der Bauwirtschaft mit entsprechenden Auswirkungen auf die Zementproduktion gekennzeichnet. So lag das absolute Produktionsmaximum 1999 bei 36,6 Mio. t, das Minimum während der Wirtschaftskrise in 2009/2010 bei 31,0 Mio. t (2009). Daneben gab es ebenfalls geringe Jahresproduktionsmengen in den Jahren 1996/1997, 2002 und 2005.

CO₂-Monitoring

Die in dem vorliegenden Bericht zusammengestellten Daten zum Energieeinsatz und den CO₂-Emissionen der Zementindustrie in den Jahren 1995 bis 2012 basieren auf den jährlichen Umfragen des Vereins Deutscher Zementwerke. Zu der deutschen Zementindustrie gehörten Ende 1995 37 Unternehmen mit 66 Werken, die sich bis Ende 2012 auf 22 Unternehmen mit 54 Werken reduzierten. Der starke Rückgang der Zahl der Unternehmen ist u. a. auf eine Konsolidierung der Konzerngesellschaften in der Statistik zurückzuführen. An den Umfragen haben sich stets alle Werke mit Klinkererzeugung sowie der größte Teil der Mahlwerke beteiligt. Die Repräsentativität der Daten im Jahr 2012 ist somit wie in den Vorjahren sehr hoch (z. B. 99 % bezogen auf die Zementproduktion im Jahr 2012). Für die nicht erfassten Unternehmen wurden Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten des VDZ durchgeführt.

Ergebnisse 1990 - 2012

Der spezifische Energiebedarf der Zementindustrie sank von 3200 kJ/kg Zement im Jahr 1990 auf 2866 kJ/kg im Jahr 2012 (**Bild 1, Tabelle V im Anhang**). Im Jahr 2006 wurde mit 2674 kJ/kg das Minimum im betrachteten Zeitraum erreicht. Da sich der auf die Klinkerproduktion bezogene Energieeinsatz gegenüber in diesem Zeitraum nur geringfügig verändert hat, ist die erreichte Minderung beim Zement vor allem auf die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zurückzuführen. Der Anteil der Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen stieg von 24 % in 1995 auf 71 % im Jahr 2012. Temporäre Rückgänge sind auf die mangelnde Verfügbarkeit einiger Zementhauptbestandteile wie z.B. granuliertem Hochofenschlacke aus der Stahlindustrie zurückzuführen. Außerdem sind die deutlichen Schwankungen im Energiebedarf von Jahr zu Jahr u. a. auch auf Lagerbestandsdifferenzen des Hauptbestandteils Klinker für die Zementproduktion zurückzuführen. Der absolute Brennstoffenergieeinsatz sank von 109,5 Mio. GJ/a im Jahr 1995 auf 93,9 Mio. GJ/a in 2012.

Der spezifische elektrische Energiebedarf betrug im Jahr 1990 107,4 kWh/t Zement. Bis 2001 folgte eine allmähliche Absenkung auf 99,8 kWh/t Zement. In den folgenden Jahren schwankte er zwischen 99,0 und 103,0 kWh/t Zement und stieg ab 2010 erneut auf höhere Werte von 109,8 bis 110,8 kWh/t Zement an. In absoluten Zahlen schwankte der elektrische Energiebedarf produktionsbedingt und durch die Veränderungen im spezifischen Energiebedarf zwischen 3,17 Mio. (2002) auf 3,74 Mio. MWh/a im Jahr 2011.

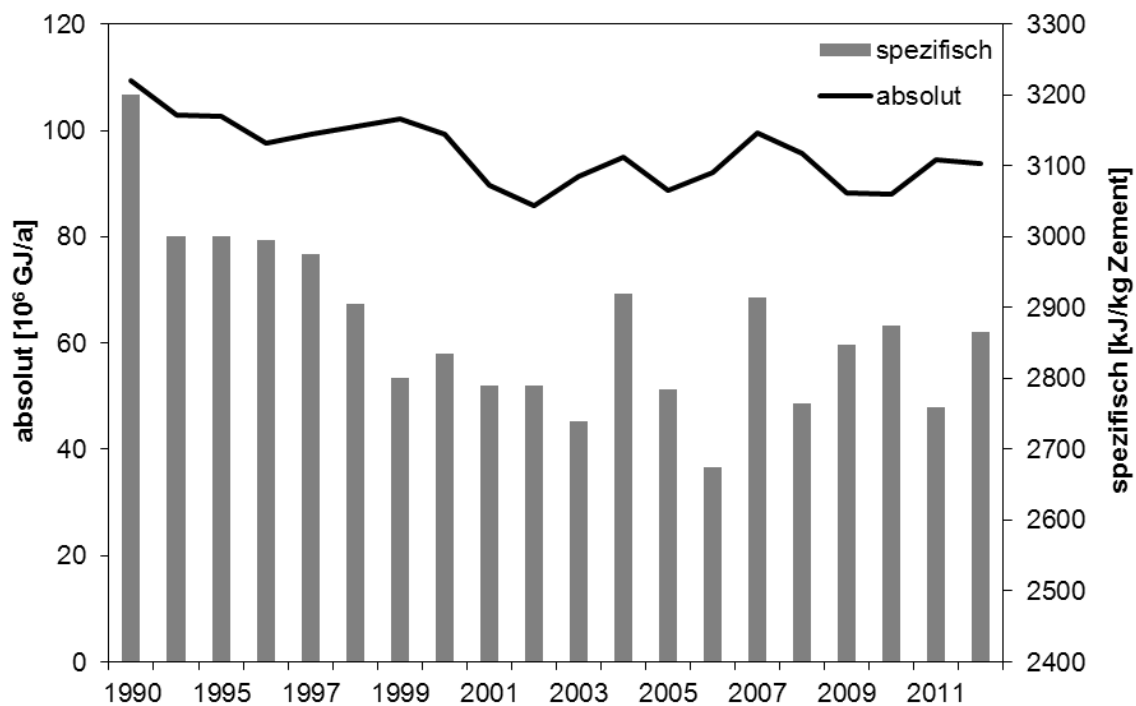


Bild 1: Spezifischer und absoluter Energiebedarf der deutschen Zementindustrie

Die spezifischen energiebedingten CO₂-Emissionen sanken von 0,352 (1990) auf 0,178 t CO₂/t Zement im Jahr 2012 (**Bild 2, Tabelle I im Anhang**). Dieser Rückgang ist einerseits auf die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen sowie andererseits auf den verstärkten Einsatz von alternativen Brennstoffen zurückzuführen. CO₂-Emissionen aus alternativen Brennstoffen werden im Rahmen der Selbstverpflichtung der Zementindustrie als neutral gerechnet. Der Anteil der alternativen Brennstoffe stieg von 7,4 % im Jahr 1990 auf 61,1 % im Jahr 2012. In absoluten Zahlen sanken die energiebedingten CO₂-Emissionen der Zementindustrie von 12,1 Mio. (1990) auf 5,8 Mio. t CO₂/a (2012).

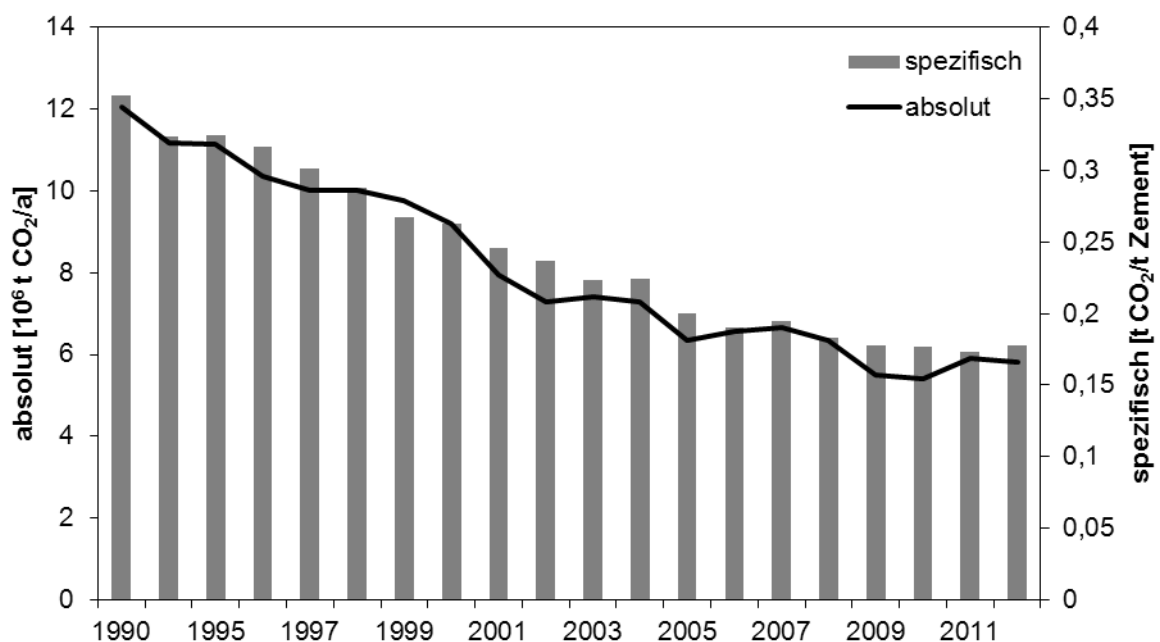


Bild 2: Spezifische und absolute energiebedingte CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie (ohne alternative Brennstoffe)

Die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen aus der Entsäuerung des Kalksteins sind nicht Gegenstand der Selbstverpflichtung der Zementindustrie, werden aber im Rahmen des Monitorings mit berichtet. Sie nahmen spezifisch von 0,450 (1990) auf 0,398 t CO₂/t Zement in 2012 ab. Die CO₂-Emissionen der Zementindustrie insgesamt sanken damit von 27,4 Mio. t/a (1990) auf 18,8 Mio. t/a im Jahr 2012.

