
Nachhaltigkeit und Zementindustrie

**Dokumentation
von Beiträgen und
Handlungsoptionen**



**Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt
Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie
Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der
Deutschen Zementindustrie
in Zusammenarbeit mit dem
Verein Deutscher Zementwerke**

Auftraggeber

Industriegewerkschaft
Bauen-Agrar-Umwelt

Industriegewerkschaft
Bergbau, Chemie, Energie

Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft
der Deutschen Zementindustrie e.V.

in Verbindung mit dem

Verein Deutscher Zementwerke e.V.

Bearbeitung

SUSTAIN | CONSULT
Beratungsgesellschaft für nachhaltige
Wirtschaftsentwicklung mbH

Kaiserstraße 24
44135 Dortmund

Tel.: +49 (0)231 - 981 285.0
Fax: +49 (0)231 - 981 285.29

Ralf Löckener (Projektleitung)

Abschluss: März 2013

Diese Studie ist ein Beitrag der Sozial-
partner zur Initiative für Nachhaltigkeit
in der deutschen Zementindustrie.

<http://www.initiative-nachhaltigkeit.de>

Bildnachweis

Titelblatt (von links oben nach rechts unten):
HeidelbergCement AG/Steffen Fuchs (1, 4, 5),
© Stefanie Grebe (2), ThyssenKrupp Resource
Technologies (3), www.fotolia.com (6)



1	Hintergrund und Anliegen der Dokumentation	8
2	Branchencharakteristika und Handlungsrahmen	10
	Struktur und Entwicklung der Branche · Produkte, Produktionsverfahren und Innovation · Beschäftigung, Qualifikation und Ausbildung · Cluster und Wertschöpfungskette	
3	Beiträge zur Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette des Zements	16
3.1	Rohstoffgewinnung	16
	Rohstoffbedarf und Versorgungssicherheit · Substitutionspotenziale · Flächenbedarf und Raumnutzung auf Zeit · Landes- und Regionalplanung · Genehmigungsrecht und umweltverträgliche Rohstoffgewinnung · Folgenutzung und Naturschutz · Aktiver abbaubegleitender Natur- und Artenschutz	
3.2	Zementproduktion	22
	Rechtlicher Rahmen · Umweltmanagement · Emissionen · Luftreinhaltung und Emissionsminderung · Energieintensität und Energieeffizienz · Maßnahmen zum Klimaschutz · Verbesserung des Lärmschutzes · Wandel der Arbeitswelt · Ausbildung und Qualifizierung · Steigerung der Arbeitssicherheit und geringer Krankenstand · Einkommen und Arbeitszeit · Nachhaltige Transport- und Logistikketten	
3.3	Zementverarbeitung und Betonrecycling	37
	Betonherstellung und Baustoffinnovation · Ressourcenschonung durch Betonrecycling · Arbeitsschutz durch chromatarmer Zemente	
3.4	Anwendung zementgebundener Baustoffe	40
	Ressourcenschonendes Bauen · Energieeinsparung und Klimaschutz · Anwendungen für den Umweltschutz · Infrastruktur für nachhaltige Mobilität	
4	Zusammenfassung und Resümee	48
	Literatur und Materialien	55

Abbildungen

Abbildung 1: Integration der drei Nachhaltigkeitsdimensionen durch Betrachtung entlang der Wertschöpfungskette.....	8
Abbildung 2: Entwicklung des Zementverbrauchs in Deutschland; bis 1991 nur Westdeutschland, ab 1992 Gesamtdeutschland.....	10
Abbildung 3: Entwicklung in den 16 Staaten mit dem höchsten Zementverbrauch.....	12
Abbildung 4: Produktionsschritte der Zementherstellung.....	14
Abbildung 5: Wertschöpfungskette Zement und Beteiligte	15
Abbildung 6: Lagerstätten und Standorte von Zementwerken.....	16
Abbildung 7: Anteil der Folgenutzungstypen an der Gesamtfläche der Folgenutzung.....	21
Abbildung 8: Nutzungstypen vor dem Abbau, differenziert nach 50-Jahres-Zeiträumen.....	21
Abbildung 9: Mittelwerte der Staubkonzentration im Reingas von 41 Drehofenanlagen im Jahr 2011.....	25
Abbildung 10: Messergebnisse für Dioxin- und Furanemissionen.....	25
Abbildung 11: Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs für die Zementherstellung in den deutschen Zementwerken	26
Abbildung 12: Entwicklung des spezifischen elektrischen Energieverbrauchs in der Zementproduktion, ab 1987 inklusive ostdeutscher Werke	27
Abbildung 13: Bestandteile eines Altreifens für die Verwendung als Brennstoff und Rohmaterial im Klinkerbrennprozess	30
Abbildung 14: Entwicklung der (energiebedingten) CO ₂ -Emissionen in Deutschland	31
Abbildung 15: CO ₂ -Emissionen der deutschen Zementwerke im europäischen Emissionshandelssystem.....	32
Abbildung 16: Entwicklung der Unfallhäufigkeit in der deutschen Zementindustrie.....	35
Abbildung 17: Umweltvergleich des Gütertransports mit Binnenschiff, Bahn und Lkw	35
Abbildung 18: Modal Split des Güterverkehrsaufkommens der befragten Zementwerke im Vergleich zum gesamten Güterverkehr in Deutschland in 2002 und 2008	36
Abbildung 19: Balkenquerschnitte bei verschiedenen Bauweisen	37
Abbildung 20: Stoffströme beim Recycling von Beton	38
Abbildung 21: Aufkommen und Verwertung von Baureststoffen	38
Abbildung 22: Gezielter Rückbau von Gebäuden als Voraussetzung für ein modernes Betonrecycling.....	39
Abbildung 23: Primärenergieverbrauch für Erstellung und Nutzung eines Mehrfamilien-Niedrigenergiehauses.....	41
Abbildung 24: Treibhauspotenzial von Gebäuden in Massiv- und Holzbauweise im Erstellungsjahr und über einen Lebenszyklus von 80 Jahren	42
Abbildung 25: Beton-Außenwandkonstruktionen für die passive und aktive Solarenergienutzung	43
Abbildung 26: Beton als leistungsstarker Baustoff auch für besondere Anwendungen wie Faultürme in Kläranlagen	44
Abbildung 27: Reparaturen von Fahrbahndecken mit Hilfe von Spezialbetonen auf Basis schnell erhärtender Zemente.....	46

Tabellen

Tabelle 1: Entwicklung der Zementindustrie in Deutschland	10
Tabelle 2: Zementarten und ihre Bestandteile.....	12
Tabelle 3: Substitutionseffekte und -potenziale	17
Tabelle 4: Flächenbedarf für den Abbau oberflächennaher Rohstoffe im Jahr 2010	18
Tabelle 5: Marktanteile von Zementarten am Inlandsversand in Mio. t	29
Tabelle 6: Brennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie in Mio. GJ pro Jahr	30
Tabelle 7: Beiträge zur CO ₂ -Minderung in der deutschen Zementindustrie	31

1 Hintergrund und Anliegen der Dokumentation

Im Jahr 2002 begründeten der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (BDZ), der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) und die Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der deutschen Zementindustrie (SPADZ) gemeinsam mit der Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (IG BAU) und der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) die Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie. Die Sozialpartner würdigten damit, dass nachhaltige Entwicklung zunehmend zu einem zentralen gesellschaftspolitischen Leitbild wurde, das für wirtschaftliche bzw. industrielle Tätigkeiten immer stärker an Relevanz gewinnt. Dies gilt auch für die Herstellung und den Verbrauch von Zement und zementgebundenen Baustoffen.

Allgemein fehlte vor zehn Jahren jedoch ein sach- und praxisgerechtes Verständnis von Nachhaltigkeit. Dies galt auch für das Verhältnis von nachhaltiger Entwicklung und Zementindustrie. Die Sozialpartner in der Zementindustrie haben sich in dieser Hinsicht davon leiten lassen, dass auch der Wirtschaft mit ihren Unternehmen, Mitarbeitern und Interessenvertretungen eine zentrale Bedeutung für die nachhaltige Entwicklung zukommt. Den Beginn ihrer Zusammenarbeit bildete vor diesem Hintergrund

die Erstellung der ersten Fassung der Dokumentation „Nachhaltigkeit und Zementindustrie“, um eine Basis für einen verstärkten Dialog zur nachhaltigen Entwicklung zu schaffen. In der Dokumentation wurden Grundsatzzpositionen der Sozialpartner zur nachhaltigen Entwicklung dargestellt, eine Standortbestimmung im Hinblick auf bereits bestehende Beiträge zur Nachhaltigkeit vorgenommen und Handlungsfelder für zukünftige Aufgaben zur nachhaltigen Entwicklung in der Zementindustrie identifiziert, um diese dann in konkreten Projekten angehen zu können.

Zehn Jahre später wird hiermit nun eine überarbeitete Fassung dieser Dokumentation „Nachhaltigkeit und Zementindustrie“ vorgelegt. Neben der Aktualisierung von Inhalten und Daten umfasst dies die Darstellung und Auswertung der gemeinsamen Projekte, die von den Sozialpartnern im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit durchgeführt wurden. In diesen Projekten ging es vor allem um folgende vier Themen:

- integriertes Rohstoff- und Natur-schutzmanagement,
- Einsatz sekundärer Stoffe,
- Gestaltung nachhaltiger Transport- und Logistikketten,
- Weiterbildung der Beschäftigten.

Die Sozialpartner in der Zementindustrie legen für ihre Initiative ein Verständnis von Nachhaltigkeit als Such- und Lernprozess zugrunde, der die gesamte Wertschöpfungskette zementgebundener Baustoffe umfasst und der durch Investitionen und Innovationen schrittweise vorangebracht wird, um ökologische, ökonomische und soziale Bedürfnisse besser als zuvor zu integrieren. Konkrete Beiträge und Maßnahmen werden in der Dokumentation „Nachhaltigkeit und Zementindustrie“ daher diesen drei Dimensionen nicht isoliert zugeordnet, sondern entlang der branchenspezifischen Wertschöpfungskette im Zusammenhang dargestellt und dokumentiert. Die Wertschöpfungskette „Zement“ gliedert sich in fünf Bereiche: die Rohstoffgewinnung, die Herstellung von Zement, seine Verarbeitung zu zementgebundenen Baustoffen (insbesondere Beton), deren Verwendung in der Bauwirtschaft sowie das Recycling zementgebundener Baustoffe (vgl. Abbildung 1).

Als die erste Fassung der Dokumentation „Nachhaltigkeit und Zementindustrie“ im Jahr 2002 vorgelegt wurde, stand die praktische Umsetzung von nachhaltiger Entwicklung erst am Anfang. Die zwischenzeitlich vorgelegten Fortschrittsberichte der Bundesregierung zur Umsetzung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie – der jüngste stammt aus dem Jahr 2012 – dokumentieren, welche Bedeutung

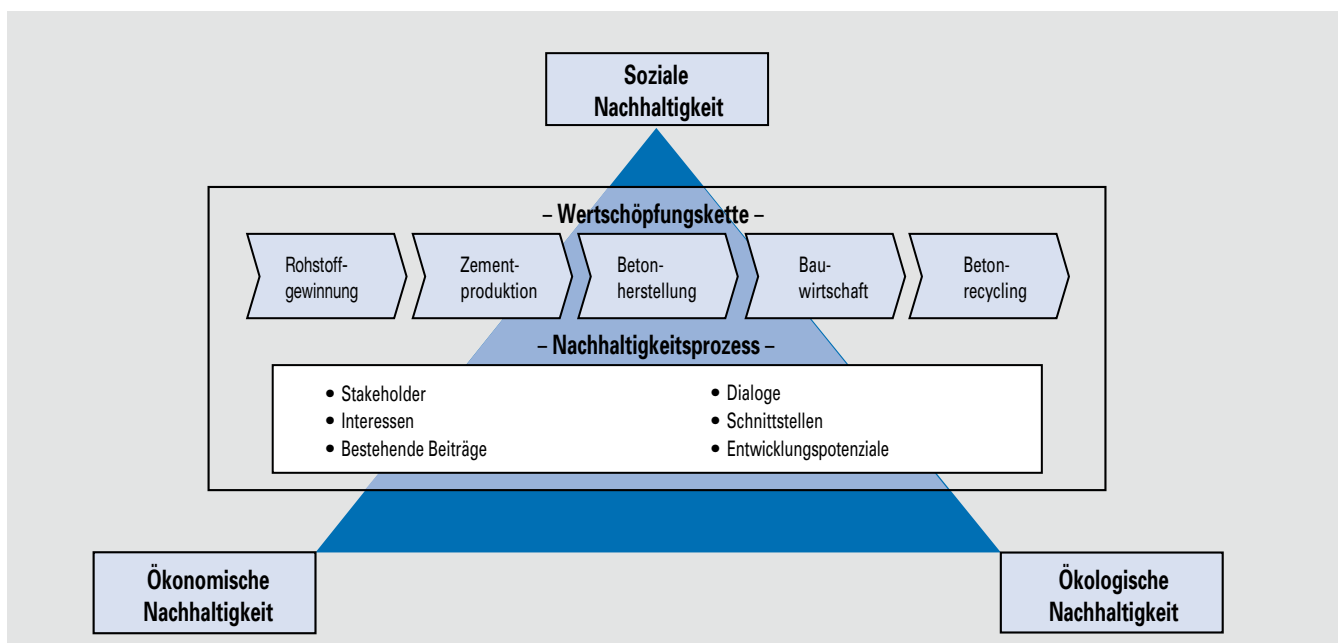


Abb. 1: Integration der drei Nachhaltigkeitsdimensionen durch Betrachtung entlang der Wertschöpfungskette

die nachhaltige Entwicklung heute für praktische Politik auf allen Ebenen hat (Bundesregierung 2012). Diesen Ansatz nehmen die Sozialpartner in der Zementindustrie auf. Mit Blick auf die gemeinsamen Aktivitäten im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit gehen sie von den eigenen Handlungsmöglichkeiten der Unternehmen und ihrer Beschäftigten aus, um praktische Beiträge zu den oben genannten Themen zu leisten und konkrete Problemlösungen vorzuschlagen. Ausgehend davon, dass zementgebundene Baustoffe eine

unverzichtbare Grundlage für den Aufbau und Erhalt einer modernen Infrastruktur zur Befriedigung der Bedürfnisse Wohnen, Arbeiten und Mobilität bilden, sollen die Rahmenbedingungen und Implikationen, die mit der Herstellung des Grundstoffes Zement sowie seiner Anwendung verbunden sind, im Sinne der nachhaltigen Entwicklung gestaltet werden.

In der vorliegenden aktualisierten Dokumentation „Nachhaltigkeit und Zementindustrie“ werden im Kapitel 2

die wirtschaftlichen und sozialen Charakteristika und Entwicklungen der Branche erläutert, die zugleich die aktuellen Handlungsspielräume der Zementindustrie markieren. Anschließend werden im Kapitel 3 die Relevanz der Branche für eine nachhaltige Entwicklung und Beiträge zur Nachhaltigkeit entlang der Wertschöpfungskette des Zements aufgezeigt. Den Abschluss bildet eine Standortbestimmung, die die Entwicklungen der vergangenen zehn Jahre zusammenfassend bewertet (Kapitel 4).

2 Branchencharakteristika und Handlungsrahmen

Struktur und Entwicklung der Branche

Die Zementindustrie wird in Deutschland durch eine Mischung aus industriellem Mittelstand und weltweit tätigen Konzernen geprägt. Nach Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke wurde im Jahr 2011 in 54 Betrieben Zement hergestellt, darunter auch solche mit weniger als 20 Beschäftigten. Hinzu kommen 6 Verwaltungsstandorte. Unter den produzierenden Betrieben befinden sich 35 so genannte integrierte Zementwerke, die den gesamten Produktionsprozess – beginnend mit der Gewinnung, Förderung und Aufbereitung der Rohstoffe – abdecken und typischerweise etwa 100 bis 250 Beschäftigte haben. Die übrigen so genannten Mahlwerke sind deutlich kleiner und beziehen das Zwischenprodukt Zementklinker von den integrierten Werken, um damit Zement herzustellen.

Die Zahl der Mitarbeiter lag im Jahr 2011 bei 7 657 und ist damit seit 2001 um rund 29 % gesunken (Tabelle 1). Insgesamt hat sich die Struktur der Zementindustrie in Deutschland in den vergangenen Jahren deutlich verändert. Die Zahl der zementherstellenden Unternehmen ging im gleichen Zeitraum sogar um 42 % zurück, die Zahl der Betriebe um 12 %. Diese Entwicklung war vor allem eine Folge veränderter Marktverhältnisse, die u.a. zu einem Preisverfall führten, der sich von 1995 bis 2003 vollzog. Aufgrund einer schlechten Baukonjunktur ging in diesem Zeitraum auch die Nachfrage deutlich zurück (Abbildung 2) und die Auslastung der Werke sank. Vor diesem Hintergrund wurde die Produktion in verschiedenen Werken aufgegeben und die dortige Beschäftigung entfiel. Diese Phase der Konsolidierung war 2005 abgeschlossen, seitdem entwickelt sich die Zementindustrie in Deutschland wieder stabil und konnte zuletzt sogar Beschäftigung aufbauen.

Die Bruttoanlageinvestitionen der deutschen Zementindustrie sind in den letzten Jahren wieder gestiegen und beliefen sich zwischen 2006 und 2010 auf insgesamt 897 Mio. € bzw. jährlich auf durchschnittlich 24 000 € je Beschäftigtem. Der Anteil der Investitionen am Umsatz lag bei 7,1 % und

Tab. 1: Entwicklung der Zementindustrie in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen)

	Einheit	1995	2000	2005	2010	2011
Unternehmen	Anzahl	35	31	22	22	22
Betriebe *	Anzahl	66	59	55	52	51
Beschäftigte *	Anzahl	12 577	11 144	7 669	7 581	7 657
Beschäftigte je Betrieb *	Anzahl	191	189	139	146	150
Umsatz *	Mio. €	2 912	2 651	1 792	2 244	2 605
... davon durch Ausfuhr *	Mio. €	168	211	228	368	408
Auslandsanteil am Umsatz *	Prozent	5,8	8,0	12,7	16,4	15,7
Produktion **	Mio. t	37,2	36,1	31,0	29,9	33,5
Anlageinvestitionen **	Mio. €	425,9	220,6	124,9	158,5	n.a.
Investitionsquote am Umsatz	Prozent	14,6	8,3	7,0	7,1	n.a.
Investition je Beschäftigtem	Tsd. €	33,9	19,8	16,3	20,9	n.a.
Umsatz je Beschäftigtem	Tsd. €	231,5	237,9	233,7	296,0	340,2

* Betriebe mit mehr als 19 Beschäftigten / ** Unternehmen

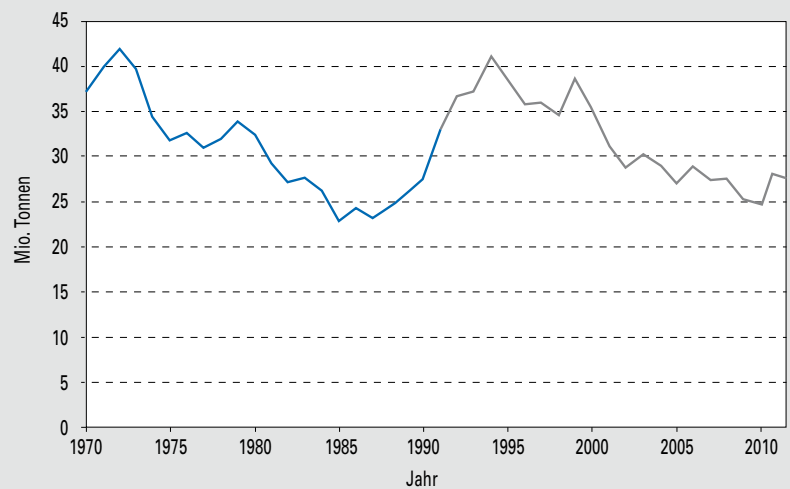


Abb. 2: Entwicklung des Zementverbrauchs in Deutschland; bis 1991 nur Westdeutschland, ab 1992 Gesamtdeutschland (Zahlenangaben: VDZ)

damit mehr als doppelt so hoch wie im Durchschnitt des gesamten Verarbeitenden Gewerbes (3,4 %).