2 Situation der Zementindustrie im Berichtszeitraum

Der Berichtszeitraum 1990 bis 2012 war für die deutsche Zementindustrie von mehreren konjunkturellen Schwankungen in der Bauwirtschaft mit entsprechenden Auswirkungen auf den Zementabsatz gekennzeichnet (**Bild 3**). So lag dieser im Jahr 1990 bei 27,4 t, erreichte 1999 mit 37,1 t das Maximum im Berichtszeitraum, und fiel wellenförmig bis auf 32,4 Mio. t in 2012 ab, wobei ein Minimum in 2010 mit 30,7 Mio. t erreicht wurde. Dieser letzte starke Rückgang der Bauwirtschaft war Folge der weltweiten Wirtschafts- und Finanzkrise in den Jahren 2008 - 2010. Die Zementindustrie war hiervon in besonderem Maße betroffen. In 2009 wurde ein massiver Absatzrückgang von knapp 12 % verzeichnet. Dies war der inländischen Nachfrageschwäche, aber auch den stark rückläufigen Exporten geschuldet. Nachdem die Zementexporte der deutschen Zementindustrie seit 2000 kontinuierlich gesteigert wurden, waren diese in 2009 um mehr als 20 % zurückgegangen. Im Jahr 2011 hat die Bauwirtschaft einen deutlichen Aufschwung erfahren. Der Zementabsatz lag mit 34,6 Mio. t um rund 13 % höher als in 2010 mit 30,7 Mio. t und kam damit zum ersten Mal wieder dem Niveau der Produktion im Vorkrisenjahr 2008 nahe (35,2 Mio. t). Dies ist in erster Linie auf den um knapp 14 % von 24,7 Mio. t in 2010 auf 28,1 Mio. t in 2011 gestiegenen Zementverbrauch in Deutschland zurückzuführen¹⁾. Der Absatzrückgang 2012 war zum größten Teil auf einen Einbruch des Exports um 14 % zurückzuführen. Aber auch der Inlandsabsatz war vorrangig witterungsbedingt um 5 % zurückgegangen.

Der geschätzte Zementverbrauch pro Kopf sank von 415 kg im Jahr 1991 (für 1990 noch nicht für Gesamtdeutschland erfasst) auf 326 kg pro Kopf und Jahr (2012). Der Umsatz der Zementindustrie lag 1990 bei 2,0 Mrd. €/a (3,9 Mrd. DM/a, nur alte Bundesländer), bei 2,2 Mrd. €/a im Jahr 2012.

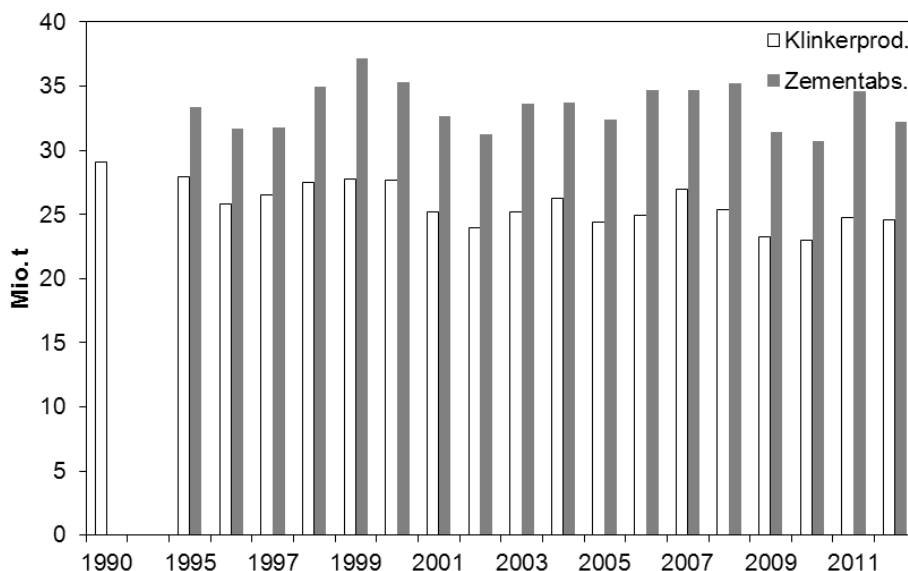


Bild 3: Klinkerproduktion und Zementabsatz in Deutschland

¹⁾ VDZ e. V.: Zahlen und Daten: Ausgabe 2012. Düsseldorf, 2012 (Zementabsatz 1990 für Gesamtdeutschland nicht verfügbar)

Die 2. Phase des CO₂-Emissionshandels

Die letzten fünf Jahre des Berichtszeitraums waren von der zweiten Phase des CO₂-Emissionshandels für den Zeitraum 2008 bis 2012 geprägt. Sie entspricht dem Zeitraum der Kyoto-Verpflichtungen zum Klimaschutz. Änderungen im Vergleich mit der ersten Phase be-

treffen eine Anpassung der Regeln für die Zuteilung und Berichterstattung (Monitoring-Leitlinien). Seit 1. Januar 2008 unterlagen alle Zementwerke, die Klinker produzieren, diesen Regeln, was dazu führte, dass die Bedeutung der Klimavereinbarung der deutschen Industrie gegenüber dem Emissionshandel an Bedeutung verloren hat. Seit dem 1. Januar 2013 gelten die neuen, europäisch harmonisierten Verordnungen der dritten Phase des Emissionshandels.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Instrumenten besteht in ihrem Geltungsbereich. Die Selbstverpflichtung zum Klimaschutz ist auf Branchenebene angelegt und ermöglicht so die Durchführung von Maßnahmen dort, wo sie branchenweit am günstigsten sind. Der Emissionshandel ist auf Anlagenebene angelegt und gibt der Industrie somit eine wesentlich geringere Flexibilität bei der Wahl ihrer Maßnahmen.

Die deutsche Zementindustrie hat sich von Beginn an äußerst skeptisch gegenüber dem Emissionshandel geäußert. Während die Idee des Emissionshandels grundsätzlich positiv bewertet wurde, wurde jedoch befürchtet, dass die Ausgestaltung dieses Instruments zu neuen Wettbewerbsnachteilen für die europäische Industrie und insbesondere die energieintensive Industrie führen würde. Trotz mehrjähriger Diskussionen konnten diese Bedenken nicht vollständig aus dem Weg geräumt werden. Vielmehr bestätigen heute zahlreiche internationale Studien die Bedenken der Zementindustrie.

Die schwerwiegende Wirtschaftskrise in Europa in den Jahren 2008 bis 2010 hat dazu geführt, dass die Menge des emittierten CO₂ im EU-ETS weit unter den Erwartungen und damit unter der kostenfreien Zuteilung von Zertifikaten in der zweiten Handelsperiode blieb, so dass die am Emissionshandel beteiligte Industrie, so auch die Zementindustrie, eine Überdeckung mit Zertifikaten erfuhr. Da aufgrund der geringen Nachfrage der CO₂-Preis seit 2008 kontinuierlich gefallen ist und die Preis-bezogenen Erwartungen der Politik nicht erfüllt werden, werden seit Beginn des Jahres 2013 Diskussionen über Eingriffe in die bestehenden Regeln der dritten Phase geführt. Diese sollen den CO₂-Zertifikatepreis künstlich in die Höhe treiben. Die Zementindustrie wäre aufgrund der geringeren Wertschöpfung ihrer Produkte im Vergleich zu anderen Industriebranchen besonders hart betroffen.

Selbstverpflichtung und Emissionshandel beziehen sich auf unterschiedliche Bilanzräume: Das Ziel der Selbstverpflichtung ist, die energiebedingten CO₂-Emissionen der Zementindustrie zu vermindern. Diese umfassen die direkten Emissionen aus den fossilen Regelbrennstoffen sowie die indirekten Emissionen aus dem elektrischen Energieeinsatz. Demgegenüber schließt der Emissionshandel die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler und abfallstämmiger (alternativer) Brennstoffe sowie die prozessbedingten Emissionen aus der Entsäuerung des als Rohstoff verarbeiteten Kalksteins ein. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass das Monitoring im Rahmen der Selbstverpflichtung alle Zementwerke einschließlich der Mahlwerke ohne Klinkerproduktion umfasst, der Emissionshandel dagegen nur die Werke mit Klinkerproduktion. Letztlich kommen z. T. unterschiedliche Emissionsfaktoren für die Brennstoffe zur Anwendung. Somit sind die in den unterschiedlichen Berichtssystemen veröffentlichten Daten nicht direkt vergleichbar, jedoch ineinander umrechenbar.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Bedeutung der Klimavereinbarung zwischen Bundesregierung und den deutschen Spitzenverbänden und damit auch die Einzelverpflichtungen der Industriebranchen durch die Einführung des CO₂-Emissionshandels deutlich an politischer Bedeutung verloren hat.

3 Monitoring 1995 bis 2012

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 hatte die deutsche Zementindustrie darüber hinaus bekräftigt, auch bis zum Jahr 2012 die relevanten Daten zum Energieeinsatz und zu den CO₂-Emissionen dem RWI und der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Deshalb wurden weiterhin im jährlichen Rhythmus die thermischen und elektrischen Energieverbräuche sowie die Produktionsdaten erhoben. Diese wurden gemeinsam mit den daraus berechneten CO₂-Emissionen der Zementindustrie in anonymisierter Form dem RWI zur Überprüfung übergeben. Aus den o. g. Gründen wird es zukünftig zwar möglich sein, Plausibilitätsprüfungen auf Basis der CO₂-Berichterstattung im Rahmen des Emissionshandels durchzuführen. Die Daten können jedoch nicht identisch sein.

Der Verein Deutscher Zementwerke hat auch in den Jahren 2011 und 2012 die thermischen und elektrischen Energieverbräuche sowie die Produktionsdaten der deutschen Zementindustrie abgefragt. Von den im Jahr 2012 in Deutschland tätigen zementherstellenden Unternehmen sind 21 im Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) organisiert. Insgesamt wurden 35 Werke mit Klinkererzeugung sowie 18 Mahlwerke betrieben (2012). An den Umfragen haben sich alle Klinker herstellenden Unternehmen sowie 14 der 18 Mahlwerke beteiligt. Der Erfassungsgrad war somit wie in den Vorjahren sehr hoch: Im Jahr 2012 betrug er 99 % bezogen auf die gesamte Zementproduktion. Die durch das Monitoring im Jahr 2012 erfasste Brennstoffmenge beträgt sogar nahezu 100 % des Gesamtverbrauchs. Für die nicht erfassten Unternehmen wurden wiederum Schätzungen der Energieeinsätze auf der Basis von Erfahrungswerten des Forschungsinstituts der Zementindustrie durchgeführt. Die Repräsentativität der Daten ist somit wie auch in den Vorjahren als sehr gut anzusehen.

4 Energieeinsatz

4.1 Energieeinsatz bei der Zementherstellung

Aufgrund des hohen Anteils der Energiekosten an den Herstellungskosten 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 Entwicklung des spezifischen Gesamtenergiebedarfs der Zementindustrie von 1990 bis 2012 ist in **Bild 4** dargestellt. Eine wesentliche Verminderung ist vor allem von 1990 bis 1995 erkennbar, eine schwächere Abnahme noch bis 2003. In dieser Zeit gab es u. a. Effizienzsteigerungen durch Anlagenneu- oder -umbauten. Einer weiteren Steigerung der Energieeffizienz sind Grenzen gesetzt. Zum einen betrifft dies die für die Stoffumwandlung erforderliche Reaktionsenthalpie, zum anderen gibt es auch nicht-technische Gründe, wie z. B. die Verfügbarkeit anderer Zementhauptbestandteile neben Klinker oder politische Ziele im Bereich des Umweltschutzes, die einer Verminderung des Energiebedarfs im Wege stehen. Zusammenfassend ist es der Zementindustrie in den vergangenen 10 – 15 Jahren jedoch gelungen, ihren Gesamtenergieverbrauch je Tonne Zement trotz dieser Herausforderungen in etwa konstant zu halten.

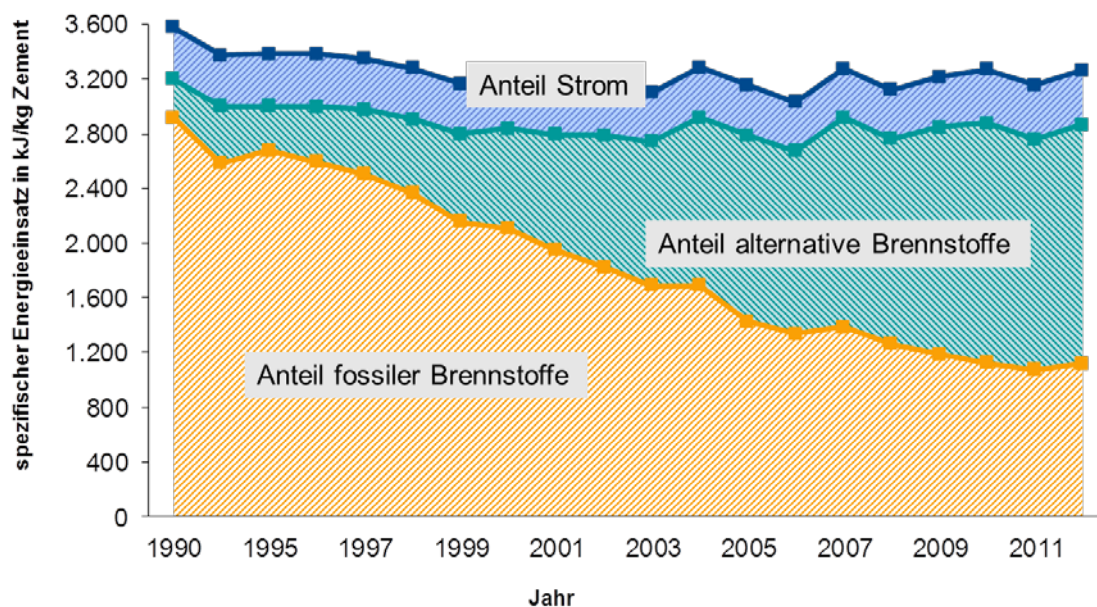


Bild 4: Spezifischer Energieeinsatz der deutschen Zementindustrie je kg Zement

Brennstoffenergie wird bei der Zementherstellung im Wesentlichen für das Brennen des Zementklinkers aufgewendet. Beim in Deutschland heute fast ausschließlich 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 und entsäuert. Das Brennen des Klinkers erfolgt in Drehrohröfen, wo das Brenngut bei Flammentemperaturen von über 2.000 °C auf die notwendige Sintertemperatur 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 Kohle oder Zumahlstoffen, wie z. B. Hüttensand. Die verbleibende Abwärme hat ein Temperaturniveau von 80 bis 150 °C und ist wirtschaftlich in der Regel nicht mehr verwertbar. Eine erste Anlage zur Abwärmenutzung (Ofenabgas) in Deutschland ging in 1999 in Betrieb.

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. Von 1990 bis 2008 konnte der elektrische Energiebedarf durch effizientere Verfahren zur Zementmahlung reduziert werden. Der Anstieg der letzten Jahre ist durch höhere Anforderungen an die Produktqualität (feiner aufgemahlene Zemente) und an den Umweltschutz begründet (**Bild 5**). Der Einsatz energieeffizienter Mühlentypen hat sich zwar weitestgehend durchgesetzt, aber da die Gebrauchseigenschaften der Zemente aus neuartigen Mühlen nicht ohne weiteres mit denen aus herkömmlichen Kugelmühlen vergleichbar sind, kann das damit verbundene Potential der Energieeinsparung nach wie vor nicht in vollem Umfang genutzt werden.

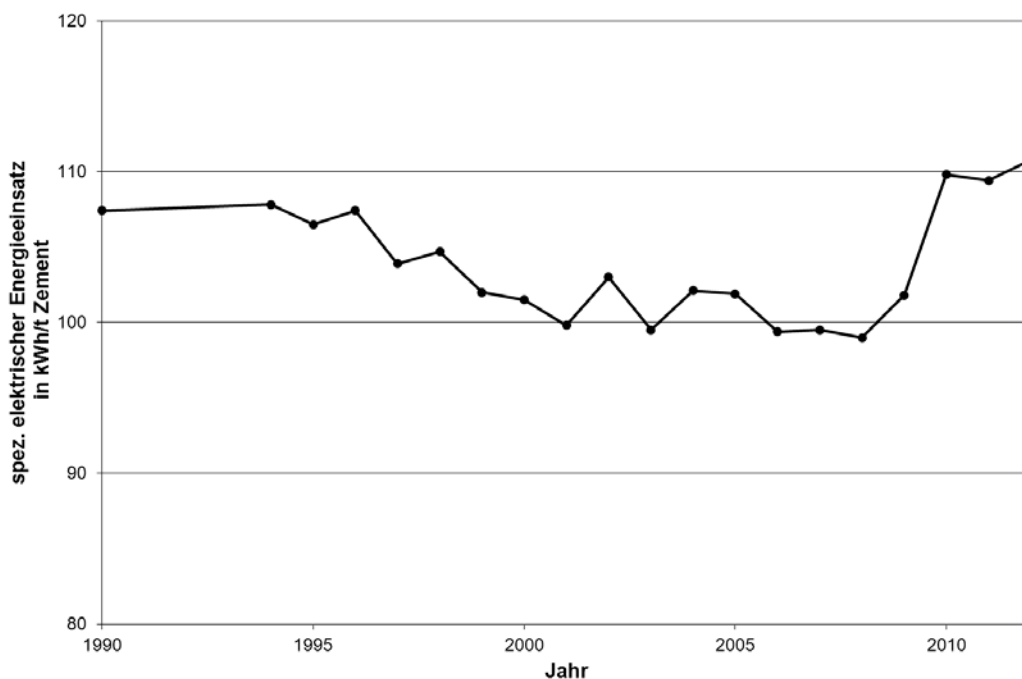


Bild 5: Spezifischer elektrischer Energiebedarf der deutschen Zementindustrie je t Zement

4.2 Energieeinsatz 1990 bis 2012

4.2.1 Thermischer Energieeinsatz

Die in den Jahren 1990 bis 2012 in der Zementindustrie eingesetzten Brennstoffmengen sind aufgeteilt nach Energieträgern in **Bild 6** dargestellt (Daten in Tabelle IV im Anhang) und ergeben in Summe den Gesamtbrennstoffenergieeinsatz (= oberste Linie in Bild 6).