Die Bauwirtschaft ist der wichtigste Anwendungsbereich für Zement. Dabei kommt insbesondere dem Hochbau (Wohnungsbau und Nichtwohnungsbau) eine tragende Rolle zu. In 2011 trug dieser mit 63,7 % den Großteil zum Zementabsatz in Deutschland

bei, der Tiefbau dementsprechend einen Anteil von 36,3 %. Zemente, die in anderen Branchen (z.B. als Tiefbohrzement bei der Erdölförderung) eingesetzt werden, spielen bezogen auf den Zementabsatz insgesamt mengenmäßig nur eine geringe Rolle. In den kommenden Jahren wird mit einer anhaltend positiven Entwicklung des Zementverbrauchs in Deutschland gerechnet. Grundsätzlich gilt, dass in

reifen Märkten der Zementverbrauch weniger von bauwirksamen Nachholbedarfen geprägt ist als von Ersatzinvestitionen sowie der Modernisierung von Wohnraum und Infrastrukturen.

Die Zementindustrie wird im Allgemeinen durch folgende, eng zusammenhängende Merkmale charakterisiert.

- **Kapitalintensität:** Für den Neubau eines kompletten Zementwerkes mit einer Jahresleistung von 1,5 Mio. t Klinker sind Investitionen in Höhe von bis zu 250 Mio. € anzusetzen (nicht berücksichtigt sind Landerwerb und erschwerende Rahmenbedingungen). Dies entspricht etwa dem Dreifachen eines Jahresumsatzes oder – bezogen auf die direkt Beschäftigten – im Durchschnitt etwa 1,5 Mio. € pro Arbeitsplatz. Bei Neuinvestitionen entfallen heute über 20 % des Investitionsvolumens auf Umweltschutzmaßnahmen. Entsprechende Großprojekte amortisieren sich nur über einen Zeitraum von etwa 25 Jahren. Durch Instandhaltung betragen die betrieblichen Nutzungszeiten großer Aggregate z.T. deutlich mehr als 30 Jahre. Hinzu kommt, dass Investitionen der Zementindustrie in hohem Maße irreversibel sind, weil mit den Anlagen in der Regel keine anderen Produkte hergestellt werden können (Einzweckcharakter) und ihr Liquidationswert gering ist. Die Zementindustrie bedarf daher bei der Rohstoffversorgung wie auch in anderen Bereichen einer ausreichenden, langfristigen Perspektive, die die notwendige Investitionssicherheit bietet.
- **Standortgebundenheit:** Die Zementherstellung ist an geeignete und verfügbare Rohstoffvorkommen gebunden. Um Transporte und die damit einhergehenden Kosten möglichst gering zu halten, liegen Zementwerke, in denen das rohstoffintensive Zwischenprodukt Klinker hergestellt wird, in der Regel in unmittelbarer Nähe geeigneter Lagerstätten. Dies ist nicht nur wirtschaftlich, sondern auch ökologisch sinnvoll, weil so Umweltbelastungen durch Input-Transporte vermieden werden. Hinzu kommt, dass die meisten Normzemente aus wirtschaftlichen Gründen – beim Transport

auf der Straße – in der Regel über relativ kurze Entfernungen von bis zu 200 km abgesetzt werden, wie eine empirische Studie im Jahr 2009 zeigt (Initiative für Nachhaltigkeit 2010). Die Nähe zu den Absatzmärkten ist daher ein weiterer Standortfaktor, der die regionale Verteilung der Werke stark beeinflusst hat. Demgegenüber hat in den vergangenen Jahren auch der Transport über Schiene und Wasserwege an Bedeutung gewonnen. Dieser erlaubt den Zement- bzw. Zementklinkerversand auch über größere Distanzen.

- **Rohstoff- und Energieintensität:** Zement lässt sich nicht ohne primäre Rohstoffe herstellen, die Stoffumwandlung zur Veredlung der Rohstoffe bedarf zudem des Einsatzes von Brennstoffen und Strom. So lag, trotz des hohen energetischen Anlagenwirkungsgrades von über 70 %, der Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung der deutschen Zementindustrie nach Angaben des Statistischen Bundesamtes in 2010 bei 49 %, einem der höchsten Werte aller Industriebranchen. Die Unternehmen haben deshalb seit jeher ein hohes Eigeninteresse daran, wertvolle Rohstoffvorkommen als Basis der Zementproduktion zu schonen und die Energieeffizienz ihrer Anlagen zu steigern. Neben verfahrenstechnischen Verbesserungen schöpfen sie dabei zunehmend Substitutionspotenziale durch alternative Brenn- und Einsatzstoffe aus. Ferner werden zur Ressourcenschonung und CO₂-Minderung zunehmend Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen, d.h. mit niedrigerem Klinkergehalt produziert.

Im Unterschied zu den meisten anderen Ländern der Erde einschließlich der Mitgliedstaaten der Europäischen Union weist die deutsche Zementindustrie einen strukturellen Mix von konzerngebundenen Unternehmen und industriellem Mittelstand auf. Während in Deutschland bei Berücksichtigung der Unternehmensverflechtungen 18 Unternehmen über eine eigene Produktionsbasis zur Herstellung von Zementklinker verfügen, trifft dies in Belgien lediglich auf 3 sowie in Frankreich und Großbritannien nur auf jeweils 4 Unternehmen zu (vgl. Global Cement Report Ninth Edition). Zwar

ist auch in Deutschland die Bedeutung der konzerngebundenen Hersteller gewachsen. Die bislang größten Verschiebungen im Verhältnis von konzerngebundenen und mittelständischen Unternehmen liegen allerdings schon etwa 40 Jahre zurück. Derzeit gehören zwei Drittel aller Produktionsstandorte in Deutschland (Mahlwerke eingerechnet) zu den 6 größten Anbietern, darunter Tochtergesellschaften eines französischen, eines schweizerischen, eines italienischen und eines mexikanischen Konzerns.

Aufgrund der vergleichsweise hohen Transportkostenintensität findet der Außenhandel ganz überwiegend mit dem benachbarten EU-Ausland statt. Die Ausfuhr hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und erreichte nach Angaben des VDZ im Jahr 2011 rund 23 % des Gesamtversandes der deutschen Zementwerke. Demgegenüber wurden zuletzt nur rund 4 % des Inlandsverbrauchs importiert. International wettbewerbsfähige Rahmenbedingungen (u.a. bei den Energiekosten) sind daher vor allem mit Blick auf die Exportmärkte auch für die Entwicklung der „standortgebundenen“ Zementindustrie in Deutschland von großer Bedeutung. Gleichzeitig steigt angesichts von Überkapazitäten und Produktionskostendifferenzen innerhalb und außerhalb der EU auch der Importdruck spürbar.

Insgesamt lässt sich eine dynamische Globalisierung der Branche beobachten. Zwar steht hier nicht in erster Linie eine Verlagerung der Produktion an, wie sie in anderen Industriebranchen vollzogen wurde. Triebfeder ist vielmehr die Ausschöpfung von Wachstumspotenzialen und die Abfederung (bau-)konjunktureller Risiken durch eine möglichst breite räumliche Diversifizierung. Als abgeleiteter Effekt findet auch in der frachtkostenintensiven Zementindustrie eine zunehmende Optimierung der Produktionsbasis und der Kapazitätsauslastung im internationalen Verbund statt. Angesichts der relativ günstigen Frachtraten für Schiffstransporte kommt dabei vor allem großen Werksstandorten mit Anschluss an den See- oder Binnenschiffverkehrsverkehr eine wichtige strategische Funktion zu. In Deutschland gibt es zwar kein integriertes Zementwerk mit direktem Anschluss zum Seeverkehr, einige Standorte befinden sich aber an wichtigen Binnenschiffahrtswegen. So erhöht sich auch in

der Zementindustrie der internationale Wettbewerbsdruck und damit auch das Risiko der Verlagerung von Produktion und CO₂-Emissionen an Standorte außerhalb der EU („carbon leakage“).

In weltweiter Perspektive wachsen Produktion und Verbrauch von Zement vor allem in Asien, das seinen Weltmarktanteil von rund einem Drittel in 1980 auf etwa 80 % im Jahr 2010 ausgeweitet hat (Abbildung 3). Vom gesamten weltweiten Zementverbrauch findet gegenwärtig mehr als die Hälfte alleine in China statt, in Europa dagegen rund 8,5 %.

Produkte, Produktionsverfahren und Innovation

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel, d.h. ein fein gemahlener, nicht-metallisch-anorganischer Stoff, der nach Zugabe von Wasser erhärtet und sowohl an der Luft als auch unter Wasser fest bleibt. Die Mischung von Zement, Wasser und Zuschlagstoffen (Kies/Sand) ergibt Beton, der seinerseits dauerhaft fest und raumbeständig bleibt. Zement wird zudem als Bindemittel für die Herstellung von anderen Baustoffen wie z.B. Putz- und Mauermörtel verwendet. Bei Zement handelt es sich ganz überwiegend

um ein homogenes Massengut. Die Zemente, die in Deutschland verwendet werden, entsprechen mit einem Marktanteil von rund 90 % den Zementnormen DIN 1164 und DIN EN 197. Danach wird Zement im Wesentlichen aus sechs verschiedenen Hauptbestandteilen hergestellt: Neben Portlandzementklinker, der aus den natürlichen Rohstoffen Kalkstein und Ton bzw. Kalkmergel gebrannt wird, handelt es sich dabei um Hüttensand, Puzzolane, Flugasche, gebrannten Ölschiefer und ungebrannten Kalkstein. Aus diesen Stoffen können in Deutschland fünf genormte Hauptzementarten hergestellt werden, die sich ihrerseits in 34 Zementarten unterteilen. Portlandzementklinker ist der wichtigste Hauptbestandteil, ohne den sich kein Zement herstellen lässt. Tabelle 2 fasst die wichtigsten Unterschiede in der Zusammensetzung von Normzementen zusammen.

Neben den bekannten Normalzementen („Common Cements“) gewinnt die Entwicklung von genormten und nicht genormten Spezialzementen mit besonderen, kundenspezifischen Anwendungseigenschaften an Bedeutung. Hierzu gehören hochleistungsfähige Schnellzemente, umweltfreundliche Spritzzemente und mikrofeine Injektionszemente. Mit Schnellzementen kann die Festigkeitsentwicklung von Beton so beschleunigt werden, dass sich die Sperrzeiten bei der Reparatur stark frequenzierter Verkehrsflächen (Autobahnen, Flughäfen) drastisch verkürzen. Neue umweltverträgliche Spritzzemente verbessern den Gesundheitsschutz im Tunnelbau und den Schutz des Grundwassers. Mikrofeine Zemente weisen eine besonders hohe Mahlfineinheit bzw. Reaktivität auf und verbessern in Kombination mit Injektionshilfen und anderen Werkstoffen die Möglichkeiten, Risse in Bauwerken oder Felsen zu verpressen, Böden und Lockergestein zu verfestigen sowie die Dichtigkeit und Festigkeit von Beton zu erhöhen.

Die Zementherstellung umfasst folgende Produktionsschritte (Abbildung 4): Am Anfang steht die Gewinnung, Förderung und Aufbereitung der Rohstoffe, die im Hinblick auf ihre chemische Zusammensetzung homogenisiert und zu Rohmehl feingemahlen werden. Das Rohmehl wird im weiteren Produktionsverlauf „entsäuert“, indem das Calciumcarbonat (CaCO₃) der Kalkkom-

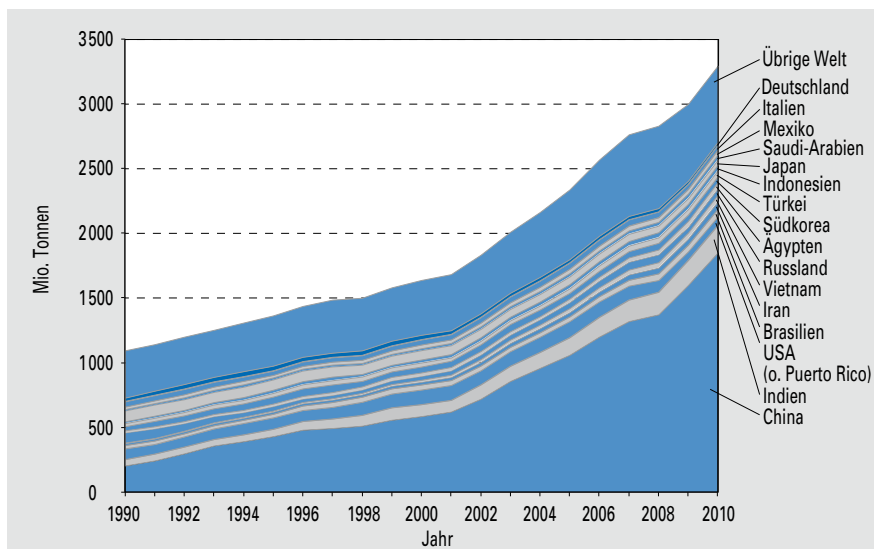


Abb. 3: Entwicklung in den 16 Staaten mit dem höchsten Zementverbrauch (Zahlenangaben: CEMBUREAU)

Tab. 2: Zementarten und ihre Bestandteile (Quelle: VDZ 2002)

Zementart	Bezeichnung (Normalzementarten)	Anteil Portlandzementklinker	Sonstige Hauptbestandteile
CEM I	Portlandzement	95–100 %	–
CEM II	Portlandhüttenzement	65–94 %	Hüttensand: 6–35 %
	Portlandsilicastaubzement	90–94 %	Silicastaub: 6–10 %
	Portlandpuzzolanzement	65–94 %	Puzzolane: 6–35 %
	Portlandflugaschezement	65–94 %	Flugasche: 6–35 %
	Portlandschieferzement	65–94 %	Gebraannter Schiefer: 6–35 %
	Portlandkalksteinzement	65–94 %	Kalkstein: 6–35 %
	Portlandkompositzement	65–94 %	alles Obige: 6–35 %
CEM III	Hochofenzement	5–64 %	Hüttensand: 36–95 %
CEM IV	Puzzolanzement	45–89 %	Silicastaub, Puzzolane, Flugasche: 11–55 %
CEM V	Kompositzement	20–64 %	Hüttensand: 18–50 %; Puzzolane, kiesel-säurereiche Flugasche: 18–50 %

ponente in Calciumoxid (CaO) und Kohlendioxid (CO₂) zerlegt wird, und bei Temperaturen von rund 1450 °C bis zur Sinterung zum Zwischenprodukt „Klinker“ gebrannt. Die hier ablaufenden chemischen Reaktionen verleihen dem Zement später seine hydraulischen Eigenschaften. Das Brennen geschieht in Drehöfen von mehreren Metern Durchmesser und 40 bis 90 Metern Länge. Nach rascher Kühlung wird der Zementklinker zusammen mit einem Erstarrungsregler (Gips/Anhydrit) und gegebenenfalls weiteren Hauptbestandteilen außer Klinker (z.B. Hüttensand) zu Zement vermahlen und/oder gemischt. Schließlich erfolgt die Bereitstellung für den Versand als Sackware oder in loser Form per LKW (Silozug), Bahn oder Schiff.

Die kapitalintensive Zementherstellung war und ist durch verfahrenstechnische Innovationen geprägt. Diese sind nicht zuletzt Ergebnis der engen Kooperation mit dem Anlagenbau und der Forschung auf Gemeinschaftsebene aller Zementhersteller, die im Verein Deutscher Zementwerke zusammengeschlossen sind. Hauptfaktoren des Innovationsgeschehens sind die Senkung der fixen und variablen Kosten sowie die Anforderungen des Umweltschutzes, wobei sich die Ziele durchaus ergänzen können. Dies gilt insbesondere für die Verminderung des spezifischen Brennstoffbedarfes. Hier hat die frühe Umstellung vom Nass- auf das Trockenverfahren und die Optimierung der Abwärmenutzung zu einer erheblichen Verbesserung der Energieeffizienz geführt. Vor allem Öfen mit Zyklonvorwärmern, deren „Erfindung“ schon lange zurückliegt und bei denen das Rohmehl über die Wirbelschichtkammern eines so genannten Wärmetauscherturms im Gegenstrom zum Ofenabgas erwärmt wird, wurden kontinuierlich weiter entwickelt.

Der spezifische Strombedarf unterliegt dagegen unterschiedlichen Einflüssen: Zwar konnte auch hier die Energieeffizienz gesteigert werden, andere Effekte führen aber gleichzeitig zu einem Bedeutungszuwachs der „Modernisierungsenergie“ Elektrizität. Hierzu gehören steigende Umweltschutzanforderungen, die einen höheren Energieeinsatz bei der Rauchgasreinigung erforderlich machen. Eine wichtige Rolle spielen zudem höhere Qualitätsstandards: Auf entwickelten Märkten werden zunehmend Zemente nachgefragt, die sich durch höchste

Hauptbestandteile von Zement

Zemente werden aus mehreren Hauptbestandteilen hergestellt. Dies sind Stoffe mit einem Anteil von mindestens 5 % an der Gesamtzementmenge. Darüber hinaus können in geringem Umfang Nebenbestandteile hinzugefügt werden, um die richtige chemische Mischung herzustellen. Insgesamt gibt es sechs verschiedene Hauptbestandteile, die in Deutschland relevant sind:

Portlandzementklinker ist ein hydraulischer Stoff, der aus einer genau festgelegten Rohstoffmischung hergestellt wird, die vor allem Calciumoxid (CaO), Siliciumoxid bzw. Kieselsäure (SiO₂), Aluminiumoxid bzw. Tonerde (Al₂O₃) und Eisenoxid (Fe₂O₃) sowie geringe Mengen anderer Stoffe enthält. Kalkstein und Ton oder deren natürlich vorkommendes Gemisch, der Kalkmergel, liefern diese chemischen Bestandteile und sind damit die wichtigsten Rohstoffe für die Klinkerherstellung.

Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke) ist ein Koppelprodukt der Roheisenherstellung, das durch schnelles Abkühlen (Granulieren) der Schlacke entsteht, die im Hochofen beim Schmelzen von Eisenerz gebildet wird. Es handelt sich um einen latent hydraulischen Stoff, dessen Erhärtung mit Hilfe von Portlandzementklinker und Calciumsulfaten (Gips, Anhydrit) alkalisch bzw. sulfatisch angeregt werden kann.

Puzzolane sind Stoffe, die nach dem Anmachen mit Wasser nicht selbstständig erhärten, sondern in Gegenwart von Wasser bei üblichen Umgebungstemperaturen mit gelöstem Calciumhydroxid unter Entstehung von festigkeitsbildenden Calciumsilicat- und Calciumaluminat-Verbindungen reagieren. Natürliche Puzzolane sind im allgemeinen Stoffe vulkanischen Ursprungs (z.B. Trass) oder Sedimentgesteine mit geeigneter chemisch-mineralogischer Zusammensetzung.

Flugasche kann ihrer Natur nach silicatisch oder kalkhaltig sein. Erstere verfügt über puzzolanische Eigenschaften, letztere kann zusätzlich hydraulische Eigenschaften haben. Flugasche fällt durch elektrostatische oder mechanische Abscheidung von staubförmigen Partikeln aus Rauchgasen aus der Verfeuerung feingemahlener Kohle an. In Deutschland wird ausschließlich silicatische Flugasche als Zementbestandteil verwendet.

Gebrannter Schiefer – insbesondere gebrannter Ölschiefer – wird in speziellen Öfen bei Temperaturen von etwa 800 °C hergestellt. Er weist feingemahlen ebenso ausgeprägte hydraulische Eigenschaften wie Portlandzementklinker und daneben auch puzzolanische Eigenschaften auf.

Kalkstein ist ein inerte Stoff, der keine hydraulischen oder puzzolanischen Eigenschaften hat. Kalkstein besteht als Hauptbestandteil von Zement zu mindestens 75 % aus Calciumcarbonat (CaCO₃) und darf nur geringe tonige Anteile enthalten.