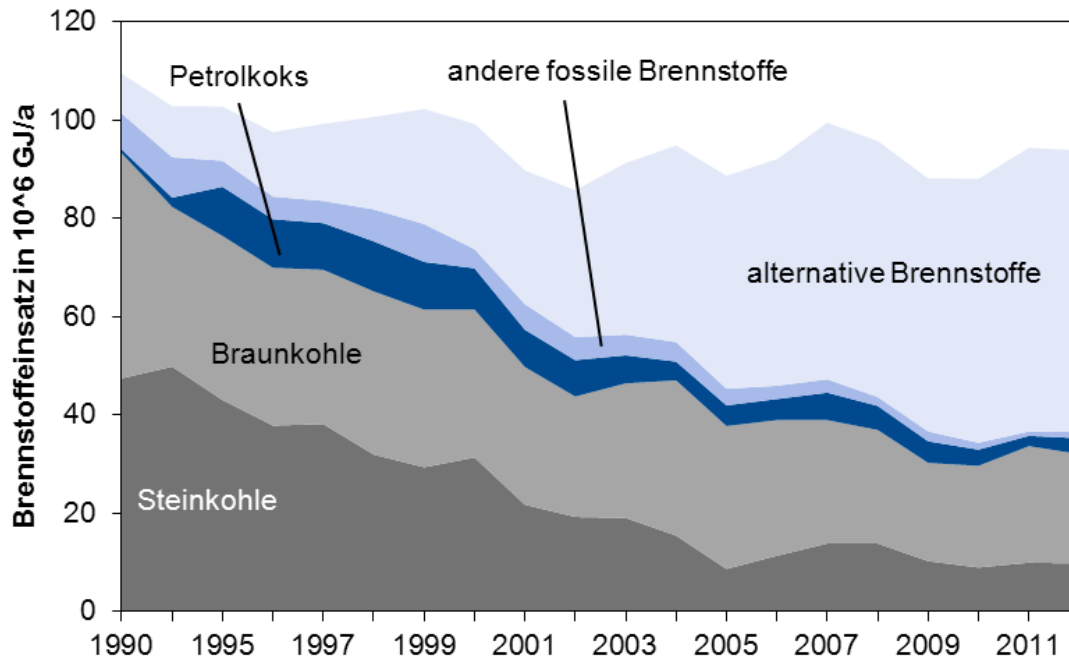


Bild 6: Brennstoffeinsatz nach Energieträgern in der deutschen Zementindustrie seit 1990

Der Gesamtbrennstoffenergieeinsatz ist von 109,5 Mio. GJ/a im Jahr 1990 auf 93,9 Mio. GJ/a im Jahr 2012 gesunken (Tabelle V, Anhang), was in erster Linie auf einen Rückgang von CEM I – Zementen im Zementportfolio (s. Kap. 6.2) zurückgeht. Gegenüber dem Jahr 1990 beträgt der absolute Rückgang des Brennstoffenergieeinsatzes damit 14,2 %. Die Substitution der fossilen Brennstoffe durch alternative Brennstoffe in der Zementindustrie hat in den letzten 3 Jahren ein konstant hohes Niveau mit einem Anteil von 61 % gehalten. Im Jahr 1990 betrug er lediglich 7,4 %. Durch den verstärkten Einsatz von alternativen Brennstoffen konnten im Berichtszeitraum vor allem Steinkohle und Braunkohle sowie in geringerem Maße Petrolkoks eingespart werden. So hat sich der Einsatz von Steinkohle von 47,5 Mio. GJ/a im Jahr 1990 auf 9,8 Mio. GJ/a im Jahr 2012 reduziert. Der Verbrauch an schwerem Heizöl sank von 4,2 Mio. GJ/a in 1990 auf 0,3 Mio. GJ/ in 2012. Die energetische Verwertung von Abfällen stellt nach Auffassung der Zementindustrie einen wesentlichen Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen dar, da fossile Brennstoffe in energetisch äquivalentem Maße ersetzt werden. Da darüber hinaus der thermische Wirkungsgrad von Drehofenanlagen zum Brennen von Zementklinker deutlich höher als der anderer Verwertungsverfahren ist, führt der Einsatz von alternativen Brennstoffen in der Zementindustrie insgesamt auch zu einer CO₂-Reduzierung. Im System des Emissionshandels wird diese allerdings nur hinsichtlich des Biomasseanteils der alternativen Brennstoffe berücksichtigt.

Neben den absoluten Energieeinsätzen im Jahr 1990 und von 1994 bis 2009 wurden auch die spezifischen Energieeinsätze ermittelt (Tabelle V, Anhang). Bei der Berechnung des

spezifischen Bedarfs wurde der Gesamteinsatz an thermischer Energie einschließlich der alternativen Brennstoffe berücksichtigt. Als Bezugsgröße wurde wiederum die aus dem in Deutschland hergestellten Zementklinker ermahlene Zementmenge (einschließlich Klinkerexport) eingesetzt. Zemente aus Importklinker blieben unberücksichtigt, da hierfür in Deutschland keine Brennstoffe verbraucht wurden. Der spezifische Brennstoffenergiebedarf der deutschen Zementindustrie lag im Jahr 2012 mit 2866 kJ/kg Zement um 334 kJ/kg Zement niedriger als im Jahr 1990 (3200 kJ/kg Zement).

Da sich der auf die Klinkerproduktion bezogene Energiebedarf gegenüber den Vorjahren geringfügig erhöht hat, sind die Veränderungen insgesamt vor allem auf die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zurückzuführen. Dies ist das Ergebnis der Bemühungen der Zementindustrie in den vergangenen Jahren, die Akzeptanz dieser Zementarten im Markt zu verbessern. So nahm der Anteil dieser Zemente am Zementabsatz insgesamt weiter zu. Der Vergleich des Anteils im Jahr 2012 (71 %, **Bild 8**) mit früheren Jahren zeigt deutlich, dass die Anstrengungen der deutschen Zementunternehmen, die Marktakzeptanz dieser Zemente mit geringeren spezifischen CO₂-Emissionen zu fördern, über längere Zeiträume hinweg erfolgreich ist. Inwieweit weitere Steigerungen möglich sind, hängt neben der Marktakzeptanz auch von den verfügbaren Hüttensandmengen und damit der Stahlproduktion sowie dem Anteil der granulierten Hochofenschlacke ab. Mit dem deutlichen Absatzzrückgang der Stahlindustrie war hier in den letzten Jahren eine abnehmende Verfügbarkeit von Hüttensand zu beobachten. Dies hat z. B. in den Jahren 2009/2010 einen geringeren Anteil von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen am Inlandsversand zur Folge gehabt. In den Jahren 2011 und 2012 konnte dieser Anteil jedoch wieder gesteigert werden.

4.2.2 Elektrischer Energiebedarf

Die Daten zum elektrischen Energiebedarf der deutschen Zementwerke sind in **Bild 4 und 5** sowie in **Tabelle III im Anhang** zusammengestellt. Demnach ist der absolute elektrische Energiebedarf im Wesentlichen der Entwicklung der Zementproduktion gefolgt. Er schwankte zwischen 3,17 und 3,74 Mio. MWh/a. Der spezifische elektrische Energiebedarf erreichte seinen Tiefpunkt mit 99,0 kWh/t Zement in 2008 und sein Maximum mit 110,8 kWh/t Zement in 2012. Die Entwicklung der letzten 4 Jahre zu tendenziell höheren Werten liegt u. a. im erhöhten Energiebedarf für die Mahlung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen sowie für Umweltschutzmaßnahmen begründet. Zwar trägt die Substitution von Klinker durch Hüttensand oder Kalkstein auch zu einer gewissen Verminderung des elektrischen Energiebedarfs bei, da der elektrische Energieaufwand für die Herstellung des substituierten Klinkers (Rohmaterialaufbereitung, Brennprozess) eingespart wird. Allerdings erfordern Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen, wie z. B. Hüttensand oder Kalkstein, einen höheren Mahlenergieaufwand, da sie bei gleicher Qualität feiner aufgemahlen werden müssen.