Gleichmäßigkeit bei der Festigkeitsentwicklung auszeichnen und daher einen erhöhten Mahlaufwand erfordern. Zudem nimmt der Anteil von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen – vor allem mit hohen Anteilen an Hüttensand – zu. Da Hüttensand vergleichsweise schwer mahlbar ist, kann allein die Substitution des Klinkers zu einem höheren Mahlaufwand führen. Die oben genannten, gegenläufigen Effekte (Umweltauflagen, höhere Produktqualitäten, Zementarten mit geringerem Klinkeranteil) kompensieren

jedoch die erreichten technischen Effizienzfortschritte bei Weitem, so dass sich in den letzten Jahren ein leichter Anstieg des spezifischen elektrischen Energiebedarfs beobachten lässt. Vor diesem Hintergrund kommt der Effizienzsteigerung bei den stromintensiven Mahlaggregaten, die bislang noch ein ungelöstes technisch-wissenschaftliches Problem darstellen, künftig ein erheblicher Stellenwert zu.

Insgesamt haben Prozessinnovationen nicht nur zur Verbesserung von Teilag-

gregaten, sondern auch zur Kopplung und Vernetzung der Verfahrensschritte in den Zementwerken geführt. Der gesamte Stofftransport ist mechanisiert und fast vollständig automatisiert, alle Teilaggregate müssen heute gleichzeitig eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Die Anlagen werden daher über integrierte, computergestützte Prozessleitsysteme gesteuert, in die zahlreiche Mess- und Regelgrößen einschließlich umweltrelevanter Daten eingehen. Dies zeigt, dass sich die Zementindustrie zu einem bedeutenden High-Tech-Anwender entwickelt hat.

Beschäftigung, Qualifikation und Ausbildung

Im Zuge des technischen und wirtschaftlichen Wandels hat sich die Arbeitswelt in der Zementindustrie stark verändert. Einerseits waren – in Verbindung mit konjunkturellen und strukturellen Veränderungen sowie der Auslagerung von Funktionen (Outsourcing) – die Produktivitätssteigerungen mit einem Verlust von Arbeitsplätzen verbunden. Andererseits ist aus der Branche eine anlagenintensive, moderne Prozessindustrie geworden, in der die Beschäftigten insgesamt eine hohe Verantwortung bei der Steuerung und Kontrolle der Produktion tragen und sehr produktiv sind. Dies ist auch mit hohen Anforderungen verbunden, z.B. an das Qualifikationsniveau.

Letzteres trifft nicht nur auf Fach- und Führungskräfte zu, sondern auf alle Beschäftigten: Hochqualifizierte Belegschaften korrespondieren heute

mit dem hohen Automatisierungsgrad und dem großen Umfang von Tätigkeiten in der Steuerung und Kontrolle des zentralen Produktionsprozesses. Zu den branchentypischen Tätigkeitsfeldern gehört die Arbeit in den zentralen Leitständen, die Anlagensteuerung und -kontrolle, die Instandhaltung sowie die Probenanalyse in den Laboren, die der Qualitätssicherung dient. Knapp zwei Drittel der Beschäftigten sind Facharbeiter oder Fachangestellte, ein weiteres Viertel besteht aus Personen mit Hochschulabschluss, Kaufleuten mit zusätzlichem höheren IHK-Abschluss sowie Technikern oder Meistern. Der Anteil der An- und Ungelernten, die vor vielen Jahren ein großes Gewicht hatten, liegt heute nur noch bei rund 10 % und damit deutlich unter dem Durchschnitt des gesamten Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland (Initiative für Nachhaltigkeit 2012).

Vor dem Hintergrund der betrieblichen Anforderungen und der demografischen Entwicklung gewinnen die Ausbildung und die Qualifizierung der Beschäftigten in der Zementindustrie weiter an Bedeutung. Die Ausbildungsquote lag im bundesweiten Durchschnitt der deutschen Zementindustrie im Jahr 2011 bei 9,8 % und damit um mehr als die Hälfte über dem Wert der gesamten deutschen Wirtschaft. Die Unternehmen bilden nicht nur in den gewerblichen, sondern auch in den kaufmännischen Berufen aus, insbesondere zum Industriekaufmann oder zur Industriekauffrau. Zudem wird – mit Schwerpunkt in den Hauptverwaltungen – eine Ausbildung in den neu-

en, informationstechnisch geprägten Berufen angeboten (Fachinformatiker, IT-Systemkaufleute).

Auch auf Gemeinschaftsebene tragen verschiedene Aktivitäten dazu bei, dass der branchenspezifische Weiterbildungsbedarf gedeckt wird. Hierzu gehören die Industriemeister-Lehrgänge der Fachrichtung „Kalk/Zement“, die vom Verein Deutscher Zementwerke angeboten werden. Zudem umfasst das Weiterbildungsangebot des VDZ einen Produktionssteuerer-Lehrgang „Zement“, der sich an das Leitstandspersonal in den Werken richtet, sowie Seminare mit Schwerpunkten in der chemischen Analytik, im Immissionsschutz und im produktionsintegrierten Umweltschutz. Seit Anfang 2010 steht den Unternehmen für die innerbetriebliche Weiterbildung zudem eine Internet-Lernplattform zur Verfügung, die gleichermaßen von den Beschäftigten für das individuelle Lernen wie auch für Gruppenschulungen genutzt werden kann.

Cluster und Wertschöpfungskette

Im Rahmen der Wertschöpfungskette ist die Zementindustrie mit vielen anderen Branchen wechselwirksam verflochten. Sie steht im Mittelpunkt eines industriellen Netzwerkes (Clusters), das auf die Produktion mineralischer Baustoffe ausgerichtet ist und neben den Abnehmern auch die Anbieter von Vorleistungen umfasst, die vielfach – z.B. in Form eines hochspezialisierten Maschinen- und Anlagenbaus – stark exportorientiert sind. Insgesamt bietet das Cluster aus Zementindustrie sowie vor- und nachgelagerten Branchen schätzungsweise rund 75 000 Arbeitsplätze in Deutschland.

Die Zementindustrie ist ein wichtiger Abnehmer von Vorleistungen in Form von Energie (Brennstoffe, Strom), Ausrüstungsgütern (Maschinen, Anlagen) und produktionsnahen Dienstleistungen (Transporte, Wartungsarbeiten, Engineering etc.). Verschiedene Untersuchungen belegen die Bedeutung der Vorleistungen für die Beschäftigung in den betreffenden Branchen (Heimer + Herbstreit/DIW 1997, Löckener/Sundmacher 2001). Geht man von diesen Ergebnissen aus und stellt in Rechnung, dass viele Unternehmen in den vergangenen Jahren Tätigkeiten ausgelagert haben, so ist davon auszugehen, dass heute auf jeden Arbeitsplatz in einem Zementwerk

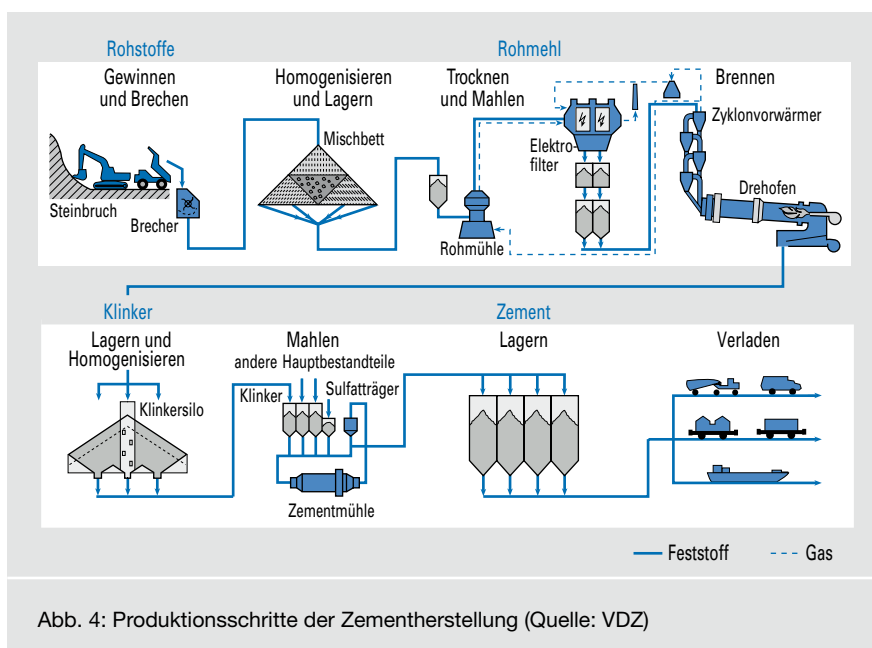


Abb. 4: Produktionsschritte der Zementherstellung (Quelle: VDZ)

durch den Bezug von Vorleistungen deutlich mehr als ein Arbeitsplatz bei Lieferanten entfällt.

Insbesondere die Herstellung von Investitionsgütern, die zur Baustoff- und insbesondere zur Zementproduktion (Ofen-, Filter-, Mahl- und Fördertechnik, zudem Labor-, Elektro-, Mess- und Regeltechnik) benötigt werden, ist eine Domäne des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus und sorgt hier für mehrere Tausend Arbeitsplätze. Diese Anlagenbauer weisen dabei einen hohen Exportanteil auf, und obwohl die deutschen Zementwerke heute nicht mehr die Hauptabnehmer dieser Unternehmen sind, stellt deren kontinuierliche Nachfrage immer noch einen erheblichen wirtschaftlichen Faktor dar. Hinzu kommt, dass die deutschen Zementwerke traditionell eine besondere Rolle bei der Entwicklung, Erprobung und Einführung neuer Verfahrenstechniken spielen, die dann weltweit vermarktet werden. Dies gilt insbesondere für die enge technologische Zusammenarbeit beim Umweltschutz und bei der Steigerung der Energieeffizienz.

Die wichtigsten unmittelbaren Abnehmer der deutschen Zementindustrie sind die Transportbetonwerke, die im Jahr 2011 rund 56 % der deutschen Zementproduktion nachfragten, sowie die Hersteller von Betonbauteilen mit 26 %. Diese Abnehmer werden mit Silozement beliefert. Der Anteil des Sackzements, der u.a. über den Baustoffhandel vertrieben wird, lag nur noch bei 7 %. Weitere 11 % wurden als sonstiger Silozement ausgeliefert und v.a. für die industrielle Herstellung von Mörteln, Putzen und Estrichen sowie für bauchemische und Sonderprodukte benötigt.

Die Transportbetonindustrie ist ausgesprochen kleinbetrieblich und dezentral strukturiert, weil sich Frischbeton nur über geringe Entfernungen transportieren lässt. Nach Verbandsangaben – ein Teil der Unternehmen fällt unter die „Abschneidegrenze“ des Statistischen Bundesamtes – beschäftigte die Transportbetonindustrie im Jahr 2011 insgesamt 9500 Personen, der Umsatz belief sich auf 3,1 Mrd. €. Die industrielle Herstellung von Betonbauteilen ist durch kleine und mittelgroße Betriebe geprägt. Insgesamt wurden im Jahr 2011 von circa 35000 Beschäftigten Waren im Wert von 6 Mrd. € produziert.

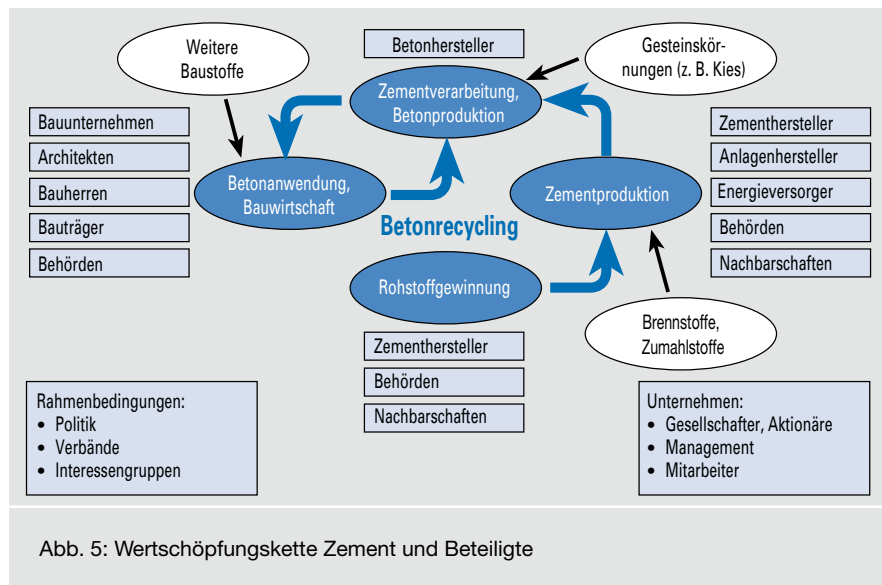


Abb. 5: Wertschöpfungskette Zement und Beteiligte

Fasst man die gesamte Wertschöpfungskette zusammen, in der Zement hergestellt, weiterverarbeitet und verwendet wird, so folgt auf die Rohstoffgewinnung und Zementproduktion die Herstellung zementgebundener Baustoffe (insbesondere Beton), die Anwendung dieser Baustoffe im Zuge des Bauprozesses sowie die Nutzungsphase des betreffenden Bauwerkes (Abbildung 5). Abgeschlossen wird die Wertschöpfungskette durch die Verwertung der Reststoffe nach Abriss eines Bauwerks. Betonbruch lässt sich zwar nicht zu Zement recyceln, kann aber nach erneuter Aufbereitung die natürlichen Ressourcen Kies und Sand teilweise ersetzen. An dieser Wertschöpfungskette ist die Zementindustrie nur an den beiden ersten Stufen – der Rohstoffgewinnung und der Zementproduktion – direkt beteiligt. Verschiedene Zementhersteller haben aber ihre eigene Wertschöpfung abgerundet, indem sie im Rahmen einer vertikalen Integration Transportbeton- und Fertigteilverke betreiben oder sich an solchen beteiligen. Zudem ist die Zementindustrie über den VDZ mit Aktivitäten zur Bauberatung, zum Marketing und zur Betontechnologie im Bereich der Betonherstellung und Betonanwendung engagiert.

Neben den Unternehmen der Zementindustrie mit Gesellschaftern, Aktionären und Management sowie Belegschaften und Betriebsräten sind auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette mehrere andere Akteure über direkte materielle Inputs oder über sonstige Einflüsse in den Gesamtprozess eingebunden. Bei der Rohstoffgewinnung

sind dies neben den teils organisierten, teils nicht-organisierten Nachbarschaften vor allem die Behörden mit Zuständigkeit für die Raumplanung und die Genehmigung von Abgrabungen. Auf der Stufe der Zementproduktion spielen neben den Nachbarschaften und den Genehmigungsbehörden die Maschinen- und Anlagenbauer als Ausrüster sowie die Energiewirtschaft als Zulieferer eine bedeutende Rolle. Bei der Anwendung entscheiden – vermittelt über die Betonhersteller und weitere Branchen (Baustoffhandel und Mörtelindustrie) – Bauwirtschaft, Architekten und Bauingenieure, Bauherren und Bauträger sowie diverse staatliche Einrichtungen über Art und Umfang des Einsatzes zementgebundener Baustoffe. Für die Ausgestaltung der Rahmenbedingungen nehmen zudem auf allen Stufen der Wertschöpfungskette die politischen Institutionen auf EU-, Bundes- und Länderebene einschließlich der relevanten Interessengruppen (insbesondere Umwelt- und Wirtschaftsverbände sowie Gewerkschaften) eine wichtige Funktion ein.

Fast alle Zementhersteller in Deutschland sind Mitglied im Verein Deutscher Zementwerke, der u.a. das Forschungsinstitut der Zementindustrie trägt, und sind in mehreren regionalen Arbeitgeberverbänden zusammengeschlossen. Die Beschäftigten werden durch die beiden Industriegewerkschaften Bauen-Agrar-Umwelt (Schwerpunkte in West-, Süd- und Ostdeutschland) und Bergbau, Chemie, Energie (Schwerpunkte in Nord- und Westdeutschland) organisiert und vertreten.

3 Beiträge zur Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette des Zements

3.1 Rohstoffgewinnung

Rohstoffbedarf und Versorgungssicherheit

Die Gewinnung der für die Zementproduktion wichtigsten Rohstoffe (Kalkstein und Ton bzw. deren natürlich vorkommendes Gemisch, der Kalkmergel) ist die erste Stufe des Herstellungsprozesses und damit integraler Bestandteil der Wertschöpfungskette. Für die Klinkerproduktion wurden in den vergangenen Jahren in Deutschland zwischen 34 und 42 Mio. t Rohmaterial abgebaut (vgl. VDZ 2012b). Der Umgang mit mineralischen Rohstoffen – hierzu gehören neben den für die Zementherstellung notwendigen Materialien u.a. auch Kies und Sand für die Beton- bzw. Mörtelproduktion – ist für die Entwicklung einer Nachhaltigkeitsstrategie von großer Bedeutung: Rohstoffgewinnung stellt einerseits die materielle Basis der Bauwirtschaft dar, andererseits ist sie mit Eingriffen in das Landschaftsgefüge verbunden. Letzteres kann zu Konflikten mit anderen Belangen und Flächenansprüchen führen. Vor diesem Hintergrund hatte sich auch die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages mit der Gewinnung mineralischer Rohstoffe befasst – ihre Schlussfolgerung ist auch heute noch unverändert gültig:

„Die im Auftrag der Kommission durchgeführte Stoffstrom-Studie wie auch die Untersuchungen im Auftrag des Bundesforschungsministeriums zeigen, dass der Materialbedarf für den Hochbau noch über viele Jahrzehnte weitgehend über die Gewinnung von Mineralstoffen gedeckt werden muss, da Sekundärmaterialien aus Recyclingprozessen im Hochbau nur einen geringen Prozentsatz des Bedarfes decken können.“ (vgl. Enquete-Kommission 1998)

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass Kalksteine nicht nur eine Grundlage zur Erzeugung von Baustoffen für den Hoch- und Tiefbau sind, sondern auch für andere Branchen einen unverzichtbaren Rohstoff darstellen. Dies gilt u.a. für die Stahlindustrie (bei der Roheisenerzeugung), die Chemische Industrie (u.a. für die Herstellung von Düngemitteln), die Glasindus-



trie, die Wasserwirtschaft (Reinigung von Wasser) und den Umweltschutz (u.a. Rauchgasentschwefelung). Entsprechende Reststoffe bzw. Koppelprodukte kommen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft als sekundäre Materialien bei der Zementherstellung zum Einsatz (siehe unten).

Neue Untersuchungen zeigen allerdings, dass die Bedeutung von Sekundärrohstoffen als Ersatz für primäre Steine- und Erdenrohstoffe in den kommenden Jahren trotz hoher Verwertungsquoten voraussichtlich leicht abnehmen wird, weil durch die Energiewende ein geringeres Aufkommen an Koppelprodukten aus Kraftwerken zu erwarten ist. Insgesamt ist daher mit einem Anstieg des Kalksteinbedarfs zur Zementherzeugung von 37,5 Mio. t im Jahr 2010 auf 40,3 bis 46,2 Mio. t im Jahr 2030 zu rechnen (vgl. BBS 2012).

Eine nachhaltige Versorgung der Bauwirtschaft hängt maßgeblich von den

betrieblichen Anforderungen der Unternehmen ab, die mineralische Rohstoffe gewinnen und zu Baustoffen weiterverarbeiten. So bedarf die Herstellung von 1 t Zementklinker etwa 1,6 t Rohmaterial (der Massenverlust erklärt sich vor allem durch das Austreiben des im Kalkstein gebundenen Kohlendioxids bei der Zementklinkerherstellung). Hinzu kommt, dass der Transport der Rohstoffe aufgrund ihres Gewichtes sehr kostenintensiv ist. Obwohl es – etwa bei der Zufuhr von hochwertigem Kalkstein als Korrekturmateriale – gewisse Ausnahmen gibt, liegen Zementwerke mit Klinkerherstellung deshalb in der Regel in unmittelbarer Nähe der ihrerseits standortgebundenen Lagerstätten (Abbildung 6). Dies hat nicht nur ökonomische, sondern auch ökologische Vorteile, weil Umweltbelastungen durch Transporte vermieden bzw. begrenzt werden können. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist eine langfristige Rohstoffsicherung unverzichtbar, weil die Zementher-

stellung besonders kapitalintensiv ist und sich umfangreiche Investitionen nur über entsprechende Zeiträume amortisieren (siehe Ausführungen in Kapitel 2).

Substitutionspotenziale

Häufig wird die Frage aufgeworfen, ob die Rohstoffgewinnung zur Produktion zementgebundener Baustoffe entweder durch den verstärkten Einsatz nachwachsender Baustoffe oder durch ein verstärktes Recycling von Bauabfällen vermindert werden kann.

Im Hinblick auf die Verwendung nachwachsender Baustoffe muss bezweifelt werden, dass deren Marktanteile so zunehmen, dass der Rohstoffbedarf für die Zement- und Betonproduktion sinkt. In vielen Baubereichen – wie z.B. dem Tiefbau – kann Beton schon aus technischen Gründen nicht ersetzt werden. Holz als der wichtigste nachwachsende Rohstoff, der im Hochbau verwendet wird, hat in den vergangenen Jahren nur geringfügig an Bedeutung gewinnen können (vgl. BBS 2012). Zudem würde sich der Zementverbrauch durch steigende Marktanteile von Holz im Eigenheimbau kaum verringern. So hat das DIW errechnet, dass sich die Zementproduktion in Deutschland selbst bei starker Zunahme der Holzbauweise und gleichzeitigem Verzicht auf eine Unterkellerung nur um rund 1 % verringern würde (Heimer + Herbstreit/DIW 1997). Da gleichzeitig die Verwendung zementgebundener Baustoffe in verschiedenen Feldern neue technische Möglichkeiten und Anwendungen eröffnet, wodurch Zement neue Marktpotenziale gewinnt (siehe Kapitel 3.4), ist für die Zukunft nicht von einem strukturellen Rückgang des Zementverbrauches auszugehen.

Das Recycling von Beton und anderen Baustoffen hingegen stellt einen wichtigen Beitrag in der Wertschöpfungskette des Zements dar, führt jedoch nicht zu einer Verminderung des Zementbedarfs: Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen schont zwar Kies- und Sandressourcen, bedarf aber seinerseits des Bindemittels Zement. Je nach Ausgangsfraktion (Betonbruch, Betonbrechsande, Ziegelsplitt etc.) und angestrebter Betonqualität kann der Zementbedarf für Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen sogar ansteigen, weil nur so bestimmte Eigenschaften des Betons – insbeson-

dere die notwendigen Festigkeiten – erreichbar sind (siehe Kapitel 3.3). Zement, der als Bindemittel zur Betonherstellung eingesetzt wurde, lässt sich nicht mehr recyceln. Versuche, nicht hydratisierte Reste des Zementsteins zu separieren, stellen mit Blick auf Output, spezifischen Energiebedarf und Bindemittelqualität zumindest aus heutiger Sicht keine technisch durchführbare, ökologisch und ökonomisch zielführende Option dar.

Allerdings trägt die Zementindustrie ihrerseits mit der Verwendung sekundärer Einsatzstoffe zur Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft bei (Tabelle 3). Insgesamt wird mehr als ein Fünftel der natürlichen Rohstoffe für die Zementproduktion durch sekundäre Einsatzstoffe und industrielle Neben- bzw. Koppelprodukte ersetzt. So werden in der Klinkerproduktion Kalkschlämme aus der Trinkwasseraufbereitung, Gießereisande oder Flugaschen aus der Entstaubung von Kohlekraftwerken verwertet. Sie enthalten als Hauptbestandteile Siliciumdioxid, Aluminiumoxid, Eisenoxid und/oder Calciumoxid und werden mit den natürlichen Rohstoffen so kombiniert, dass die Anforderungen an die Klinkerqualität erfüllt werden. Aufgrund des begrenzten Angebotes geeigneter Stoffe lag der Anteil von Sekundärrohstoffen am Input der Klinkerproduktion im Jahr 2011 branchenweit nur bei rund 3 % (einschließlich Aschen). Die Substitutionspotenziale hängen dabei auch von den geologischen Voraus-

setzungen der jeweiligen Produktionsstandorte ab. Sie sind bei Zementwerken mit sehr kalkreichen Lagerstätten generell höher einzuschätzen als bei Werken, die Kalkmergel verarbeiten.

Bei der Zementmahlung werden hingegen deutlich höhere Substitutionseffekte erzielt. Die größte Bedeutung hat dabei Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke), ein Koppelprodukt der Roheisenerzeugung. Hüttensand ist ein latent hydraulischer Stoff, der mit Hilfe von Zementklinker und Gips alkalisch bzw. sulfatisch angeregt werden kann, so dass er in technisch nutzbarer Zeit erhärtet. Er wird daher mit Zementklinker und Gips zu Hütten- oder Hochofenzement vermischt bzw. vermahlen. Dadurch lassen sich nicht nur natürliche Rohstoffe schonen, sondern auch die CO₂-Emissionen senken, die mit der Klinkerherstellung verbunden sind (siehe hierzu Kapitel 3.2). Im Jahr 2011 hat die deutsche Zementindustrie etwa 5,8 Mio. t Hüttensand bei der Zementmahlung eingesetzt, d.h. rund 10 Mio. t natürliche Rohstoffe für die Klinkerproduktion eingespart. Abgesehen von den logistischen Anforderungen stellt aber die Verfügbarkeit von Hüttensand, die in erster Linie von der Entwicklung der Stahlproduktion abhängt, eine Herausforderung dar. So wurden allein im Jahr 2011 rund drei Viertel des in Deutschland erzeugten Hüttensandes für die Herstellung entsprechender Portland-Komposit- oder Hochofenzemente genutzt.

Tab. 3: Substitutionseffekte und -potenziale (Zahlenangaben: VDZ Umweltdaten verschiedener Jahre, BBS 2012, eigene Berechnungen)

Produktionsstufe	Art der Einsatzstoffe	Anteile		Voraussichtliche weitere Tendenz
		2000	2011	
Klinkerherstellung	Rohstoffe			
	Natürliche Rohstoffe	95 %	97 %	↗
	Alternative Rohstoffe / Asche	5 %	3 %	↘
	Brennstoffe			
	Primäre Brennstoffe	74 %	39 %	↘
	Alternative Brennstoffe	26 %	61 %	↗
Zementmahlung	Hauptbestandteile			
	Zementklinker	79 %	77 %	→
	Summe anderer Hauptbestandteile	17 %	19 %	→
	Sulfatträger			
	Natürlicher Gips / Anhydrit	75 %	78 %	↗
	REA- / Industriegipse	25 %	22 %	↘

Ein weiterer Beitrag zur Schonung natürlicher Rohstoffressourcen bzw. zur Kreislaufwirtschaft ist die Substitution der Sulfatträger Gips und/oder Anhydrit, die mit einem Anteil von etwa 4 Masse-% zur Steuerung des späteren Erstarrungsverhaltens bei der Zementmahlung zugesetzt werden. Hier stammten im Jahr 2011 rund 22 % aus der Rauchgasentschwefelung von Kohlekraftwerken (REA-Gips) oder aus anderen industriellen Prozessen (z.B. der Porzellanherstellung).

Flächenbedarf und Raumnutzung auf Zeit

Die Gewinnung natürlicher Rohstoffe bleibt auch in der Zukunft die Basis der Zementerzeugung. Damit stellt sich die Frage nach Umfang und Art des Flächenbedarfs der deutschen Zementindustrie. Hierbei ist zunächst zu unterscheiden zwischen:

- der langfristigen Flächenbevorzugung, für die Zementhersteller Flächen geeigneter Lagerstätten erwerben,
- Abbauflächen in der amtlichen Statistik, die auf mehrjährig geltenden Abbaugenehmigungen beruhen,
- dem konkreten jährlichen Flächenbedarf zum faktischen Abbau von Rohstoffen.

Die für die Gewinnung sämtlicher oberflächennaher Rohstoffe (einschließlich Braunkohle und Torf) genehmigten Flächen umfassten nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 2010 in Deutschland 1 620 km², was rund 0,45 % der Landesfläche entspricht. Diese Angabe beinhaltet auch zum Abbau vorbereitete Flächen, zum Teil bereits abgebaute Flächen und Sicherheitsstreifen, die u.a. aufgrund der Mindestabstände zu Siedlungen und Verkehrswegen erforderlich sind. Die Gesamtgröße der genehmigten Abbauflächen verringert sich seit Jahren nahezu stetig und ist im Vergleich zu 1997 (1 760 km²) bis 2010 um ca. 8 % gesunken.

Die Deutsche Rohstoffagentur hat eine Schätzung über den faktischen Flächenbedarf der Gewinnung oberflächennaher Rohstoffe für das Jahr 2010 vorgenommen (vgl. Tabelle 4). Danach ergab sich aufgrund des Abbaus von 45,3 Mio. t Kalk- bzw. Kalkmergelstein für die Herstellung von Zementklinker bei Annahme einer Schüttdichte von 2,6 t/m³ und einer durchschnittlichen, konservativ angesetzten Abbaumächtigkeit von 25 m ein Flächenäquivalent von 0,70 km². Dies entspricht weniger als 0,0002 % der gesamten deutschen Landesfläche. Selbst wenn man den Kies- und Sandabbau für die Beton- und Mörtelproduktion hinzunimmt, ergeben sich im Vergleich zu anderen

Nutzungstypen niedrige Werte. Insgesamt hat der Abbau oberflächennaher Rohstoffe (inklusive Braunkohle und Torf) 2010 weniger als 0,01 % der gesamten Landesfläche beansprucht.

Trotz des geringen bundesweiten Flächenbedarfs, den die Rohstoffgewinnung zur Zementherstellung erfordert, nehmen die Konflikte mit anderen Nutzungsformen zu. Dabei wird nicht selten die Forderung nach einer Verlagerung von Rohstoffgewinnung und Zementherstellung erhoben. Ungeachtet der damit verbundenen ökologischen wie ökonomischen, struktur- und beschäftigungspolitischen Friktionen zeichnet sich ab, dass eine Verlagerung an Standorte mit geeigneten Lagerstätten häufig nicht mehr mit anderen gesellschaftspolitischen Belangen in Einklang gebracht werden kann. Verschiedene Gutachten kommen zu dem Ergebnis, dass bei fast allen Lagerstätten, die als Standorte für Zementwerke geeignet wären, ein erhebliches Konfliktpotenzial zwischen Rohstoffgewinnung und Naturschutz besteht (vgl. beispielsweise Heimer + Herbstreit/DIW 1997 im Auftrag des NRW-Umweltministeriums sowie SUSTAIN CONSULT / Ökoplan 2005).

Flächenverknappung, Überplanung und Nutzungskonflikte machen eine Erweiterung oder einen Neuaufschluss von Abbauflächen zunehmend schwieriger.

Tab. 4: Flächenbedarf für den Abbau oberflächennaher Rohstoffe im Jahr 2010 (Quelle: DERA Deutsche Rohstoffagentur 2011, eigene Berechnung)

	Tonnage in t	Schüttdichte in t/m ³	Volumen- äquivalent in m ³	Ø Abbau- mächtigkeit in m	Flächen- äquivalent in km ²
Bausand, Baukies etc.	239 000 000	1,8	132 750 000	15	8,85
Quarzsande	9 900 000	1,8	55 050 000	15	3,67
Gebrochene Natursteine	208 000 000	2,6	80 000 000	25	3,20
Kalk- und Dolomitsteine	18 000 000	2,6	7 000 000	25	0,28
Kalkstein für Zement	45 300 000	2,6	17 500 000	25	0,70
Spezialtone	7 177 103	2,2	3 300 000	10	0,33
Rohkaolin	4 600 000	2,2	2 100 000	10	0,21
Gips- und Anhydritstein	1 800 000	2,0	900 000	10	0,09
Bims	./.	./.	150 000	5	0,03
Naturwerksteine	425 000	2,6	150 000	5	0,03
Braunkohle, Rheinland	90 742 000	1,3	70 000 000	35	2,00
Braunkohle, Lausitz	56 673 000	1,3	44 000 000	11	4,00
Braunkohle, Mitteldeutschland	20 004 000	1,3	15 400 000	11	1,40
Braunkohle, Niedersachsen	1 984 000	1,3	1 600 000	20	0,08
Torf	./.	./.	8 000 000	2	4,00
Summe					28,870

riger. Als Folge daraus drohen daher Engpässe in der Rohstoffversorgung. Dies hatte bereits die zweite Enquete-Kommission des Bundestages ausdrücklich anerkannt:

„Entsprechende Grundstoffe wie Sand, Kies, Kalk stehen in einigen Regionen Deutschlands nur noch mittelfristig in ausreichenden Mengen zur Verfügung, da viele Lagerstätten durch andere Ausweisungen blockiert sind. Die Sicherung durch Festlegung in Landes- und Regionalplänen ist zwar derzeit ausreichend. Es stellt sich aber die Frage, inwieweit in Zukunft eine Ausweisung von Vorrats- und Vorrangflächen für die Gewinnung von Mineralstoffen über die heute übliche Sicherung durch Gebietsentwicklungspläne oder Landesentwicklungspläne hinaus erforderlich wird.“ (vgl. Enquete-Kommission 1998)

Mittlerweile stellt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in einer Studie zur Rohstoffsituation in Deutschland fest, dass zum Beispiel bei Kalkstein, Kies und Sand lokale Verknappungserscheinungen auftreten, deren Ursache nicht auf eine Erschöpfung der Vorräte, sondern vielmehr auf eine Inanspruchnahme von Lagerstätten durch konkurrierende Nutzungsansprüche bzw. durch die Umweltschutz-Gesetzgebung zurückzuführen ist (BGR 2008, S. 111). Diesen Zielkonflikt zwischen rohstoff- und in erster Linie umweltpolitischen Belangen hat die Bundesregierung erkannt und die Bedeutung heimischer Rohstoffe und ihrer Nutzung im Abgleich mit anderen Raumnutzungsansprüchen unterstrichen (BMW 2010).

In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass die Gewinnung oberflächennaher Rohstoffe eine Raumnutzung auf Zeit darstellt: Die entsprechenden Flächen werden nicht dauerhaft blockiert, sondern stehen nach der dynamischen, im Allgemeinen etappenweise durchgeführten Abbautätigkeit wieder für andere Nutzungszwecke zur Verfügung. Dies unterscheidet die Flächeninanspruchnahme der Zementindustrie und anderer abgrabender Branchen grundlegend von anderen Nutzungsformen. Die Abbaufelder der Zementindustrie stehen einer nachhaltigen Entwicklung nicht im Wege, sondern passen sich bereits seit vielen Jahren

in verschiedene Entwicklungs- und Raumnutzungskonzepte ein (vgl. die Ausführungen zur Folgenutzung weiter unten).

Landes- und Regionalplanung

Abbauvorhaben müssen mit den Grundsätzen und Zielen der Raumordnung und Landesplanung übereinstimmen. Für eine vorsorgende Sicherung der Rohstoffe ist eine Ausweisung geeigneter Lagerstätten bzw. Rohstoffgebiete in der Landes- und Regionalplanung von großer Bedeutung, zumal die raumordnerischen Ziele erheblichen Einfluss auf die Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit von Abbauvorhaben durch die Behörden haben. Im Unterschied zu Fachplanungen für andere Belange (z.B. für den Naturschutz) gibt es in Deutschland keine spezifische bzw. explizite Planung zur Sicherung der u.a. für die Zementproduktion notwendigen mineralischen Rohstoffe. Immerhin stellt die Rohstoffsicherung einen Grundsatz des Bundesraumordnungsgesetzes dar, der in der Landes- und Regionalplanung berücksichtigt werden muss. Im Gesetz heißt es:

„Es sind die räumlichen Voraussetzungen für die vorsorgende Sicherung sowie für die geordnete Aufsuchung und Gewinnung von standortgebundenen Rohstoffen zu schaffen.“ (§ 2 Abs. 2 Satz 4 ROG)

Mit Vorrang-, Vorbehalts- und Eignungsgebieten unterscheidet das Raumordnungsgesetz dabei drei Gebietskategorien, mit deren konsequenter textlicher und kartografischer Umsetzung eine nachhaltige Rohstoffsicherung in der Landes- und Regionalplanung besser als bisher erfüllt und Nutzungskonflikte vermieden werden könnten. Die Landes- und Regionalplanung ist in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich geregelt und organisiert. Zwar finden sich in den Landesentwicklungsprogrammen grundsätzliche Aussagen zur Rohstoffsicherung, eine konkrete Zielsetzung und Darstellung von Rohstoffgebieten für die Zementindustrie erfolgt aber in der Regel erst durch die Regionalplanung.

Für die Absicherung geeigneter Lagerstätten ist die Regionalplanung in der Praxis bisher indes nur eingeschränkt geeignet. Vor allem greift der Planungshorizont im Allgemeinen zu

kurz. Eine längerfristige Planung ist in mehrfacher Hinsicht wünschenswert: für eine volkswirtschaftlich nachhaltige Baustoffversorgung, für die Investitionssicherheit zumal der kapitalintensiven Zementindustrie und für eine faire Abstimmung der verschiedenen Nutzungsansprüche. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass durch eine längerfristige Planung zwar latente Nutzungskonflikte deutlicher werden, die erhöhte Sicherheit jedoch für alle Nutzungsansprüche letztlich vorteilhaft ist.

Die Beförderung einer nachhaltigen Entwicklung ist in den vergangenen Jahren auch zum Leitbild für die Landes- und Regionalplanung geworden (vgl. § 1 Abs. 2 Satz 1 ROG). Neben inhaltlichen Aspekten haben dabei Moderation und Mediation zwischen verschiedenen Interessen sowie die kooperative Erarbeitung von Planungsempfehlungen eine große Bedeutung erhalten. Entsprechend breit angelegte Verhandlungsprozesse sind sicherlich in vielen Fällen eine Belastung für die Unternehmen, implizieren mit Blick auf den ohnehin steigenden Abstimmungsbedarf in Zeiten schwindender öffentlicher Akzeptanz für Großprojekte und die Defizite des jetzigen Planungssystems aber auch Chancen für eine weitsichtige Rohstoffsicherung.

Vor diesem Hintergrund sind an einzelnen Standorten der Zementindustrie in Zusammenarbeit mit den Vertretern anderer Interessengruppen ergänzende Instrumente auf freiwilliger Basis entwickelt worden. Ein Beispiel ist die Gesamtrekultivierungsplanung in der Stadt Beckum: Hier wurde erstmals 1979 ein Plan erstellt, mit dem die Rohstoffgewinnung von (zum Zeitpunkt der Erstellung) sieben Zementwerken mit den Entwicklungsbedürfnissen der Kommune abgestimmt wurde. Der Gesamtrekultivierungsplan wurde im Jahr 2001 von den dann vier abgrabenden Unternehmen überarbeitet und bildete eine wichtige Grundlage zur Vorbereitung des neuen Flächennutzungsplans, der im Jahr 2010 aufgestellt wurde. Der Gesamtrekultivierungsplan ist das Ergebnis eines intensiven Abstimmungsprozesses und basiert auf einem breiten Konsens zwischen den Trägern der öffentlichen Belange, den Naturschutzverbänden, den vor Ort tätigen Zementherstellern und der Stadt Beckum und wird in vielen kommunalen Projekten zur Neuplanung und -gestaltung von Flächen und Standorten der Zementindustrie

(z.B. Gestaltung eines Freizeit- und Erholungsgebiets, Entstehung eines Gewerbeparks) realisiert.