Es ist fraglich, ob eine signifikante Verminderung des derzeitigen spezifischen elektrischen Energiebedarfs zukünftig möglich sein wird. Aufgrund der steigenden Marktanforderungen an die Leistungsfähigkeit, wie z. B. die Feinmahlung der Zemente, ist insbesondere bei zunehmender Produktion von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen ein insgesamt höherer elektrischer Energiebedarf zur Feinmahlung zu erwarten. Auch höhere Anforderungen an die Abgasreinigung, wie sie z. B. durch die Novellierung der 17. BImSchV eingeführt wurden, tragen zu einer Erhöhung des elektrischen Energiebedarfs bei.

5 CO₂-Emissionen

5.1 Energiebedingte CO₂-Emissionen

In der Zementindustrie ist Kohlendioxid das einzige relevante emittierte Treibhausgas. Andere Treibhausgase, so auch die im Kyoto-Protokoll genannten, treten bei der Zementherstellung nicht oder nur in extrem geringen Mengen auf. Beim Klinkerbrennprozess entstehen CO₂-Emissionen durch die Umsetzung von Brennstoffenergie zur Erzeugung von Prozesswärme. Darüber hinaus wird Brennstoffenergie für Trocknungsprozesse anderer Hauptbestandteile des Zements, wie z. B. Hüttsand, aufgewendet.

Von 1990 bis 2012 sanken die brennstoffbedingten CO₂-Emissionen von 0,280 auf 0,103 t CO₂/t Zement (**Bild 7, Tabelle II im Anhang**). In absoluten Zahlen bedeutete dies eine Verminderung von 9,60 auf 3,39 Mio. t CO₂/a. Hierin sind die CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von alternativen Brennstoffen im Rahmen des Monitorings zur Vereinbarung zum Klimaschutz nicht berücksichtigt, da sie fossile Brennstoffe substituieren. Da die Abfälle ansonsten an anderen Stellen ihren Kohlenstoffgehalt zu CO₂ oder anderen Treibhausgasen freisetzen würden, führt der Einsatz von alternativen Brennstoffen insgesamt zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen.

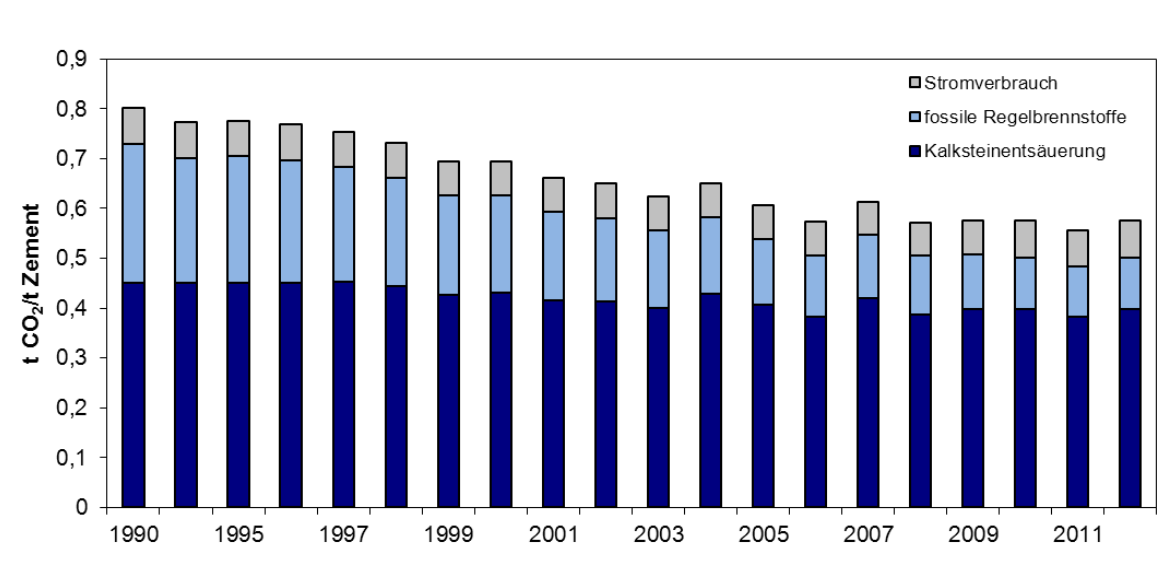


Bild 7: Spezifische CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie resultierend aus Kalksteinentsäuerung, Verbrennung von fossilen Regelbrennstoffen und Stromverbrauch

In dieser entsprechenden Berücksichtigung der alternativen Brennstoffe besteht ein wesentlicher Unterschied zur Berichterstattung im Rahmen des Emissionshandels. Der Emissionshandel umfasst alle fossilen Regelbrennstoffen sowie die fossilen Anteile der alternativen Brennstoffe. Nur die biogenen Anteile der Brennstoffe werden mit einem Emissionsfaktor von Null gerechnet.

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 Energiekosten maßgeblich die Herstellkosten des Zements beeinflussen, gehen die Bestrebungen der Zementindustrie aus Wettbewerbsgründen auch weiterhin dahin, fossile Regelbrennstoffen verstärkt durch alternative Brennstoffe aus Abfällen zu ersetzen. Inwiefern zukünftig der Einsatz biogener Brennstoffe weiter gesteigert wer-

den kann, bleibt abzuwarten (siehe auch Kapitel 6.3). 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 angewendeten 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 VII** in der Anlage zu entnehmen.

Die im Rahmen der Selbstverpflichtung vereinbarten und verwendeten Emissionsfaktoren unterscheiden sich ebenfalls von den im Emissionshandel bis 2012 in Deutschland vorgeschriebenen Werten. Quantitativ weichen die Werte zwar nur geringfügig ab, allerdings ist die Differenzierung beim Emissionshandel deutlich stärker.

Der elektrische Energiebedarf macht etwa 10 % des gesamten Energiebedarfs der Zementwerke aus. Als Primärenergie gerechnet ist der Anteil des elektrischen Energiebedarfs und damit der CO₂-Emissionen, die sich aus deren Einsatz ergeben, jedoch größer. Die durch den Stromverbrauch bedingten CO₂-Emissionen betragen im Berichtszeitraum zwischen 0,066 (2008) und 0,074 t CO₂/t Zement (2012). In absoluten Zahlen erreichten sie mit 2,5 Mio. t/a im Jahr 1999 einen Höhepunkt und mit 2,1 Mio. t/a im Jahr 2009 ein Minimum. Im Jahr 2012 lagen sie bei 2,4 Mio. t/a. Eine Eigenstromerzeugung findet in der deutschen Zementindustrie nur in sehr geringem Maße statt.

Für die berechneten indirekten CO₂-Emissionen aus dem Stromverbrauch werden im Rahmen des vom BDI organisierten Monitorings einheitliche CO₂-Emissionsfaktoren verwendet (siehe **Tabelle VII, Anlage**). Diese Faktoren basieren auf den statistischen Jahresberichten des Referats Elektrizitätswirtschaft des BMWi. Gemäß der zugrundeliegenden 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 CaO₃) wird CO₂ freigesetzt. Die je Tonne produzierten Klinkers erzeugten rohstoffbedingten CO₂-Emissionen hängen von der Rohstoffrezeptur ab, variiert aber nur in geringem Maße. Sie betragen in Deutschland ca. 0,53 t CO₂/t Klinker oder im Berichtszeitraum zwischen 0,453 (1997) und 0,383 t CO₂/t Zement (2006, 2011) (**Bild 7**). Die absoluten rohstoffbedingten CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie lagen zwischen 15,38 Mio. t CO₂ im Jahr 1990 und 12,31 Mio. t CO₂ im Jahr 2009. Für die letzten drei Jahre sowie das Jahr 1990 ergeben sich die in **Tabelle 1** dargestellten spezifischen bzw. absoluten CO₂-Emissionen. Eine Verminderung der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen ist – bezogen auf die Tonne Zement – nur in begrenztem Maße durch die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbe-

standteilen möglich. Bezogen auf die Tonne Klinker ist eine Reduzierung praktisch nicht möglich, da vorentsäuerte Rohstoffe nur sehr begrenzt verfügbar sind.

Tabelle 1: CO₂-Emissionen der Zementindustrie in den Jahren 2009 bis 2012

	Absolute CO ₂ -Emissionen in 10 ⁶ t/a				Spezifische CO ₂ -Emissionen in t CO ₂ /t Zement			
	1990	2010	2011	2012	1990	2010	2011	2012
thermisch bedingt ¹⁾	9,6	3,19	3,41	3,39	0,280	0,104	0,100	0,103
elektrisch bedingt	2,46	2,23	2,51	2,43	0,072	0,074	0,073	0,074
rohstoffbedingt	15,38	12,19	13,13	13,03	0,450	0,398	0,383	0,398
energiebedingt	12,06	5,42	5,92	5,82	0,352	0,178	0,173	0,177
gesamt	27,44	17,61	19,05	18,84	0,802	0,575	0,556	0,575

¹⁾ ohne alternative Brennstoffe

Zusammenfassend ergeben sich damit die in **Bild 7** und in **Tabelle II im Anhang** dargestellten spezifischen CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie für den Zeitraum 1990 bis 2012. Das Basisjahr für die auf die spezifischen energiebedingten CO₂-Emissionen umgestellte Selbstverpflichtung der Zementindustrie ist das Jahr 1990. Mit 49 % Minderung im Durchschnitt der Jahre 2008 – 2012 gegenüber dem Basisjahr ist die Selbstverpflichtung zur Minderung um 28 % erfüllt.

6 Maßnahmen zur Erreichung des Minderungsziels

6.1 Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes

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 bzw. grundlegend modernisiert. Nach 2010 wurden darüber hinaus an mehreren Anlagen Klinkerkühler älterer Bauart durch moderne effiziente Rostkühler ersetzt. Damit sind die deutschen Zementwerke heute auf einem hohen technischen Stand. Produktions- und Energieeffizienz sind feste Bestandteile der kontinuierlichen Anlagenoptimierung. Darüber hinaus befinden sich keine grundlegend neuen und effizienteren Verfahren zur Klinkerherstellung in der Entwicklung.

Einige aktuelle Forschungsansätze zielen auf die Entwicklung von alternativen mineralischen Bindemitteln für die Zementproduktion. Um sich als geeignet zu erweisen, müssen entsprechende Produkte jedoch zunächst die hohen Anforderungen an Zemente insbesondere hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit erfüllen.

Eine bloße Betrachtung des spezifischen Energieeinsatzes ist aus übergeordneter ökologischer Sicht nicht zielführend, da die Einflussgrößen auf den Energiebedarf der Zementherstellung komplex sind. Vielmehr kann nur eine Optimierung der gesamten Prozesskette einschließlich des Produktportfolios unter den jeweils gegebenen Randbedingungen zu einer langfristigen Optimierung der Energieeffizienz der Zementherstellung führen.

6.2 Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen

Die deutsche Zementindustrie hat auch in den letzten Jahren ihre Bemühungen fortgesetzt, verstärkt Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen neben Klinker in den Markt zu bringen. Im Jahr 2012 wurde wiederum mit einem Anteil dieser Zemente von 70,7 % ein Maximum erreicht (s. **Bild 8**: CEM II + III + Sonstige). Der Vergleich mit früheren Jahren zeigt deutlich, dass die Anstrengungen der deutschen Zementunternehmen, die Marktakzeptanz dieser Zemente mit geringeren spezifischen CO₂-Emissionen zu fördern, über längere Zeiträume hinweg erfolgreich sind. Nach einer langjährigen kontinuierlichen Steigerung ging der Anteil an Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen im Jahr 2009 auf 66 % zurück. Ursache hierfür war insbesondere die geringere Verfügbarkeit von Hüttensand im Zuge einer stark rückläufigen Stahlproduktion. Dieser Effekt macht die Abhängigkeit der Zementproduktion von anderen Faktoren in Bezug auf eine Optimierung ihres Produktportfolios deutlich. In den letzten drei Jahren konnte der Anteil der Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen wieder gesteigert werden. Inwieweit zukünftig weitere Steigerungen möglich sind, hängt neben der Marktakzeptanz auch von den verfügbaren Hüttensandmengen und damit der Stahlproduktion sowie dem Anteil der granulierten Hochofenschlacke ab.

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 Berichtszeitraum erzielte Verringerung des spezifischen Brennstoffenergiebedarfs vor allem auf die vermehrte Produktion

von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zurückzuführen. Wie aus **Tabelle 2** hervorgeht, stieg der Anteil der Zemente mit anderen Hauptbestandteilen von 38 % im Jahr 2000 auf 70 % im Jahr 2012. Im Jahr 1990 hatte dieser Anteil in den alten Bundesländern noch 29,4 % betragen. Während der Anteil der hüttensandhaltigen Zemente mit geringerem Hüttensandgehalt (6 – 35 %, CEM II/S) von 2008 bis 2009 von 22,1 auf 12,9 % stark abnahm und danach nur langsam wieder anstieg, ist der Anteil der Zemente mit hohem Hüttensandgehalt (36 – 80 %, CEM III) von 2008 bis 2009 deutlich weniger zurückgegangen (von 20,5 auf 17,9 %) und hat anschließend höhere Anteile erreicht als die CEM II/S-Zemente (21,9 % in 2012). Der Anteil der Portlandkalkstein-Zemente (CEM II/L-LL inkl. Ölschieferzement CEM II/T) konnte seit dem Jahr 2000 insgesamt auf mehr als das Doppelte gesteigert werden und erreichte im Jahr 2010 mit 24,3 % einen Höhepunkt. Im Jahr 2012 machten Portlandkalkstein-Zemente einen Anteil von 20,0 % des Inlandsversands aus. Der Anteil der sonstigen Zemente bewegte sich in den letzten sechs Jahren zwischen 9,2 und 11,4 % und lag in 2011 und 2012 konstant bei 10,3 %. Die Entwicklung des Inlandsversands von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen (CEM II-Zemente 6-35 %, CEM III-Zemente 36-80 %) ist in **Bild 8** zusammenfassend dargestellt.

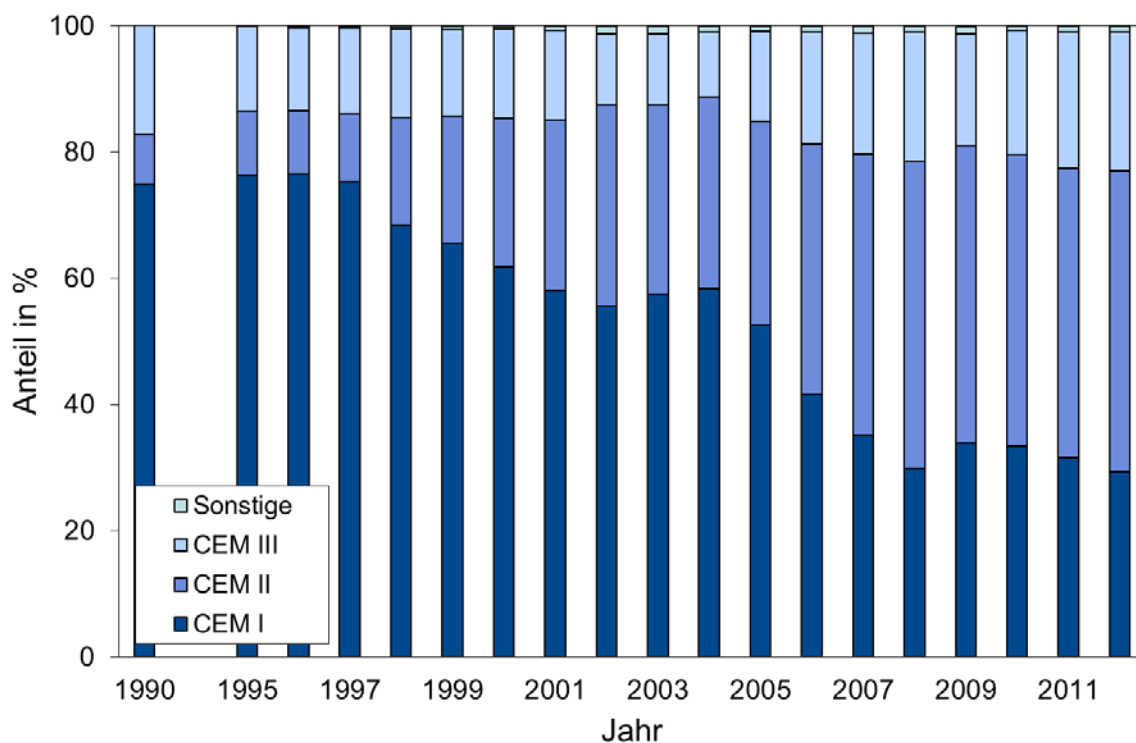


Bild 8: Anteil von CEM II- und CEM III-Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen (in % des Inlandsversandes; 1990 nur alte Bundesländer) Quelle: VDZ/BDZ Zahlen und Daten, Tabelle C.7, bis 2008 Tabelle C.9

Tabelle 2: Anteile von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen (in % des Inlandsver-sands)

Zementsorte	Anteil anderer Hauptbestandteile [%]	1990 [%]	2000 [%]	2001 [%]	2002 ¹⁾ [%]	2003 [%]	2004 [%]	2005 ¹⁾ [%]	2006 [%]
Portlandhüttenzement	6 – 35 (Hüttensand)	5,2	15,0	16,1	19,2	15,3	14,0	14,7	19,3
Portlandkalksteinzement	6 – 20 (Kalkstein)	k. A.	8,1	10,6	12,2	14,9	16,0	15,5	14,7
Hochofenzement	36 – 80 (Hüttensand)	16,2	14,2	14,1	10,7	11,4	10,4	14,4	17,7
Portlandpuzzolanzement	6 – 35 (Trass)	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1
Sonstige	---	7,5	0,4	0,7	1,3	1,3	1,1	2,5	6,5
Gesamt		29,4	38,2	42,1	43,9	43,3	41,7	47,2	58,3