Genehmigungsrecht und umweltverträgliche Rohstoffgewinnung

Auch die genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen der Rohstoffgewinnung sind äußerst komplex und variieren erheblich. Die wichtigsten Grundlagen für die Abbaustätten der Zementindustrie sind das Immissionschutzrecht, das Naturschutzrecht, das Wasserhaushaltsrecht und das Baurecht sowie – in Ostdeutschland – das Bergrecht. Neben den diversen bundes- und landesrechtlichen Bestimmungen kommt auch europäischen Vorgaben eine zunehmende Bedeutung zu. Dies gilt zum Beispiel für die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, die von den Mitgliedstaaten der EU durch Meldung bzw. Ausweisung naturschutzfachlich geeigneter Gebiete umgesetzt werden muss und auf deren Basis mit „Natura 2000“ ein europaweites Netz von Gebieten zum Schutz gefährdeter Pflanzen- und Tierarten und ihrer natürlichen Lebensräume geschaffen wurde, in das auch Schutzgebiete nach der Vogelschutz-Richtlinie der EU integriert sind.

Für das Genehmigungsverfahren müssen abgrabende Unternehmen in der Regel eine Umweltverträglichkeitsstudie nach dem UVP-Gesetz vorlegen. Dabei werden alle Auswirkungen eines Vorhabens auf Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft sowie auf Kultur- und sonstige Sachgüter (einschließlich ihrer Wechselwirkungen) berücksichtigt. Zusätzlich kann die zuständige Genehmigungsbehörde spezielle Ausarbeitungen einfordern, z.B. schalltechnische Analysen über mögliche Lärmbelastigungen, hydrogeologische Gutachten über potenzielle Auswirkungen der Abbautätigkeit auf das Grundwasser oder naturschutzfachliche Untersuchungen über bestimmte Tier- und Pflanzenarten.

Auf dieser Basis wird der Antrag für die Aufnahme oder Erweiterung der Abbautätigkeit geprüft und festgelegt, welche Maßnahmen die Unternehmen durchführen müssen und welche Beschränkungen ihnen auferlegt werden. Abbautechnik und Abbauführung werden – auch mit Blick auf Umweltschutz und Nachbarschaften –

in einem Abbauplan festgelegt. Umfangreiche Anforderungen resultieren nicht zuletzt aus der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung. Danach muss jeder Eingriff in Natur und Landschaft auf der Grundlage vorgegebener, im Bundesnaturschutzgesetz definierter Schemata bewertet und mindestens in gleichem Umfang durch Ausgleichs- bzw. Ersatzmaßnahmen kompensiert werden. Auch für die Rekultivierungs- bzw. Renaturierungsmaßnahmen nach Abschluss der Abbautätigkeit gibt es daher entsprechende Festlegungen (Rekultivierungspläne, landschaftspflegerische Begleitpläne etc.).

Insgesamt gehören Maßnahmen des Natur- und Umweltschutzes heute zu den umfangreichsten Pflichten der Betreiber von Abbaustätten. Verfahrenstechnische Entwicklungen beim Rohstoffabbau und freiwillige Maßnahmen der Unternehmen tragen dabei zu einer umweltschonenden Gewinnung bei. Neben naturschutzorientierten Aktivitäten (siehe unten) lässt sich dabei auf folgende Beispiele verweisen:

- Konventionell erfolgt die Gewinnung fester Gesteine mittels Bohren und Sprengen. Die dabei entstehenden Bodenerschütterungen und Lärmemissionen sind durch moderne Verfahren (Verwendung von Zündzeitverzögerern) und/oder organisatorische Maßnahmen (Verringerung der Abbauwand- bzw. Strossenhöhen etc.) erheblich reduziert worden. Hier ist auch in Zukunft mit Weiterentwicklungen zu rechnen. Wo geologisch möglich, werden zudem auch andere Verfahren wie insbesondere das Reißen (Ripping) durch leistungsstarke Großgeräte (Hydraulikbagger oder Raupen) genutzt.
- Im engeren Tagebaubetrieb überwiegen Ladung und Transport mittels Hydraulikbagger bzw. Radlader und Schweren Lastkraftwagen (SLKW), während der Weitertransport ab den Vorbrechaggregaten durch Förderbänder erfolgt. Statt Förderbändern werden mitunter auch andere Transportmittel, wie z.B. Seilbahnen, eingesetzt. Aufgrund der geologisch, aber auch umweltpolitisch bedingten Unterschiede in der Abbauführung (Hangabbau, Abbau nach der Teufe) werden die Betriebsmittel unterschiedlich kombiniert. Grund-

sätzlich gilt, dass der spezifische Energieeinsatz und die Lärmemissionen des Equipments erheblich gesenkt werden konnten. So verlaufen z.B. die Förderbänder teilweise gekapselt oder unterirdisch, auch wurde der Kraftstoffverbrauch der Großgeräte in den vergangenen Jahren schon aus Kostengründen erheblich reduziert.

- Als Basis der kapitalintensiven Zementproduktion sind die Rohstoffe ein elementarer Produktionsfaktor. Durch parallelen Abbau unterschiedlicher Gesteinsqualitäten (selektiver Abbau) und eine aufwändige Homogenisierung werden die Lagerstätten so effektiv wie möglich genutzt und der Anfall von nicht nutzbarem Material minimiert. Wenn sinnvoll, wird die Produktpalette eines Werkes um Erzeugnisse mit anderen Materialanforderungen (z.B. Branntkalk oder Schotter) ergänzt. Zur Optimierung der Tagebauplanung und der Prozesse werden computergestützte Programme genutzt, die betriebliche und umweltspezifische Aspekte berücksichtigen (Qualitätssteuerung, effizienter Geräteeinsatz, Minimierung der hydrologischen Effekte etc.). Mit Hilfe dreidimensionaler Simulationsmodelle lässt sich der geplante Abbauvortrieb einschließlich Rekultivierung bzw. Renaturierung zur Verdeutlichung der landschaftsästhetischen Effekte detailgetreu visualisieren.

Folgenutzung und Naturschutz

Abbauflächen müssen nach ihrer Stilllegung von den Unternehmen hergerichtet werden – in welcher Weise dies geschieht, wird bereits im Rahmen der Abbaugenehmigung festgelegt. Grundsätzlich kommen hier verschiedene Möglichkeiten in Betracht, am häufigsten sind die Rekultivierung und die Renaturierung. Während unter Rekultivierung die Wiederherrichtung der Flächen insbesondere für die Land- oder Forstwirtschaft verstanden wird, bezeichnet Renaturierung die Vorbereitung und Flankierung einer natürlichen oder naturnahen Entwicklung (Sukzession) von Flora und Fauna.

Welche Bedeutung ehemalige Abbaustätten für den Naturschutz haben, wurde von der deutschen Zementindustrie im Rahmen eines naturschutz-

fachlichen Gesamtprojektes durch eine Umfrage ermittelt, an der sich alle Werke mit Abbaustätten beteiligt haben und die damit umfassend Auskunft über die Vor- und Folgenutzung der Abbauflächen gibt (BDZ/VDZ 2001). Danach zeigt sich, dass die Folgenutzung Naturschutz auf einen Flächenanteil von 53,7 % kommt. Forstliche und landwirtschaftliche Rekultivierung folgen bei fast identischen Anteilen mit 29,7 %. Letztere müssen durchgeführt werden, wenn ein Grundeigentümer die zwischenzeitlich zur Rohstoffgewinnung genutzten Flächen für die Fortführung eines land- oder forstwirtschaftlichen Betriebs benötigt. Der Anteil von Deponieflächen (Reifen-, Hausmüll- und Erddeponien) beträgt bei abnehmender Tendenz bundesweit 13,3 %, während andere Nutzungstypen – wie z.B. Freizeit und Erholung (0,7 %) – bei den stillgelegten Flächen der Zementindustrie quantitativ nur eine untergeordnete Rolle spielen (Abbildung 7). Es ist davon auszugehen, dass diese Verteilung der verschiedenen Folgenutzungen für ehemalige Abbaustätten auch heute noch annähernd zutreffend ist; an Bedeutung dürfte am ehesten der Naturschutz gewonnen haben.

Während bei der Folgenutzung der Naturschutz dominiert, tritt bei der Vornutzung der Ackerbau, d.h. eine im Allgemeinen intensive Form der Landwirtschaft in den Vordergrund (Abbildung 8). Ihr Anteil lag im Jahr 2001 bei 54,9 %. Auf die forstwirtschaftliche Vornutzung entfallen 26,3 %, Grünland- und Weidenutzung kommen als weitere landwirtschaftliche Nutzungsformen auf einen Anteil von 17,5 %. Dabei hat die Bedeutung der ackerbaulichen Vornutzung bei gleichzeitig sinkendem Anteil der Wald- und Weidenutzung kontinuierlich zugenommen und liegt seit den 1950er Jahren bei über 70 %.

Die Auswertung der Umfrage zeigt zudem, dass nur 32 % der stillgelegten und 27 % der betriebenen Abbaustätten keinerlei Berührungspunkte mit bereits bestehenden oder planerisch vorgesehenen Naturschutz-, Landschaftsschutz- und/oder Wasserschutzgebieten haben. Mitunter liegen sogar Naturschutzgebiete innerhalb betriebener Abbaustätten. Dies zeigt einerseits, dass in Deutschland ein dichtes Schutzgebietsnetz aufgebaut wurde, und andererseits, dass ein Interessenausgleich möglich ist.

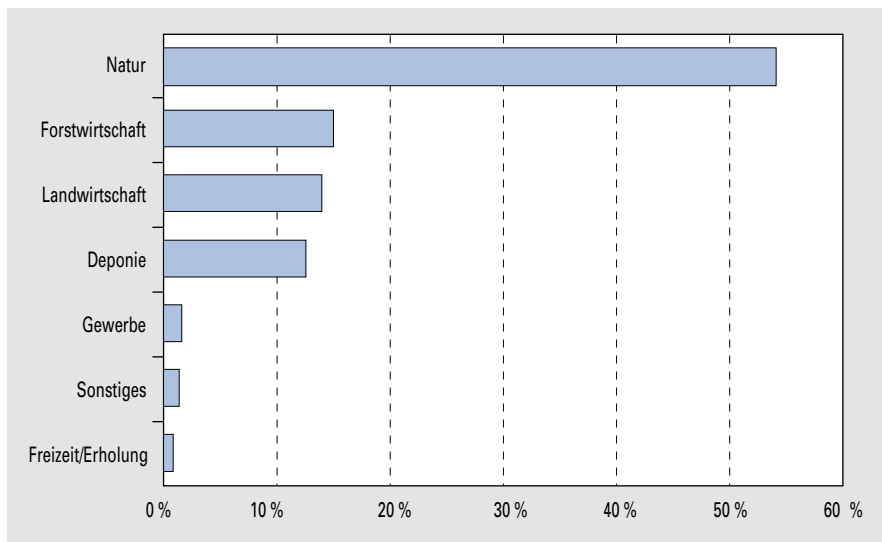


Abb. 7: Anteil der Folgenutzungstypen an der Gesamtfläche der Folgenutzung (Quelle: BDZ/VDZ 2001)

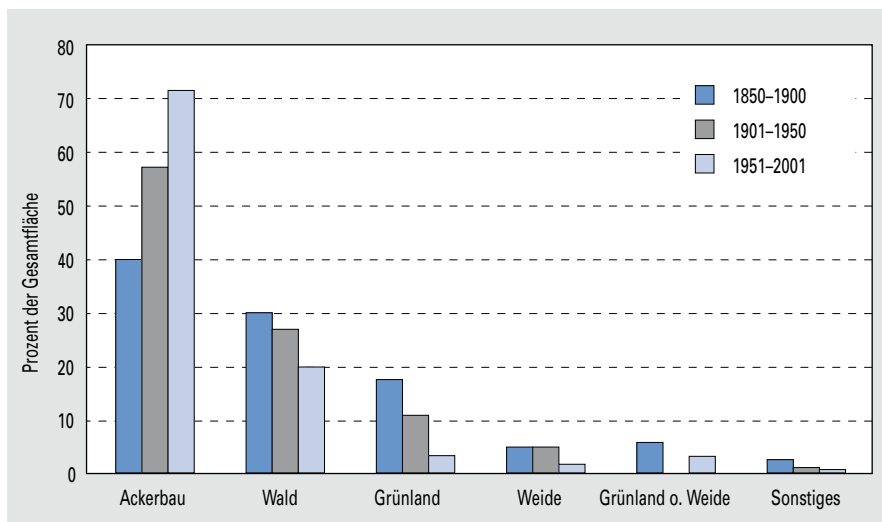


Abb. 8: Nutzungstypen vor dem Abbau, differenziert nach 50-Jahres-Zeiträumen (Quelle: BDZ/VDZ 2001)

Heute ist fachlich unbestritten, dass stillgelegte Abbaustätten als Rückzugsgebiete und Sekundärbiotope eine positive Rolle für den Natur- und Artenschutz spielen. Teilweise gilt dies auch für Abbaustätten, die sich noch in Betrieb befinden. Das Vorkommen seltener und gefährdeter Amphibienarten, Vögel und Insekten ist u.a. auf die große Strukturvielfalt der Abbaustätten zurückzuführen. Gerade betriebene Abbaustätten zeichnen sich zudem durch eine Vielzahl verschiedener Pflanzenarten aus. Manche Tiere und Pflanzen sind in ihrer Lebensweise sogar auf die dynamischen Veränderungen und „Extremstandorte“ (flachgründige Sohlen, Steilwände etc.) in betriebenen Abbaustätten angewiesen. Die Bedeutung ehemaliger und

betriebener Abbaustätten für den Natur- und Artenschutz wurde im Auftrag der Zementindustrie auch im Rahmen einer umfassenden Literaturstudie aufgearbeitet (BDZ/VDZ 2002a).

Wenngleich Untersuchungen belegen, dass eine umfassende landschaftspflegerische Gestaltung zur Renaturierung nicht erforderlich ist, müssen natürliche Entwicklungsprozesse durch diverse Maßnahmen flankiert und gesteuert werden. Dies ist – bei Vorrang der betrieblichen Belange – bereits während der Abbautätigkeit möglich und kann z.B. durch die Förderung von Wanderbiotopen auf Flächen erfolgen, die temporär nicht genutzt werden. Hierdurch können Abbaustätten auch als „Trittstein“ zur Biotopvernetzung

im jeweiligen Naturraum beitragen. Zur Optimierung des Naturschutzpotenzials von Abbaustätten werden die Renaturierungsverfahren stetig weiterentwickelt. So lässt sich durch die so genannte Mähgutausbringung die Entwicklung ökologisch wertvoller Magerrasenstandorte flankieren. An entsprechenden Forschungsvorhaben sind auch Unternehmen der Zementindustrie beteiligt.

Die deutsche Zementindustrie stellt sich bereits seit mehreren Jahren auf die zunehmende Bedeutung des Naturschutzes ein und verstärkt über den bereits etablierten Dialog hinaus die Kooperation mit den relevanten Interessengruppen. Diesem Ansatz folgt die gemeinsame Erklärung „Rohstoffnutzung in Deutschland“ vom NABU Deutschland, den Industriegewerkschaften Bauen-Agrar-Umwelt und Bergbau, Chemie, Energie sowie dem Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden, dem auch der Verein Deutscher Zementwerke angehört, aus dem Jahr 2004. Die Parteien verpflichten sich

damit auf die Zusammenarbeit u.a. bei der langfristigen Sicherung eines möglichst dezentralen und nachhaltigen Rohstoffabbaus unter Berücksichtigung der Ziele der Ressourcenschonung sowie des Umwelt- und Naturschutzes (NABU, BBS, IG BCE, IG BAU 2004). Beispiele vor Ort zeigen, dass die praktische Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Naturschutzgruppen ein konstruktiver Weg zur Minimierung von Nutzungskonflikten sein kann. Der Rückgriff auf flexible Instrumente, wie z.B. Vertragsnaturschutz oder Ökokonto, kann hierfür eine gute Grundlage sein.

Aktiver abbaubegleitender Natur- und Artenschutz

Auf Gemeinschaftsebene wurden mittlerweile einschlägige Erfahrungen mit Maßnahmen zum abbaubegleitenden Natur- und Artenschutz in Form von Empfehlungen zusammengefasst (BDZ / VDZ 2002b, BBS 2012), um entsprechende Aktivitäten in den Werken zu unterstützen. Für die Praxis ist

dabei bedeutsam, die Wirkungen der jeweiligen Abbaustätte auf die naturschutzfachlichen Schutzgüter genau zu kennen. Im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie wurde hierzu eine geeignete Methode entwickelt: Im Zuge eines mehrjährigen Pilotprojektes im Werk Schelklingen der HeidelbergCement AG wurde ein Katalog von Indikatoren erprobt, auf dessen Grundlage die Auswirkungen der Lagerstätte auf die Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten sowie deren Lebensräume vor, während und nach der Abbauphase ermittelt werden können (Tränkle et al. 2008, www.initiative-nachhaltigkeit.de). Die Projektergebnisse wurden als Beispiel für bewährte Verfahren für das Monitoring und die Anwendung von Indikatoren in den Leitfaden der Europäischen Kommission zur Gewinnung mineralischer nichtenergetischer Rohstoffe unter Berücksichtigung der Anforderungen an Natura-2000-Gebiete aufgenommen (Europäische Kommission 2011, S. 142).

3.2 Zementproduktion

Rechtlicher Rahmen

Zementwerke unterliegen dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Danach ist für den Bau und den Betrieb eines Zementwerks eine Genehmigung erforderlich. Hierin prüft die zuständige Genehmigungsbehörde, ob das Werk alle Umweltauflagen erfüllt und die Grenzwerte für Staub- und gasförmige Emissionen oder Lärm eingehalten werden. Falls erforderlich, wird in dem Genehmigungsverfahren eine Umweltverträglichkeitsuntersuchung durchgeführt, in der alle zu erwartenden Umweltauswirkungen dargestellt und bewertet werden. In der Genehmigung wird auch festgelegt, wie der laufende Anlagenbetrieb kontrolliert und überwacht wird. Zudem haben europäische Verordnungen und Richtlinien bzw. ihre Umsetzung in nationales Recht für den Betrieb von Zementwerken in den vergangenen Jahren eine immer größere Bedeutung gewonnen. Dies gilt in besonderem Maße für die EU-Richtlinie zum europäischen Emissionshandel, mit der im Jahr 2005 eine Obergrenze für die CO₂-Emissionen aus Industrie und Energiewirtschaft sowie ein System zum Handel von CO₂-Zertifikaten eingeführt wurde („cap and trade“-System).

Die Interessengemeinschaft Teutoburger Wald (IG Teuto)

Die IG Teuto ist ein seit 1998 bestehender Verein, zu dem sich u.a. Vertreter der Dyckerhoff AG, der Schencking Kalk- und Kalksandsteinwerke GmbH & Co. KG sowie der Arbeitsgemeinschaft Naturschutz Tecklenburger Land e.V. (ANTL) zusammengeschlossen haben. Der Kreis der Vereinsmitglieder umfasst zudem die Städte Lengerich und Tecklenburg, die Gemeinde Lienen, den Deutschen Gewerkschaftsbund sowie weitere regionale Einrichtungen. Ziel und Zweck der IG Teuto ist die Förderung von Maßnahmen des Natur-, Landschafts- und Bodendenkmalschutzes und ihre praktische Umsetzung. Aktuelle Projekte sind die Schafbeweidung zur Pflege artenreicher Kalkmagerrasen und die Niederwaldbewirtschaftung zur Entwicklung orchideenreicher Wälder.

Mit verschiedenen Forschungsprojekten werden die Arbeitserfolge der IG Teuto überprüft und Verfahren zum abbaubegleitenden Natur- und Artenschutz entwickelt. Über die Anlage von Wanderwegen, das Herausgeben von Naturführern über den speziellen Lebensraum am Teutoburger Wald, zahlreiche publikumsorientierte Veranstaltungen und eine intensive Öffentlichkeitsarbeit sorgt der Verein zudem dafür, dass auch die Bevölkerung von den Naturschutzmaßnahmen im Zusammenhang mit der Rohstoffgewinnung profitieren kann.

Die IG Teuto entstand auf der Basis eines Gutachtens, mit dem Wege zur Lösung des Konfliktes zwischen Kalksteingewinnung und Naturschutz im Teutoburger Wald erarbeitet werden sollten und das im Auftrag des Umweltministeriums von Nordrhein-Westfalen erstellt wurde. Die heutigen Mitglieder der IG Teuto waren in die Erstellung des Gutachtens eingebunden und wollen mit ihrer Initiative erreichen, dass Konflikte zwischen Kalksteingewinnung und Naturschutz in Zukunft vermieden werden. Leitbild der Zusammenarbeit ist die nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung der Region, die den Schutz der Natur ebenso umfasst wie die Sicherung der wirtschaftlichen Perspektiven und der Arbeitsplätze in der Zement- und Kalkindustrie.

Pilotprojekt zur Entwicklung und Erprobung von Indikatoren für die Auswirkungen von Lagerstätten auf die Biodiversität

Die Rohstoffgewinnung ist mit erheblichen Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden. Die dafür benötigten Flächen werden allerdings nur vorübergehend genutzt – als Raumnutzung auf Zeit kann die Rohstoffgewinnung in geeignete regionale Entwicklungsstrategien eingepasst werden. Durch Verbesserungen der Abbauplanung und Abbautechnik ist die Rohstoffgewinnung umweltverträglicher geworden, und auch bereits während des Betriebs können Abbaustätten eine positive Funktion für den Naturschutz einnehmen: Durch Sukzessionszonen, die im Zuge des Abbaufortschrittes innerhalb der Abbaustätte wandern, können hochwertige Lebensräume entstehen, die gerade im Hinblick auf gefährdete Arten in der umliegenden Kulturlandschaft selten sind und damit eine wichtige Bedeutung für den Erhalt der biologischen Vielfalt einnehmen.

Lange Zeit fehlten allerdings geeignete und vor allem allgemein anerkannte Instrumente, mit denen der Naturschutzwert von Abbaustätten gemessen werden kann: Während bei der Gestaltung von Naturschutzmaßnahmen mit Vertragsnaturschutz und Ökokonten erste Ansätze und Praxiserfahrungen vorliegen, wird auf europäischer Ebene an der Entwicklung so genannter Sustainable Development Indicators (SDIs) gearbeitet. Die dabei diskutierten Indikatoren werden jedoch den spezifischen Anforderungen in den Abbaustätten der Zementindustrie nur bedingt gerecht – es könnte sogar zu Rückschritten bei bisher schon entwickelten abbaubegleitenden Naturschutzkonzepten kommen.

Hier setzte das Projekt „Nachhaltigkeitsindikatoren für ein Integriertes Rohstoff- und Naturschutzmanagement“ an, das von Mitte 2005 bis Ende 2007 im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie mit Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Zementwerk Schelklingen durchgeführt wurde: Um Grundlagen für eine Optimierung des Ausgleichs von Rohstoffgewinnung und Naturschutz zu entwickeln, wurden Indikatoren zur qualitativen und quantitativen Messung der Biodiversität entwickelt und erprobt. Mit den Indikatoren sollen der naturschutzfachliche Wert von Abbaustätten und die Wirkungen von Naturschutzmaßnahmen vor, während und nach dem Abbau messbar und prognostizierbar gemacht werden. So kann auch eine bessere Grundlage für standortbezogene Maßnahmenkataloge zum Schutz der Artenvielfalt – sogenannte Biodiversity Management Plans – gelegt werden. Für die Durchführung des Projektes bot sich der Steinbruch des Zementwerkes Schelklingen an, weil das dort tätige Unternehmen HeidelbergCement AG bereits in früheren Jahren Erhebungen der im Umfeld vorzufindenden Tier- und Pflanzenarten in Auftrag gegeben hatte, so dass das Projekt die Wirkungen des Steinbruchs über einen längeren Zeitraum bewerten konnte.

Die Ergebnisse des Projektes wurden 2008 auf einem Stakeholder-Dialog in Bonn mit Vertretern der EU-Kommission und von Fachbehörden, mit Experten aus der Wissenschaft und von Umweltverbänden sowie mit Vertretern von Industrieverbänden, Gewerkschaften und Unternehmen diskutiert. Alle Beteiligten würdigten die entwickelten Indikatoren als wertvollen Beitrag, um den naturschutzfachlichen Wert von Steinbrüchen in der Praxis des betrieblichen Alltags zu messen und um eine Grundlage für ein umfassendes Monitoring von Steinbrüchen zu legen. Die Projektergebnisse wurden als Beispiel für bewährte Verfahren für das Monitoring und die Anwendung von Indikatoren in den Leitfaden der Europäischen Kommission zur Gewinnung mineralischer nichtenergetischer Rohstoffe unter Berücksichtigung der Anforderungen an Natura-2000-Gebiete aufgenommen (Europäische Kommission 2011, S. 142).

Das Unternehmen HeidelbergCement AG wendet die Indikatoren mittlerweile in acht Abbaustätten – darunter sechs Steinbrüche für Kalkstein zur Zementerzeugung – in Deutschland, Polen, Belgien und Großbritannien an. Biodiversity Management Plans hat das Unternehmen mittlerweile sogar für 140 Abbaustätten weltweit aufgestellt. Dabei wurden auch weitere Erfahrungen mit dem notwendigen Aufwand bei der Verwendung der Indikatoren gemacht und vom Bundesverband Mineralische Rohstoffe für die Entwicklung eines mehrstufigen Systems genutzt, um die Methode auch für kleinere Unternehmen praktikabel zu machen. Demnach liegt die Spannweite zwischen fünf bis sechs Arbeitstagen bei kleinen und über 23,5 Arbeitstagen bei großen Abbaustätten. Dabei muss eine Erhebung etwa alle acht bis zehn Jahre durchgeführt werden, damit sich die Entwicklung der Biodiversität bewerten lässt und Maßnahmen zur Förderung der Artenvielfalt abgeleitet werden können.

Quelle: Tränkle et al. 2008, www.initiative-nachhaltigkeit.de

Nach erfolgreichem Abschluss der ersten beiden Handelsperioden (2005–2008; 2009–2012) hat im Januar 2013 die dritte Phase des EU-Emissionshandels begonnen. Diese markiert einen Systemwechsel, da dann für Industriesektoren erstmals eine kostenfreie Zuteilung von Emissionszertifikaten auf Grundlage anspruchsvoller Produktbenchmarks erfolgt. Für die europä-

ische Zementindustrie wurde – dem Mittelwert der 10 % besten Anlagen in Europa entsprechend – ein Benchmark von 766 kg CO₂ pro Tonne Grauklinker (bzw. 987 kg CO₂ pro Tonne Weißklinker) errechnet. Mehr als zwei Drittel dieser Emissionen sind durch die stoffliche Umwandlung des Rohmaterials bedingt und damit als reine Prozessemissionen nicht minderbar.

Umweltmanagement

Um den hohen Anforderungen an Qualität, Umweltschutz und Arbeitssicherheit gerecht zu werden, sind Abläufe und Aufbauorganisation in den Zementwerken schon seit langem auf der Grundlage von Managementsystemen strukturiert. Durch diese Managementsysteme gelingt es den Unternehmen

nicht nur, den umfangreichen umweltrechtlichen Vorgaben zu genügen. Vielmehr werden über kontinuierliche Verbesserungsprozesse (KVP) laufend Fortschritte in den genannten Handlungsfeldern erzielt. So umfassen moderne Managementsysteme auch die systematische Suche nach Einsparmöglichkeiten bei den Rohstoff- und Energieverbräuchen. Die hohe Bedeutung, die die Zementindustrie speziell dem Thema Energie beimisst, wird nicht zuletzt dadurch verdeutlicht, dass die in Deutschland tätigen Zementhersteller mittlerweile alle Energiemanagementsysteme auf Grundlage der DIN EN 16001 bzw. der DIN EN ISO 50001 eingeführt und zertifiziert haben. Die Systeme auf Grundlage der DIN EN 16001 werden bis zum April 2013 in Systeme gemäß der internationalen Norm ISO 50001 überführt werden.

Emissionen

Bei der Zementherstellung treten luftgetragene Emissionen sowie Lärm und Erschütterungen auf. Gas- und staubförmige Emissionen entstehen vor allem bei der Klinkerherstellung durch den Einsatz von Brennstoffen und die Stoffumwandlung von Rohmehl zu Zementklinker; Staubemissionen gehen zudem von Transporten, Lagerung

sowie Mahl- und Trocknungsprozessen aus. Für die Emissionen an Staub, Spurenelementen, Stickoxiden (NO_x) und Schwefeldioxid (SO_2) sind die gültigen Grenzwerte der Technische Anleitung Luft (TA Luft) und – im Falle des Einsatzes von alternativen Brennstoffen – der 17. Bundesimmissionschutz-Verordnung (17. BImSchV) einzuhalten. Die Grenzwerte werden dynamisch an den Stand der Technik angepasst und damit fortschreitend verschärft. Messungen zeigen, dass die Grenzwerte von der Zementindustrie vielfach deutlich unterschritten werden.

Beim Einsatz von alternativen Brennstoffen (Ersatzbrennstoffen), mit denen im Jahr 2011 mehr als 60 % der benötigten Brennstoffenergie erbracht wurden (siehe unten), muss die Zementindustrie zudem die Vorgaben des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes erfüllen. Dieses Gesetz wurde zuletzt zur Umsetzung der überarbeiteten europäischen Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EU) im Jahr 2012 novelliert. Die hohen Qualitätsanforderungen für die alternativen Brennstoffe stellen sicher, dass deren Einsatz umweltverträglich und schadlos erfolgt. Wesentliche Anforderungen und Grundlagen im Zusammenhang mit einer hochwertigen energetischen

Verwertung sind in einem entsprechenden Leitfaden niedergeschrieben, der zuletzt im Jahr 2005 in zweiter Auflage vom nordrhein-westfälischen Umweltministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz veröffentlicht wurde (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW 2005). Er enthält neben allgemeinen qualitativen Anforderungen für Ersatzbrennstoffe auch eine Auflistung von Materialien, mit denen besonders positive Erfahrungen im Zusammenhang mit einer energetischen Verwertung in Industrieprozessen gemacht wurden.

Luftreinhaltung und Emissionsminderung

Die Luftreinhaltung ist eines der wichtigsten umweltschutztechnischen Maßnahmenfelder in der Zementindustrie. In der Vergangenheit sind auf diesem Feld starke Fortschritte erzielt worden, so dass die Zementwerke in Deutschland im weltweiten Vergleich zu den Anlagen mit den geringsten Emissionen gehören. Die Schwerpunkte liegen auf der Verminderung der Emissionen an Staub, Schwermetallen und Stickstoffoxiden:

- **Staub** hat vor 50 Jahren die Umgebung von Zementwerken geprägt: Noch 1950 gingen im Durchschnitt rund 3,5 % der Produktion als Staub verloren, an den Kaminanlagen der Drehofenanlagen kam es damals zu Staubemissionen von bis zu 3 000 mg/m³ Abluft. Staub entsteht v.a. durch die Verarbeitung der Rohmaterialien sowie beim Brennen und Mahlen des Zementklinkers und wird heute durch Elektro- und Gewebefilter aus den Abluftströmen der einzelnen Anlagenteile gefiltert. Die Staubemissionen sind in den vergangenen Jahrzehnten sehr stark vermindert worden und betragen heute deutlich weniger als 20 mg/m³ Abluft (vgl. Abbildung 9).

- **Spurenelemente** sind natürliche Bestandteile in allen Roh- und Brennstoffen und liegen dementsprechend auch im Zement und in Stäuben vor, die beim Produktionsprozess anfallen. Die Gehalte dieser Elemente in den Einsatzstoffen entsprechen der natürlichen Verteilung in den jeweiligen Lagerstätten. Die Spurenelemente verbleiben

Emissionsvorschriften für die Zementindustrie

Die zulässigen Schadstoffmengen im Abgas eines Zementwerkes werden durch die erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG), die Technische Anleitung Luft (TA Luft), festgelegt. Sie bestimmt die Emissionsgrenzwerte, deren Überschreitung nach dem Stand der Technik vermeidbar ist. Die TA Luft wurde bei einer Änderung 1986 mit einer Klausel versehen, nach der die Grenzwerte dynamisch dem technischen Fortschritt angepasst werden. Seit der letzten Novellierung im Jahr 2002 sieht die TA Luft in Zukunft u.a. die folgenden Emissionsgrenzwerte für Zementwerke vor:

- staubförmige Emissionen: 20 mg/m³ Abgas
- Stickstoffoxide (NO_x): 0,50 g/m³ Abgas
- Schwefeloxide (SO_2): 0,35 g/m³ Abgas
- Benzol: 5 mg/m³ Abgas (anzustreben: 1 mg/m³).

Beim Einsatz von alternativen Brennstoffen unterliegen Zementwerke zusätzlich der 17. Bundesimmissionschutz-Verordnung (17. BImSchV). Demnach gelten für Zementwerke, die Abfälle mitverbrennen, für sämtliche Schwermetalle sowie für Dioxine und Furane die gleichen strengen Emissionsbegrenzungen wie für reine Müllverbrennungsanlagen. Auch in Bezug auf Stickoxid-Emissionsgrenzwerte gehen die Bestimmungen der 17. BImSchV weit über die Anforderungen des europäischen Rechtes hinaus. Die 17. BImSchV wird im Zusammenhang mit der derzeit anstehenden Umsetzung der europäischen Industrie-Emissionsrichtlinie (IED) überarbeitet. Dabei ist für die Zementindustrie speziell für die Komponenten Staub und Stickstoffoxide mit einer weiteren Absenkung von Emissionsgrenzwerten zu rechnen.

beim Klinkerbrennprozess im Klinker, nur leichtflüchtige Elemente verdampfen im Drehofen und werden aus diesem Grunde gezielt abgeschieden und ausgeschleust. Werden beim Klinkerbrennprozess Sekundärstoffe eingesetzt, so wird der Spurenelementgehalt in diesen Stoffen in jedem Einzelfall durch Genehmigungsaufgaben beschränkt und überwacht.

- Stickstoffoxide (NO/NO_x)** entstehen im Drehofen bei den typischen hohen Flammentemperaturen von rund 2000 °C durch Reaktionen von Stickstoff und Sauerstoff aus der Umgebungsluft. Zur Reduzierung von Stickstoffoxiden werden in der Zementindustrie verschiedene Verfahren angewendet. Zu den primären, prozessintegrierten Maßnahmen der NO_x-Minderung gehören die Vergleichmäßigung des Ofenbetriebes, die NO_x-arme Feuerungstechnik sowie eine gestufte Verbrennungsführung durch Aufteilung der Brennstoff- und Verbrennungsluftströme. Sollten primäre Maßnahmen nicht ausreichen, ist der Einsatz sekundärer Minderungsmaßnahmen erforderlich. Hierzu gehört das SNCR-Verfahren, bei dem durch Zugabe eines Reduktionsmittels (zumeist Ammoniakwasser) das NO_x zu unbedenklichem Stickstoff (N₂) sowie Wasser umgesetzt wird und dem Stand der Technik entspricht. Eine stärkere NO_x-Minderung als durch das SNCR-Verfahren verspricht die selektive katalytische Reduktion (SCR-Verfahren), die seit rund 30 Jahren in Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen angewendet wird. Auf Zementwerke ist diese Technologie aufgrund der hohen Staubbelastung im Brennprozess nicht ohne Weiteres übertragbar. Vor diesem Hintergrund finden bis 2013 bzw. 2014 zwei Demonstrationsvorhaben statt, mit denen Erkenntnisse über die Möglichkeiten und Grenzen des SCR-Verfahrens in Zementwerken mit ihren besonderen Abgasbedingungen gewonnen werden sollen.

- Schwefeldioxid (SO₂)** entsteht durch den Eintrag von Schwefelverbindungen mit den Brennstoffen und dem Rohmehl in den Drehofen. Zwar wird der brennstoffbedingte Eintrag praktisch vollständig in den Zementklinker eingebunden, ein

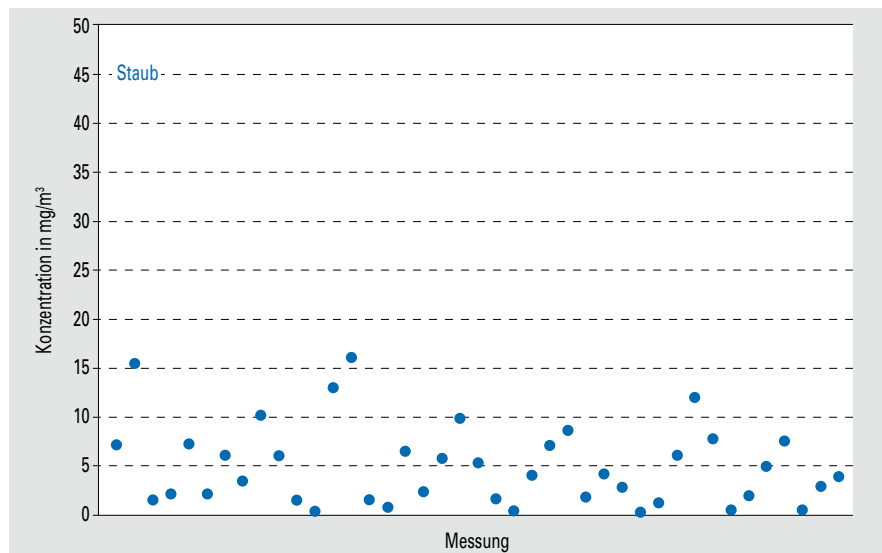


Abb. 9: Mittelwerte der Staubkonzentration im Reingas von 41 Drehofenanlagen im Jahr 2011 (Quelle: VDZ 2012b)

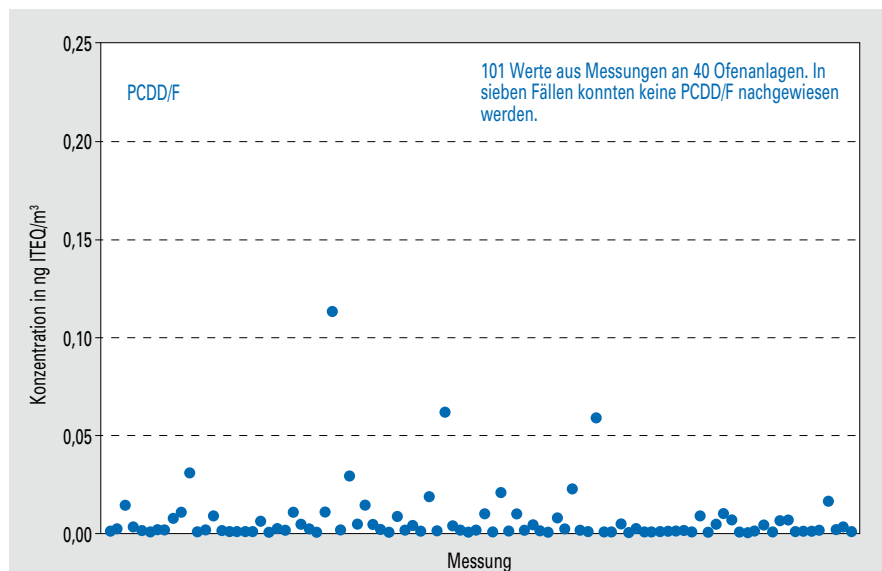


Abb. 10: Messergebnisse für Dioxin- und Furanemissionen (Quelle: VDZ 2012b)

hoher Anteil von leichtflüchtigen Sulfiden im jeweiligen Rohmaterial (z.B. in Form von Pyrit oder Markasit) kann jedoch zu höheren SO₂-Emissionen führen. Falls verfahrenstechnische bzw. betriebliche Maßnahmen nicht ausreichen, können die SO₂-Emissionen mit dem Trockenadditiv-Verfahren (d.h. meist durch Zugabe von Kalkhydrat) gemindert werden.

Viele Emissionen werden heute mit kontinuierlich arbeitenden Messsystemen überwacht, die Abgaswerte häufig online an die zuständigen Umweltbehörden übermittelt. Gleichwohl wird der Zementproduktion im Hinblick auf mögliche Schadstoffbelastungen

häufig Skepsis entgegengebracht. Immissionsmessungen in der Umgebung von Zementwerken zeigen jedoch, dass die Luftqualität in ländlichen Räumen mit Zementproduktion heute genauso gut ist wie in rein ländlichen Gebieten ohne industrielle Tätigkeit.