Zementsorte	Anteil anderer Hauptbestandteile [%]	2007 [%]	2008 [%]	2009 [%]	2010 [%]	2011 [%]	2012 [%]
Portlandhüttenzement	6 – 35 (Hüttensand)	20,6	22,1	12,9	12,7	14,6	17,2
Portlandkalksteinzement	6 – 20 (Kalkstein)	15,1	16,6	23,7	24,3	21,3	20,0
Hochofenzement	36 – 80 (Hüttensand)	19,2	20,5	17,9	19,8	21,6	21,9
Portlandpuzzolanzement	6 – 35 (Trass)	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Sonstige	---	9,8	10,8	11,4	9,2	10,3	10,3
Gesamt		64,8	70,1	66,0	66,2	68,0	69,7

¹⁾ Werte 2002 und 2005 wegen Änderung des Berichtskreises mit den Vorjahren nicht vergleichbar
Quelle: VDZ/BDZ Zahlen und Daten, Tabelle C.7, bis 2008 Tabelle C.9; 1990 nur alte Bundesländer

6.3 Einsatz von alternativen Brennstoffen

Der Einsatz von alternativen Brennstoffen wird in der weiterentwickelten Selbstverpflichtung der Zementindustrie als CO₂-frei gerechnet. Durch ihren Einsatz als alternativer Brennstoff in der Zementindustrie werden traditionelle fossile Brennstoffe, z. B. Steinkohle, eingespart. Wesentlicher Grund hierfür ist, dass die Substitution fossiler Brennstoffe durch abfallstämmige alternative Brennstoffe zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen insgesamt führt. Diese Stoffe müssten ansonsten deponiert oder verbrannt werden, wobei sie ihr CO₂ freisetzen würden. Weiterhin stellen bestimmte Abfallstoffe, wie z. B. Tiermehl oder Klärschlamm, biogene Energieträger dar, die aufgrund ihrer Entstehung Kohlendioxid aus der Atmosphäre eingebunden haben.

Im Jahr 1990 machte der Einsatz von alternativen Brennstoffen erst einen Anteil von 7,4 % an der gesamten Feuerungswärmeleistung der Drehöfen aus und stieg seitdem kontinuierlich an (siehe auch **Bild 9**). Seit 2010 haben die deutschen Zementwerke den Anteil der alternativen Brennstoffe von zuletzt 58,4 % auf rund 61 % erhöht. Dies entspricht im Jahr 2012 einem Energieeinsatz von 57,3 Mio. GJ/a oder etwa 1,96 Mio. t SKE/a. Bezogen auf einen für die Zementindustrie typischen Heizwert von Steinkohle von 25 MJ/t entspricht dieser einer tatsächlichen eingesparten Kohlemenge von ca. 2,29 Mio. t/a. Deren Einsatz in den Drehrohröfen der Zementindustrie hätte ansonsten eine CO₂-Emission von 5,34 Mio. t/a verursacht.

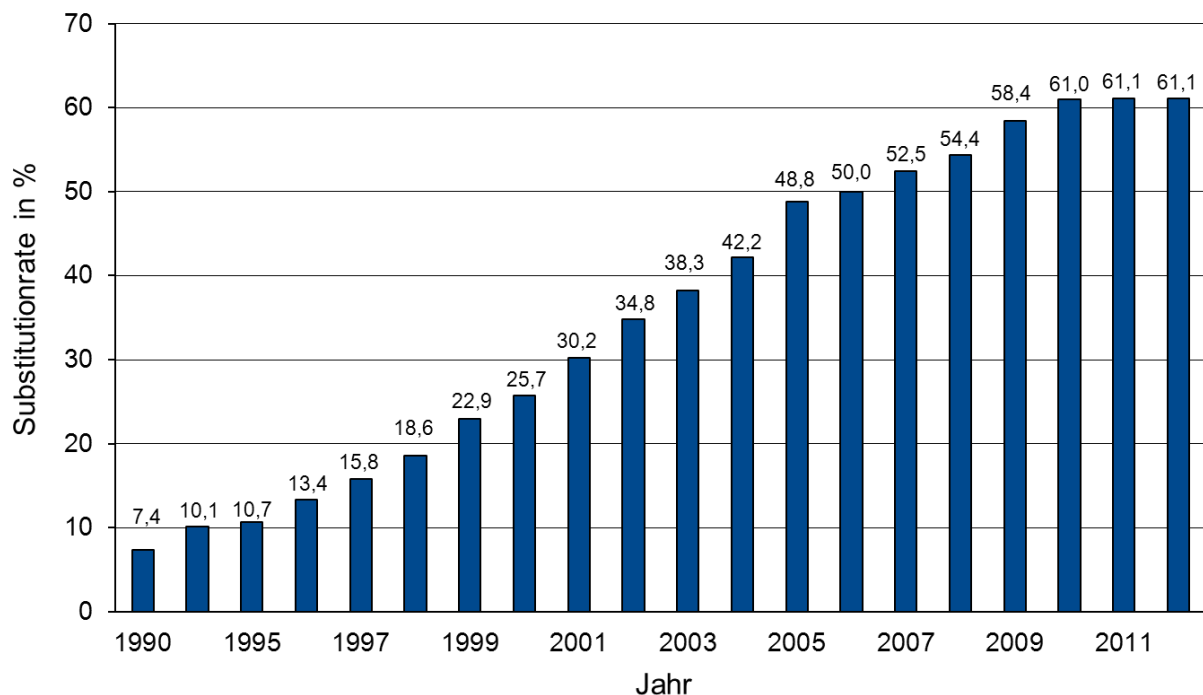


Bild 9: Die Entwicklung des Einsatzes alternativer Brennstoffe in der deutschen Zementindustrie

Die absolute Menge der insgesamt eingesetzten alternativen Brennstoffe hat im Zeitraum von 2010 bis 2012 von 2913 t auf 3105 t leicht zugenommen, was sich durch Änderungen der Mengen der im Einzelnen eingesetzten alternativen Brennstoffe ergibt (siehe **Tabelle VI, Anhang**). Über den Zeitraum von 1998 (Beginn der Erfassung) bis 2012 lassen sich folgende wesentliche Entwicklungen festhalten:

- Der Einsatz des „klassischen“ alternativen Brennstoffs Altreifen schwankt nur geringfügig zwischen 229.000 (1998) und 286.000 t/a (2011).
- Eine starke Zunahme ergab sich bei den Fraktionen aus Industrie-/Gewerbeabfällen von 176.000 (1998) auf 1.819.000 t/a (2012).
- Der Einsatz von Altöl hingegen hat immer mehr an Bedeutung verloren. Er ging von 168.000 auf 56.000 t/a zurück.
- Der Einsatz aufbereiteter Fraktionen aus Siedlungsabfall wurde in den letzten vier Jahren von 188.000 (2009) auf 356.000 t/a (2012) deutlich gesteigert. Diese heterogen zusammengesetzten alternativen Brennstoffe enthalten auch biogene Anteile in unterschiedlicher Höhe.
- Der Einsatz von Tiermehlen und -fetten nahm von 355.000 t/a im Jahr 2005 auf 176.000 t/a im Jahr 2012 ab. Dieser Trend bestätigt die Erwartung, dass diese Mengen in Zukunft nicht mehr im bisherigen Maße zur Verfügung stehen werden.
- Als weiterer biogener Brennstoff steht Klärschlamm, der zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, zur Verfügung. Sein Einsatz hat sich von 157.000 t (2005) auf 310.000 t (2012) nahezu verdoppelt.

7 Anhang

Tabelle I: Energiebedingte CO₂-Emissionen

Jahr	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen ¹⁾	
	absolut [10 ⁶ t CO ₂ /a]	spezifisch [t CO ₂ /t Zement]
1990	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
2000	9,21	0,263
2001	7,93	0,246
2002	7,28	0,237
2003	7,42	0,223
2004	7,28	0,224
2005	6,35	0,200
2006	6,55	0,190
2007	6,65	0,195
2008	6,34	0,183
2009	5,51	0,178
2010	5,42	0,177
2011	5,92	0,173
2012	5,82	0,178

¹⁾ ohne alternative Brennstoffe

Tabelle II: Spezifische CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie (in t CO₂/t Zement)

Jahr	aus thermischem Energieverbrauch ¹⁾	aus elektrischem Energieverbrauch	aus Kalkstein-entsäuerung	gesamt
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
2000	0,195	0,068	0,431	0,694
2001	0,179	0,067	0,415	0,661
2002	0,168	0,069	0,413	0,650
2003	0,156	0,067	0,401	0,624
2004	0,155	0,068	0,428	0,651
2005	0,132	0,068	0,406	0,606
2006	0,123	0,067	0,383	0,573
2007	0,128	0,067	0,419	0,614
2008	0,117	0,066	0,388	0,571
2009	0,110	0,068	0,398	0,575
2010	0,104	0,074	0,398	0,575
2011	0,100	0,073	0,383	0,556
2012	0,103	0,074	0,398	0,575