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von alternativen Brennstoffen wird zudem über Emissionen von Dioxinen und Furanen diskutiert. Entgegen manchen Befürchtungen belegen die vorliegenden Messergebnisse, dass diese Emissionen sehr gering sind, und zwar unabhängig von der Wahl des eingesetzten Brennstoffes. Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse aus 101 Messungen an 40 Ofenanlagen

durch das Forschungsinstitut der Zementindustrie. Nur eine Emissionskonzentration lag über dem Wert der 17. BImSchV von $0,1 \text{ ng ITEQ/m}^3$ (ITEQ: Internationales Toxizitätsäquivalent). Die Dioxin- und Furanemissionen sind deshalb sehr gering, weil die organischen Verbindungen in den Brennstoffen bei sehr hohen Temperaturen vollständig zerstört werden. Darüber hinaus bilden sich im Abgas der Drehofenanlagen – anders als bei Müllverbrennungsanlagen – so gut wie keine Dioxine und Furane. Drehofenanlagen der Zementindustrie müssen daher nicht wie Müllverbrennungsanlagen mit einem speziellen Dioxinfilter ausgestattet werden.

Energieintensität und Energieeffizienz

Die Herstellung von Zement ist ausgesprochen energieintensiv. Energie kommt erstens in Form von Brennstoffen zur Befuerung der Drehöfen für die Herstellung des Zementklinkers zum Einsatz. Zweitens wird elektrische Energie zum Betrieb verschiedener Aggregate – insbesondere der Rohmaterial- und Zementmahlanlagen – eingesetzt. Heute macht der spezifische elektrische Energieverbrauch bei Zementwerken etwas mehr als 10 % des Gesamtenergieverbrauchs aus, wobei sich die Energiekosten etwa je zur Hälfte auf Brennstoffe und Strom aufteilen.

Insgesamt hat die deutsche Zementindustrie im Jahr 2011 Brennstoffenergie in einem Umfang von 94,4 Mio. GJ verwendet, der spezifische Brenn-

stoffenergieverbrauch lag bezogen auf 1 kg Zement bei 2759 kJ (VDZ 2012b). Schon in den 1950er und 1960er Jahren konnte die Energieeffizienz der Drehofenanlagen in den deutschen Zementwerken deutlich verbessert werden. Später hat dann der Neubau und die Modernisierung der ostdeutschen Werke nach der deutschen Wiedervereinigung in den 1990er Jahren zu einem weiteren Rückgang des spezifischen Energieverbrauchs geführt. Zudem wurden in diesen Jahren mehrere Ofenlinien in den alten Bundesländern durch drei Neuanlagen ersetzt und bestehende Anlagen weiter optimiert. Insgesamt hat dies dazu geführt, dass der spezifische Brennstoffenergieverbrauch zur Zementherstellung mittlerweile nahe am verfahrenstechnischen Optimum liegt. Ausschlaggebend ist dabei insbesondere, dass der energetische Wirkungsgrad für die Herstellung des Zwischenprodukts Klinker heute bei über 70 % liegt. Abbildung 11 gibt den spezifischen Energiebedarf für die Zementherstellung ab 1995 als Mittelwert aller deutschen Zementwerke wieder.

Brennstoffenergie stammt für die Zementherstellung seit den 1990er Jahren zunehmend aus alternativen Brennstoffen. Dabei wird in erster Linie Kohle als Regelbrennstoff durch unterschiedliche alternative Brennstoffe ersetzt, die in ihrer Zusammensetzung genau auf die Anforderungen des Klinkerbrennprozesses abgestimmt werden. Diese enthalten zudem in unterschiedlicher Weise biogene Bestandteile, so dass die Zement-

industrie durch diesen Einsatz ihre CO_2 -Emissionen je Tonne hergestellten Zements weiter senken konnte.

Der hohe Bedarf an elektrischer Energie ist auf die Rohmaterialaufbereitung (ca. 35 % des Gesamtbedarfs), das Brennen und Kühlen des Klinkers (ca. 22 %) und die Zementmahlung (ca. 38 %) zurückzuführen. Während der spezifische Brennstoffeinsatz über mehrere Jahrzehnte nahezu kontinuierlich reduziert wurde, ist der spezifische Stromverbrauch noch bis Mitte der 1980er Jahre angestiegen. Der Höchstwert wurde in Deutschland im Jahr 1987 mit 111,2 kWh für die Herstellung einer Tonne Zement erreicht; dies entsprach einem absoluten Stromverbrauch von 3,8 Mio. MWh. Nach einem deutlichen Rückgang auf ein Niveau von rund 99 kWh im Jahr 2008 ist der spezifische Stromverbrauch zuletzt wieder angestiegen: Im Jahr 2011 wurden durchschnittlich 109,4 kWh/t Zement benötigt; dies entsprach einem absoluten Verbrauch von 3,74 Mio. MWh/a (VDZ 2012b).

Abbildung 12 zeigt die Entwicklung des spezifischen elektrischen Energieverbrauchs bei der Herstellung einer Tonne Zement. Der deutliche Anstieg in den 1970er und 1980er Jahren hatte seine Ursachen vor allem in der höheren Produktqualität, die durch eine feinere Aufmahlung des Zementes erreicht wird, in gestiegenen Anforderungen an die Luftreinhaltung, die durch den Einsatz von Filteranlagen zur Säuberung der Ofenabgase erfüllt werden, sowie in der zunehmenden Automatisierung der Produktionsprozesse. Verschiedene Maßnahmen haben dann zu einer Senkung des spezifischen Stromverbrauchs geführt – zu nennen ist hier vor allem die Entwicklung und der Einsatz effizienterer Mahlsysteme (siehe unten), aber auch der Ersatz von Elektrofiltern durch Gewebefilter in der Abgasreinigung.

Der Anstieg des Strombedarfs in den Jahren nach 2008 hat verschiedene Ursachen. Hierzu gehören der steigende Bedarf der Baustoffindustrie an leistungsstarken und damit u.a. feiner aufgemahlten leistungsstarken Zementen sowie die zunehmende Erzeugung von Zementen mit weiteren Hauptbestandteilen neben Klinker wie Hüttensand oder Kalkstein. Die Herstellung solcher (CEM II/III-)Zemente führt einerseits zu geringeren spezifischen Kohlendioxid-Emissionen

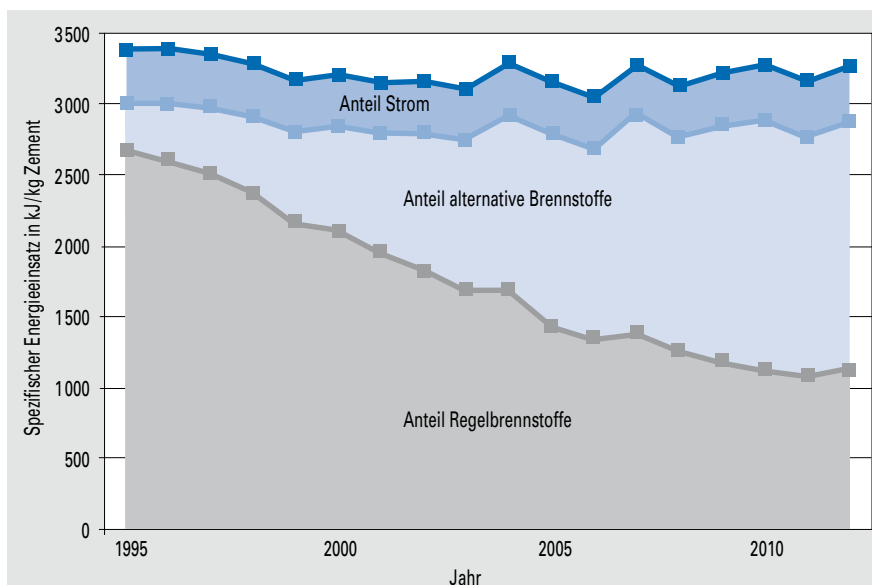


Abb. 11: Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs für die Zementherstellung in den deutschen Zementwerken (Quelle: VDZ 2012b)

in der Zementerzeugung und leistet damit einen Beitrag zum Klimaschutz (siehe unten), andererseits verursacht der Einsatz von z.B. Hüttensand als Zementhauptbestandteil einen höheren Mahlbedarf zur Erreichung der geforderten Produktqualitäten.

Letzteres fällt umso schwerer ins Gewicht, als sich energieeffiziente Mühlen-typen, wie die Gutbett-Walzenmühle, in der Zementindustrie zwar weitgehend durchgesetzt haben, das damit einhergehende Potenzial der Energieeinsparung jedoch nicht in vollem Umfang genutzt werden kann. Hintergrund ist, dass u.a. die Mahlfeinheiten und Kornbandverteilungen aus diesen Mühlen nicht den Gebrauchseigenschaften von Zementen aus herkömmlichen Kugelmühlen entsprechen. Deshalb ist beim Einsatz von Gutbett-Walzenmühlen in der Zementmahlung in der Regel eine Nachmahlung in Kugelmühlen erforderlich. Der elektrische Energiebedarf in der Zementindustrie wird darüber hinaus zunehmend durch schärfere Anforderungen an die Abgasreinigung, insbesondere im Hinblick auf die Minderung von Stickstoffoxidemissionen, beeinflusst. So verlangsamt z.B. der Einsatz von Entstickungsanlagen oder zusätzlicher Filtertechnik den Abgasstrom, so dass zur Erhaltung derselben Strömungsgeschwindigkeiten eine höhere Antriebsleistung und damit ein gesteigerter spezifischer Stromverbrauch erforderlich wird.

Maßnahmen zum Klimaschutz

Der Klimaschutz ist in den vergangenen Jahren zu einem der wichtigsten Handlungsfelder der nachhaltigen Entwicklung geworden. Mit dem integrierten Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung sollen die Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2020 um 40 % gemindert werden. Eine frühere Zielsetzung im Rahmen der Umsetzung des Kyoto-Protokolls sah die Senkung der sechs wichtigsten Treibhausgase (CO_2 , CH_4 , N_2O , H-FKW, FKW, SF₆) zwischen 1990 und 2008/2012 um insgesamt 21 % vor.

Nachdem sich die deutsche Zementindustrie bereits 1995 freiwillig verpflichtet hatte, den spezifischen Brennstoffenergieverbrauch erheblich zu verringern, hat sie als Beitrag zur erweiterten Klimaschutzvereinbarung zwischen Bundesregierung und Wirtschaft vom November 2000 zugesagt,

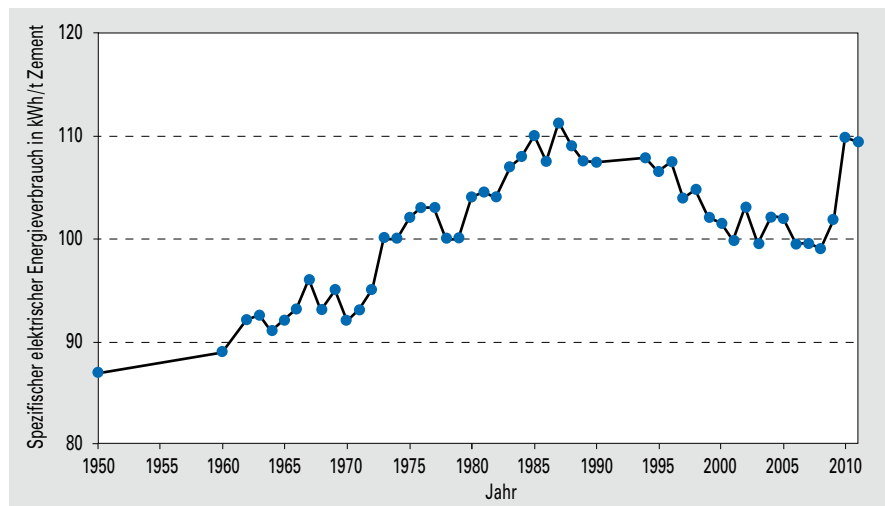


Abb. 12: Entwicklung des spezifischen elektrischen Energieverbrauchs in der Zementproduktion, ab 1987 inklusive ostdeutscher Werke (Quelle: VDZ 2012a)

ihre spezifischen energiebedingten CO_2 -Emissionen zwischen 1990 und 2008/2012 um insgesamt 28 % zu vermindern. Hierin sind jetzt auch die Emissionen enthalten, die aus der Bereitstellung elektrischer Energie für die Zementherstellung bei der Stromerzeugung entstehen. Diese Zusage entspricht einer Minderung der gesamten CO_2 -Emissionen um 16 %, wenn die prozessbedingten CO_2 -Emissionen aus der Entsäuerung des Kalksteins mit berücksichtigt werden.

Die Umsetzung der Selbstverpflichtung zur CO_2 -Minderung wird bislang in einem jährlichen Monitoring-Bericht dokumentiert, der vom Verein Deutscher Zementwerke auf der Basis von Unternehmensbefragungen erstellt und vom Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) überprüft wird. Der VDZ hat mit seinem Monitoring bisher stets einen besonders hohen Deckungsgrad erreicht: Im Jahr 2009 wurden 99 % der gesamten Branche bezogen auf die Produktion erfasst. Der Bericht für 2010 weist einen CO_2 -Ausstoß von insgesamt 17,6 Mio. t aus (RWI 2011). Die CO_2 -Emissionen, die aus der energetischen Verwertung von alternativen Brennstoffen resultieren, wurden nicht in die Berechnung einbezogen (siehe unten). Bei der Produktion von 1 t Zement wurden demnach insgesamt 0,58 t Kohlendioxid freigesetzt. 69 % dieser CO_2 -Emissionen waren dabei prozessbedingt. Prozessbedingte CO_2 -Emissionen entstehen, wenn das Calciumcarbonat (CaCO_3) des Kalksteins in die Bestandteile Calciumoxid (CaO) und Kohlendioxid (CO_2)

zerlegt wird. Man spricht hierbei auch von Entsäuerung bzw. Calcinierung. Zudem wurden im Jahr 2010 durch den Brennstoffenergieeinsatz 18 % und durch den Stromverbrauch 13 % der CO_2 -Emissionen verursacht. Andere klimarelevante Gase (z.B. Methan) sind bei der Zementherstellung ohne Bedeutung. Der Anteil der CO_2 -Emissionen aus der Zementherstellung (prozess- und energiebedingt) entsprach 2,1 % der gesamten CO_2 -Emissionen in Deutschland und ist damit seit dem Jahr 2000 (Anteil 2,8 %) um etwa ein Viertel gesunken.

Die Klimaschutzvereinbarung, die von der deutschen Zementindustrie und weiteren Industriebranchen erfolgreich umgesetzt wurde, ist zum Ende des Jahres 2012 ausgelaufen. Als Anschlussregelung hat das Produzierende Gewerbe der deutschen Wirtschaft im August 2012 eine Vereinbarung mit der Bundesregierung zur Steigerung der Energieeffizienz geschlossen, die eine wichtige Maßnahme zur Senkung der CO_2 -Emissionen darstellt (siehe unten). Die Unternehmen aus Industrie und Energiewirtschaft verpflichten sich darin, im Zusammenhang mit der Gewährung des sogenannten Spitzenausgleichs bei der Energie- und Stromsteuer, ihren spezifischen Energieverbrauch ab 2013 um jährlich 1,3 % bzw. ab 2016 um mindestens 1,35 % im Vergleich zur Basisperiode 2007–2012 zu mindern.

Die Fortschritte bei der Minderung der CO_2 -Emissionen in der Zementindustrie beruhen auf folgenden Maßnahmen:

1. Steigerung der Energieeffizienz bei der Verwendung von thermischer und elektrischer Energie,
2. Substitution des gebrannten Zwischenproduktes Zementklinker durch andere Stoffe,
3. Substitution fossiler Brennstoffe durch energetische Verwertung von alternativen Brennstoffen.

Effizienzsteigerungen beim thermischen Energieverbrauch basieren auf verschiedenen verfahrenstechnischen Innovationen:

- Die Entwicklung der Ofentechnik hat zur Umstellung auf Öfen geführt, die im Trockenverfahren arbeiten und mit Zyklonvorwärmern ausgestattet sind. Mittlerweile werden in Deutschland mehr als 90 % des Zementklinkers in solchen Anlagen hergestellt.
- Mit Zyklonvorwärmern wird die Abluft des Drehofens zur Aufwärmung und Teilcalcinierung des Rohmehls genutzt. Die Effizienz konventioneller vierstufiger Vorwärmer kann durch den Zubau von einer oder zwei weiteren Stufen erhöht werden. Allerdings muss das Abgas des Zyklonvorwärmers noch ausreichend heiß sein, um das Rohmaterial zu trocknen – die Ausbaumöglichkeiten sind deshalb je nach werksspezifischem Feuchtegehalt des Rohmaterials begrenzt.
- Durch moderne Voralcaliniertechnik können neue Drehofenanlagen heute von den Ausmaßen her kürzer ausgelegt werden als dies früher üblich war. Hierdurch verringern sich die Abstrahlverluste des Ofens. Außerdem ermöglicht ein Voralcalinator eine Vergleichmäßigung des Ofenbetriebs.
- Die Optimierung der Klinkerkühler dient zur besseren Ausnutzung der Abwärme des heißen Klinkers, mit der die im Drehofen und im Calcinator genutzte Verbrennungsluft vorgewärmt wird. Gegenwärtig können mit modernster Technik Kühlerwirkungsgrade von bis zu 75 % erreicht werden.

Weitere Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung liegen z.B. in einer Verminderung von Falschlufzufuhr in den Ofen, in der Weiterentwicklung der

Brennertechnik und in der Optimierung des Einsatzes von alternativen Brennstoffen. Aufgrund der bereits umgesetzten Maßnahmen sind die verbleibenden verfahrenstechnischen Minderungspotenziale aber eher gering. Relativ klein sind auch die Möglichkeiten einer weiteren CO₂-Minderung in den kommenden Jahren durch den Neubau von Ofenanlagen: In Deutschland werden nur noch einige wenige Drehöfen betrieben, die aus den späten 1960er und frühen 1970er Jahren stammen und aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Größe einen höheren spezifischen Energieverbrauch als größere Anlagen haben.

Als weitere Maßnahme kommt eine Nutzung der Abwärme in Betracht, soweit sie nicht zur energetischen Optimierung der Zementproduktion verwendet wird. So ist die Erzeugung von Fernwärme möglich, die an Wohngebiete weitergegeben werden könnte. Eine Kopplung der Wärmeproduktion an die Zementherstellung ist allerdings problematisch, weil im Winter – wenn die Fernwärme in besonderem Maße benötigt wird – der Zementabsatz ge-

ring ist und die meisten Drehöfen für mehrere Wochen stillgesetzt werden, um erforderliche Wartungs- und Reparaturarbeiten durchzuführen. Eine Möglichkeit zur Abwärmenutzung, die künftig an Bedeutung gewinnen könnte, stellt auch die Eigenerzeugung von Strom dar. Im Zementwerk Rohrdorf der Südbayerischen Portland-Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co. GmbH wurde 2012 das erste deutsche Kraftwerk in Betrieb genommen, das die heißen Rauchgase des Drehofens zur Stromerzeugung nutzt. Mit der neuen Anlage kann hier rund ein Drittel des Strombedarfs des Zementwerkes gedeckt werden. Im Werk Lengfurt der HeidelbergCement AG wird seit 1999 mit Hilfe der Abluft des Klinkerkühlers Strom erzeugt: Hier wurde weltweit erstmals in einem Zementwerk das so genannte ORC-Verfahren installiert, mit dem sich auch Abwärme auf einem Temperaturniveau von unter 275 °C nutzen lässt. Im Zementwerk Lengfurt werden so 12 % des eigenen Strombedarfs gedeckt. Beide Anlagen wurden vom Bundesumweltministerium finanziell gefördert.

Kraftwerk zur Stromerzeugung durch Abwärmenutzung im Zementwerk Rohrdorf

Nach einer Planungs- und Bauzeit von etwa zwei Jahren wurde im Juni 2012 im Zementwerk Rohrdorf der Südbayerischen Portland-Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co. GmbH das europaweit erste Abhitze-Kraftwerk in Betrieb genommen, mit dem bisher ungenutzte Abgaswärme des Drehrohrofens und des Klinkerkühlers sowie der Restwärme der Entstickungsanlage über eine Wärmerückgewinnung zur Stromerzeugung genutzt wird.