¹⁾ ohne alternative Brennstoffe

²⁾ Basisjahr der freiwilligen Vereinbarung zum Klimaschutz von 2000

Tabelle III: Elektrischer Energieaufwand der deutschen Zementindustrie

Jahr	Elektrischer Energieaufwand	
	absolut [10 ⁶ MWh/a]	spezifisch [kWh/t Zement]
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
2000	3,55	101,5
2001	3,21	99,8
2002	3,17	103,0
2003	3,32	99,5
2004	3,32	102,1
2005	3,24	101,9
2006	3,42	99,4
2007	3,40	99,7
2008	3,43	99,0
2009	3,15	101,8
2010	3,37	109,8
2011	3,74	109,4
2012	3,63	110,8

Tabelle IV: Brennstoffenergiebedarf nach Energieträgern

Brennstoff	1990	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	[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	47,5	49,9	43,1	37,9	38,2	32,0	29,4	31,4
Braunkohle	45,8	32,5	33,4	32,1	31,4	33,2	32,1	30,1
Petrolkoks	0,8	1,9	10,0	9,9	9,5	10,2	9,7	8,4
Heizöl S	4,2	5,8	3,3	2,4	2,2	4,5	5,9	1,9
Heizöl EL	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3
Erdgas und andere Gase	0,8	0,3	1,1	1,3	1,6	0,6	0,6	0,7
sonstige fossile Brennstoffe	2,1	1,9	0,6	0,6	0,5	1,1	0,9	1,0
Fossile Brennstoffe insgesamt	101,4	92,5	91,8	84,5	83,6	81,9	78,9	73,8
Alternative Brennstoffe insgesamt	8,1	10,4	11,0	13,1	15,7	18,8	23,4	25,5
Thermischer Energieeinsatz insgesamt	109,5	102,9	102,8	97,6	99,3	100,7	102,3	99,3

Brennstoff	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[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	21,8	19,3	19,1	15,5	8,7	11,4	13,9	13,9
Braunkohle	28,0	24,5	27,4	31,6	29,1	27,6	25,1	23,1
Petrolkoks	7,6	7,4	5,7	3,8	4,2	4,3	5,6	4,9
Heizöl S	3,4	3,4	2,7	2,5	2,2	1,9	2,1	0,9
Heizöl EL	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Erdgas und andere Gase	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,1	0,3

Brennstoff	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[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]
sonstige fossile Brennstoffe	1,1	0,6	0,8	0,7	0,5	0,3	0,3	0,4
Fossile Brennstoffe insgesamt	62,6	55,9	56,4	54,9	45,4	46,0	47,3	43,7
Alternative Brennstoffe insgesamt	27,2	29,9	34,9	40,0	43,3	46,1	52,2	52,1
Thermischer Energieeinsatz insgesamt	89,8	85,8	91,3	94,9	88,7	92,1	99,5	95,8

Brennstoff	2009	2010	2011	2012
	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]	[10 ⁶ GJ/a]
Steinkohle	10,3	9,0	10,0	9,8
Braunkohle	20,0	20,7	23,7	22,3
Petrolkoks	4,4	3,3	2,1	3,2
Heizöl S	1,1	0,6	0,4	0,3
Heizöl EL	0,2	0,3	0,2	0,7
Erdgas und andere Gase	0,1	0,1	0,2	0,2
sonstige fossile Brennstoffe	0,6	0,4	0,1	0,1
Fossile Brennstoffe insgesamt	36,7	34,4	36,7	36,6
Alternative Brennstoffe insgesamt	51,5	53,7	57,7	57,3
Thermischer Energieeinsatz insgesamt	88,2	88,1	94,4	93,9

Tabelle V: Absoluter und spezifischer Brennstoffenergiebedarf

	Brennstoffenergiebedarf	
	absolut [10 ⁶ GJ/a]	spezifisch [kJ/kg Zement]
1990	109,5	3200
1994	102,9	3000
1995	102,8	3000
1996	97,6	2995
1997	99,3	2975
1998	100,7	2905
1999	102,3	2800
2000	99,3	2835
2001	89,8	2790
2002	85,8	2790
2003	91,3	2740
2004	94,9	2920
2005	88,7	2785
2006	92,1	2674
2007	99,5	2915
2008	95,8	2764
2009	88,2	2848
2010	88,1	2874
2011	94,4	2759
2012	93,9	2866

Tabelle VI: Einsatz von alternativen Brennstoffen in der deutschen Zementindustrie

alternativer Brennstoff	1998* 1.000 t/a	2000 1.000 t/a	2005 1.000 t/a	2009 1.000 t/a	2010 1.000 t/a	2011 1.000 t/a	2012 1.000 t/a
Reifen	229	248	288	245	253	286	234
Altöl	168	140	92	73	61	66	56
Fraktionen aus Industrie- /Gewerbeabfällen	176	372	1116	1652	1602	1643	1819
davon:							
- Zellstoff, Papier und Pappe			237	175	133	63	96
- Kunststoff			309	556	527	474	474
- Verpackungen			3	1	0	0	0
- Abfälle aus der Textilin- dustrie			-	9	11	10	3
- Sonstige			567	911	931	1096	1246
Tiermehl und -fette	¹⁾	¹⁾	355	204	182	187	176
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen	¹⁾	¹⁾	198	188	287	336	352
Altholz	76	79	42	13	8	8	8
Lösungsmittel	18	31	101	81	98	104	96
Bleicherde	13	23	11	0	0	0	0
Klärschlamm	-	-	157	263	276	304	310
Sonstige wie:	84	176	28	78	146	125	54
- Ölschlamm		-					
- organische Destillationsrück- stände		-					

* Eine Erfassung des Einsatzes der unterschiedlichen alternativen Brennstoffe erfolgte erst ab 1998.

¹⁾ in 2000 unter „Sonstige“

Tabelle VII: CO₂-Emissionen aus den einzelnen Energieträgern und CO₂-Emissionsfaktoren

Brennstoff	CO ₂ -Faktor [kgCO ₂ /MJ]	1990 [tCO ₂ /a]	1995 [tCO ₂ /a]	1996 [tCO ₂ /a]	1997 [tCO ₂ /a]	1998 [tCO ₂ /a]	1999 [tCO ₂ /a]
Steinkohlen	0,093	4.417.500	4.031.113	3.551.695	3.550.972	2.975.510	2.731.854
Braunkohlenstaub	0,093	4.259.400	3.111.441	2.984.951	2.921.496	3.095.489	2.985.692
Petrolkoks	0,096	76.800	963.220	955.458	911.977	980.155	930.294
Heizöl-S	0,078	327.600	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	44.800	56.058	64.423	89.304	33.978	32.531
Sonstige Regel- brennstoffe	0,093	195.300	54.016	52.449	46.308	100.550	84.565
Fossile Brennstoffe insgesamt		9.336.200	8.493.495	7.815.960	7.710.222	7.562.030	7.246.793

Brennstoff	2000 [tCO ₂ /a]	2001 [tCO ₂ /a]	2002 [tCO ₂ /a]	2003 [tCO ₂ /a]	2004 [tCO ₂ /a]	2005 [tCO ₂ /a]	2006 [tCO ₂ /a]
Steinkohlen	2.920.321	2.064.945	1.799.519	1.773.088	1.442.506	813.723	1.058.564
Braunkohlenstaub	2.795.040	2.563.958	2.274.136	2.550.913	2.940.912	2.703.896	2.569.976
Petrolkoks	809.236	738.295	713.367	551.060	366.220	407.706	419.241
Heizöl-S	148.880	267.447	266.267	212.330	198.198	168.389	145.833
Heizöl-L	21.753	21.273	26.731	25.925	17.934	16.652	13.920
Erdgas	39.599	24.106	18.161	15.056	26.766	26.078	14.456
Sonstige Regelbrennstoffe	91.556	99.716	55.985	74.449	65.319	42.998	31.599
Fossile Brennstoffe insgesamt	6.826.386	5.779.742	5.154.166	5.202.821	5.057.855	4.179.443	4.253.589

Brennstoff	2007 [tCO ₂ /a]	2008 [tCO ₂ /a]	2009 [tCO ₂ /a]	2010 [tCO ₂ /a]	2011 [tCO ₂ /a]	2012 [tCO ₂ /a]
Steinkohlen	1.290.294	1.291.074	952.400	836.326	930.159	909.472
Braunkohlenstaub	2.339.231	2.150.457	1.863.165	1.920.051	2.205.522	2.071.586
Petrolkoks	537.939	472.149	426.288	321.349	203.239	302.977
Heizöl-S	166.297	70.323	83.852	43.718	32.801	27.254
Heizöl-L	12.014	12.134	15.568	19.779	14.504	48.920
Erdgas	7.787	14.598	7.209	6.951	9.630	12.302
Sonstige Regelbrennstoffe	23.600	40.815	50.835	37.023	11.156	12.715
Fossile Brennstoffe insgesamt	4.377.161	4.051.550	3.399.317	3.185.196	3.407.012	3.385.225