Vor dem Bau wurden zunächst alle möglichen Wärmequellen in der Produktionsstätte analysiert und bewertet. Für die Abwärmenutzung im Werk Rohrdorf fiel die Wahl auf dieser Basis auf ein System mit einem Wasser/Dampf-Kreislauf. Der Abhitze-Kessel wird vom Rauchgas horizontal durchströmt, die senkrecht angeordneten Wärmetauschrohre werden durch ein Klopfwerk vom Staub gereinigt. Mit diesem Verfahren wird mit der Wärmeenergie der Abgase Heißdampf erzeugt, der dann eine Turbine und den dort angekoppelten Generator antreibt.

Mit einer Leistung von mehr als 6 MW produziert das Abhitze-Kraftwerk so viel Strom, wie von rund 10 000 Haushalten oder von ungefähr 35 000 Einzelpersonen verbraucht wird. Damit wird etwa ein Drittel des Strombedarfes des gesamten Werkes gedeckt. Der verringerte Strombezug aus dem öffentlichen Netz und die damit verbundene Einsparung an fossilen Brennstoffen werden zu einer Senkung der CO₂-Emissionen um rund 30 000 t jährlich führen.

Die Investitionssumme für das Abhitze-Kraftwerk betrug 31 Mio. €. Der Bau wurde durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit des Bundes im Rahmen der Klimaschutzinitiative gefördert.

Quelle: Angaben des Unternehmens

Die Maßnahmen zur Minderung des elektrischen Energieverbrauchs zielen vor allem auf effizientere Systeme bei der Mahlung von Rohstoffen und Zementen. Allerdings stehen Stromverbrauch und Zementqualität in einem engen Zusammenhang. Energieeffiziente Gutbett-Walzenmühlen führen zu einer steileren Korngrößenverteilung im Zement, so dass sich dessen Gebrauchseigenschaften verändern. Moderne Gutbett-Walzenmühlen werden deshalb in vielen Werken zur Vorzerkleinerung des Mahlgutes in Kombination mit konventionellen Kugelmühlen verwendet (Kombi-Mahlung). Hierdurch lassen sich Energieeinsparungen von 7 bis 15 % gegenüber einer kompletten Aufmahlung in einer Kugelmühle erzielen.

Das zweite Handlungsfeld zur CO₂-Minderung ist die Substitution des gebrannten Zwischenproduktes Zementklinker durch andere Stoffe. Hierbei geht es darum, die Produktion von Portlandzement, der als Hauptbestandteil mindestens 95 % Zementklinker enthält, zunehmend auf Portland-Komposit- und Hochofenzemente umzustellen, die außer Zementklinker weitere Hauptbestandteile enthalten. Von Bedeutung ist hier in erster Linie Hüttensand. Daneben wird v.a. ungebrannter Kalkstein verwendet. Durch eine Ausweitung des Marktanteils dieser Zemente lassen sich die CO₂-Emissionen erheblich verringern – nach dem gegenwärtigen Stand der Technik handelt es sich hierbei um das Handlungsfeld mit dem größten CO₂-Minderungspotenzial. Der Minderungseffekt beruht darauf, dass bezogen auf eine Tonne Zement weniger CO₂ im Zuge der Rohmaterial-Entsäuerung entsteht und so der thermische Energiebedarf für das Brennen von Zementklinker reduziert wird.

Der Marktanteil von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen lag im

Jahr 2011 bei 68,4 % des Inlandsversandes und ist damit seit dem Jahr 2000 (38,2 %) stark gestiegen (vgl. Tabelle 5). Dabei konnten insbesondere die Marktanteile von Portlandhütten- und Portlandkalksteinzement sowie von Hochofenzement erheblich gesteigert werden. Wichtigster Zuschlagstoff für die Herstellung von Kompositzementen ist Hüttensand, er entsteht als Nebenprodukt bei der Roheisenerzeugung. Im Jahr 2011 fielen in der deutschen Stahlindustrie 7,7 Mio. t Hochofenschlacke an; davon wurden rund 6,5 Mio. t zu Hüttensand granuliert, der zu 90 % zur Zementherstellung verwendet wurde (FEhS 2012). Damit wurden 5,8 Mio. t bzw. 76 % der gesamten Hochofenschlacke in Deutschland zu Zement verarbeitet. Dies waren 1,2 Mio. t mehr als im Jahr 2001, was neben einer Schonung primärer Rohstoffe für die Zementklinkerproduktion (siehe Kapitel 3.1) einer Verminderung der energiebedingten CO₂-Emissionen um 0,21 Mio. t/a und der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen um 0,63 Mio. t/a bedeutet.

Die Anwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen in der Baupraxis hängt nicht nur von dem geringeren CO₂-Ausstoß in der Produktion, sondern insbesondere von ihrem Leistungsvermögen ab. So werden Hochofenzemente aufgrund der geringeren Wärmeentwicklung schon lange insbesondere beim Bau von massiven Bauteilen eingesetzt, verringert sich doch so die Gefahr der Rissbildung. Damit verbunden ist jedoch eine langsamere Festigkeitsentwicklung, die im Allgemeinen für den Bauablauf nachteilig ist. Um die von der Baupraxis geforderten Eigenschaften zu erreichen, werden moderne Portland-Komposit- oder Hochofenzemente durch gezielt aufbereitete Halbprodukte, feine Aufmahlung und/oder ausgewählte Ausgangsstoffe hergestellt. Vor dem Hintergrund der spezifischen Eigen-

schaften wurden in den vergangenen Jahren spezielle Initiativen zur Vermarktung von Kompositzementen durch die Unternehmen der Zementindustrie durchgeführt. Zur Herstellung von Kompositzementen wurden außerdem erhebliche Investitionen, beispielsweise in die Errichtung von Granulationsanlagen für Hochofenschlacke, getätigt.

Das dritte wichtige Handlungsfeld zur CO₂-Minderung in der Zementindustrie ist die Wahl der Brennstoffe, mit denen der thermische Energiebedarf gedeckt wird. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Entwicklung der verschiedenen Brennstoffe. Daraus geht hervor, dass der Anteil der Stein- und Braunkohle am gesamten thermischen Energiebedarf von rund 87 % in 1987 auf rund 62 % in 2000 und weiter auf rund 36 % in 2011 deutlich zurückgegangen ist. Analog zu dieser Entwicklung ist der Anteil von alternativen Brennstoffen stark angestiegen. Er hat sich von 1987 bis 2000 bereits versechsfacht und von 2000 bis 2011 noch einmal annähernd verdoppelt. In 2011 betrug der Anteil rund 61 %. Beim Einsatz alternativer Brennstoffe ist die deutsche Zementindustrie damit weltweit führend.

Die Erhöhung des Anteils alternativer Brennstoffe gilt in der Branche als einer der wichtigsten Hebel zur Minderung von CO₂-Emissionen. Hintergrund ist, dass bei der Zementherstellung ausschließlich die energiebedingten, nicht aber die prozess- bzw. rohstoffbedingten CO₂-Emissionen durch Maßnahmen beeinflussbar sind. Die verstärkte Verwendung von Ersatzbrennstoffen – dazu gehören Altreifen, Altöle, Fraktionen aus Gewerbe- und Siedlungsabfällen sowie Altholz, Bleicherden und Lösungsmittel – haben somit auch maßgeblich zur erfolgreichen Umsetzung der Selbstverpflichtung zum Klimaschutz beigetragen.

Tab. 5: Marktanteile von Zementarten am Inlandsversand in Mio. t (Quelle: VDZ)

Zementart	1993		1997	2001	2003	2005	2007	2009	2011	
	absolut	Marktanteil							absolut	Marktanteil
Portlandzement	23 414	76,6 %	21 623	16 279	14 173	13 226	8 932	8 031	8 286	31,6 %
Portlandhüttenzement	979	3,2 %	1 023	4 533	3 719	3 701	5 229	3 051	3 812	14,5 %
Hochofenzement	3 956	12,9 %	3 916	3 965	2 772	3 621	4 883	4 212	5 664	21,6 %
Portlandkalksteinzement	1 055	3,4 %	1 957	2 951	3 614	3 878	3 837	5 584	5 573	21,3 %
Sonstige Zementarten	1 178	3,9 %	187	306	379	669	2 519	2 710	2 883	11,0 %
Inlandsversand gesamt	30 582	100,0 %	28 706	28 034	24 657	25 095	25 400	23 588	26 218	100,0 %

Tab. 6: Brennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie in Mio. GJ pro Jahr (Quelle: VDZ 1998, VDZ Umweltdaten 2003–2011)

Brennstoff	1987		1994	2000		2002	2004	2006	2008	2010	2011	
	absolut	Anteil		absolut	Anteil						absolut	Anteil
Steinkohle	48,2	38,8 %	49,9	31,4	31,6 %	19,3	15,5	11,4	13,9	9,0	10,0	10,6 %
Braunkohle	56	32,9 %	32,5	30,1	30,3 %	24,5	31,6	27,7	23,1	20,7	23,7	25,1 %
Petrolkoks	0,8	10,1 %	1,9	8,4	8,5 %	7,4	3,8	4,4	4,9	3,3	2,1	2,2 %
Heizöl S	4,5	2,5 %	5,8	1,9	1,9 %	3,4	2,6	1,9	0,9	0,6	0,4	0,5 %
Heizöl EL	0,2	0,3 %	0,2	0,3	0,3 %	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2 %
Erdgas und andere Gase	2,4	1,3 %	0,3	0,7	0,7 %	0,3	0,5	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2 %
Sonstige fossile Brennstoffe	2,9	0,6 %	1,9	1,0	1,0 %	0,6	0,7	0,3	0,4	0,4	0,1	0,1 %
Fossile Brennstoffe insgesamt	115	86,6 %	92,5	73,8	74,3 %	55,9	54,9	46,2	43,7	34,4	36,7	38,9 %
Sekundärbrennstoffe insgesamt	4,9	13,4 %	10,4	25,5	25,7 %	29,9	40,0	46,3	52,1	53,7	57,7	61,1 %
Thermischer Energieeinsatz insgesamt	119,9	100,0 %	102,9	99,3	100,0 %	85,8	94,9	92,1	95,8	88,1	94,4	100,0 %

30

Für die energetische Nutzung von alternativen Brennstoffen bietet der Einsatz in der Zementerzeugung im Vergleich zu anderen Verwertungsverfahren zwei besondere Vorteile: Erstens werden diese Materialien in Zementwerken prozessintegriert in den Drehrohröfen getrocknet, wodurch der zusätzliche Einsatz in gegebenenfalls vorzuschaltenden Trocknungseinrichtungen entfällt. Die Energieeffizienz dieser integrierten Trocknung mit der simultanen energetischen Verwertung liegt so bei weit über 80 %. Zweitens besteht eine spezifische Besonderheit der Verwertung alternativer Stoffe beim Klinkerbrennen darin, dass sowohl der Energieinhalt als auch die stofflichen Komponenten der Einsatzmaterialien praktisch vollständig im Herstellungsprozess genutzt werden können (Abbildung 13). Bei sämtlichen anderen, überwiegend energetischen Verwertungsmaßnahmen, fallen im größeren Umfang Aschen oder Schlacken an,

die im Anschluss weiter verwertet werden müssen. Auch im Hinblick auf die Nutzung der stofflichen Eigenschaften erreicht die Zementindustrie sehr hohe Wirkungsgrade von rund 99 % bezogen auf die insgesamt eingesetzten Mengen (VDZ 2012a, S. 38f.).

In der Summe der verschiedenen, hier beschriebenen Handlungsfelder und Maßnahmen wurden die spezifischen energiebedingten CO₂-Emissionen von 0,352 t je Tonne Zement in 1990 auf 0,173 t je Tonne Zement im Jahr 2011, d.h. um 51 % gesenkt (vgl. Tabelle 7). Dies bedeutet, dass der Zielerreichungsgrad hinsichtlich der Selbstverpflichtung bei 182 % lag. Die absoluten energiebedingten CO₂-Emissionen, die auch in starkem Maße von der (schwankenden) Produktion abhängen, sind von 12,1 Mio. t in 1990 auf 9,2 Mio. t im Jahr 2000 und 5,4 Mio. t in 2010 zurückgegangen, was insgesamt einer Minderung

um 55,2 % entspricht (RWI 2011). Der Großteil dieser Fortschritte ist auf den Einsatz von Hüttensand und alternativen Brennstoffen zurückzuführen – daraus folgt zugleich, dass die Zielvorgabe aus der Selbstverpflichtung nur dann nachhaltig erreicht werden kann, wenn die Verfügbarkeit dieser Stoffe einschließlich der entsprechenden wirtschaftlichen, politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen auch künftig gewährleistet ist.

Mit der Senkung ihrer energiebedingten CO₂-Emissionen übertrifft die Zementindustrie die bisher insgesamt in Deutschland erreichten Fortschritte bei der CO₂-Minderung, die zwischen 1990 und 2010 bei rund 21 % lag. Betrachtet man die verschiedenen Sektoren, wurden die größten Beiträge in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (-43 %) sowie bei den energiebedingten Emissionen des Verarbeitenden Gewerbes (-35 %) erreicht; der Rückgang bei den Industrieprozessen betrug 11 %. Demgegenüber sind die Emissionen aus dem Verkehrsbereich nur leicht um 6 % gesunken und stellen damit die größte Herausforderung für den Klimaschutz in Deutschland dar (Abbildung 14). Große und vor allem wirtschaftlich erschließbare Minderungspotenziale werden trotz der in den letzten Jahren erzielten Verbesserungen außerdem bei den Privathaushalten gesehen. Dies betrifft in erster Linie den Bereich der Gebäudeenergieeffizienz.

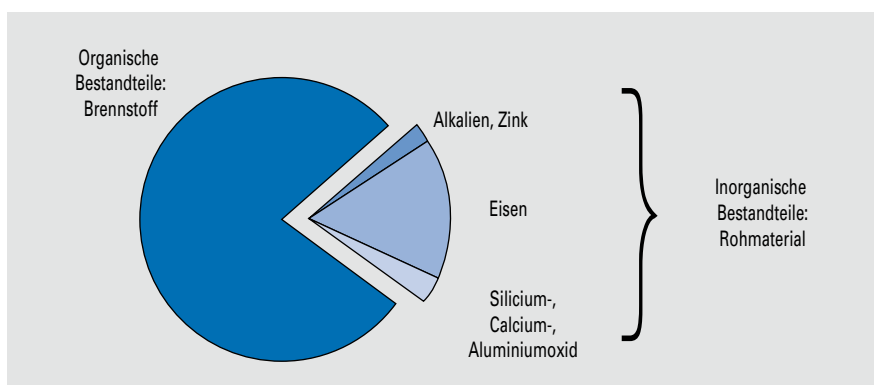


Abb. 13: Bestandteile eines Altreifens für die Verwendung als Brennstoff und Rohmaterial im Klinkerbrennprozess

Neben ihren Verpflichtungen im Rahmen der Klimavorsorgevereinbarung

Tab. 7: Beiträge zur CO₂-Minderung in der deutschen Zementindustrie (Quelle: VDZ 1998, VDZ 1999b, VDZ 2010, RWI 2011)

	1987	1990	1995	2000	2002	2004	2006	2008	2010	1987–2010	1990–2010
Brennstoffenergieverbrauch absolut in Mio. GJ/a	119,9	109,5	102,8	99,3	85,8	94,9	92,1	95,8	88,1	-26,5 %	-19,5 %
Brennstoffenergieverbrauch spezifisch in kJ/kg Zement	3510	3200	3000	2835	2790	2920	2674	2764	2874	-18,1 %	-10,1 %
Elektrischer Energieverbrauch absolut in Mio. MWh/a	3,8	3,67	3,64	3,55	3,17	3,32	3,42	3,43	3,37	-11,3 %	-8,2 %
Elektrischer Energieverbrauch spezifisch in kWh/t Zement	111	107	107	102	103	102	99	99	110	-1,3 %	2,2 %
Brennstoffbedingte CO ₂ -Emissionen absolut in Mio. t CO ₂ /a*	10,8	9,6	8,7	6,83	5,16	5,06	4,25	4,05	3,19	-70,5 %	-66,8 %
Brennstoffbedingte CO ₂ -Emissionen spezifisch in t CO ₂ /t Zement*	0,317	0,280	0,254	0,195	0,168	0,155	0,123	0,117	0,104	-67,2 %	-62,9 %
Strombedingte CO ₂ -Emissionen absolut in Mio. t CO ₂ /a	2,55	2,46	2,44	2,38	2,12	2,22	2,29	2,3	2,25	-11,8 %	-8,5 %
Strombedingte CO ₂ -Emissionen spezifisch in t CO ₂ /t Zement	0,075	0,072	0,071	0,068	0,069	0,068	0,067	0,066	0,074	-1,3 %	2,8 %
Gesamte energiebedingte CO ₂ -Emissionen absolut in Mio. t CO ₂ /a	13,03	12,06	10,93	9,21	7,28	7,28	6,55	6,34	5,4	-58,6 %	-55,2 %
Gesamte energiebedingte CO ₂ -Emissionen spezifisch in t CO ₂ /t Zement	0,392	0,352	0,325	0,263	0,237	0,224	0,190	0,183	0,178	-54,6 %	-49,4 %

* ohne alternative Brennstoffe

gehört die Zementindustrie mit ihren Anlagen zur Erzeugung von Zementklinker zu den Industriebranchen, die seit 2005 am Treibhausgasemissionshandel der Europäischen Union teilnehmen. Das EU-Emissionshandelssystem (EU-EHS) ist ein zentraler Bestandteil der europäischen Klimaschutzpolitik und verfolgt das Ziel, die CO₂-Emissionen der europäischen Industrie und Energiewirtschaft wirksam zu begrenzen. Grundprinzip ist die Vergabe oder Versteigerung einer begrenzten Zahl von Emissionszertifikaten an die Betreiber relevanter Anlagen. Stößt eine Anlage mehr Treibhausgase aus, als ihr zugeteilt oder von ihr erworben wurden, muss das Unternehmen weitere Rechte hinzukaufen. Wer dagegen überschüssige Rechte besitzt, kann diese an andere Unternehmen verkaufen. Hierdurch entsteht ein Anreiz zum ökonomischen Umgang mit Treibhausgasen: Emissionen haben einen Preis, dementsprechend werden durch die Senkung von Emissionen Kosten eingespart bzw. Einnahmen aus dem Verkauf der Emissionsrechte ermöglicht.

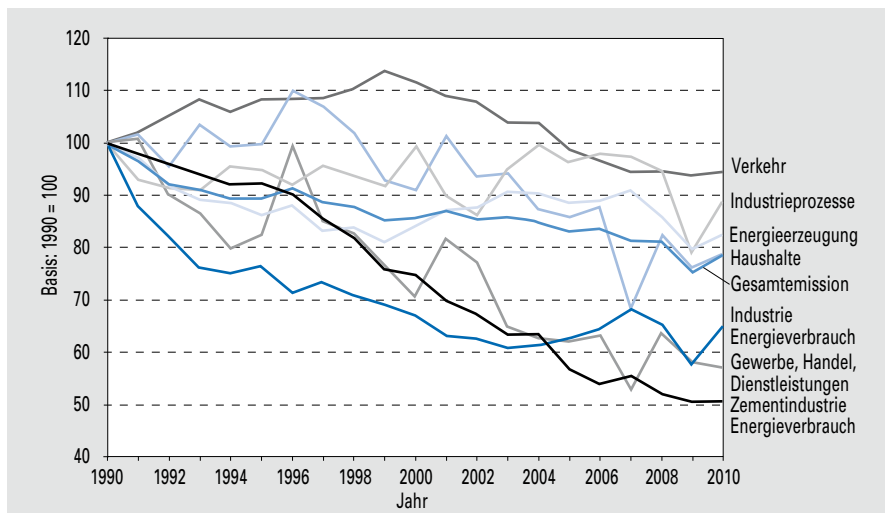


Abb. 14: Entwicklung der (energiebedingten) CO₂-Emissionen in Deutschland (Quelle: Umweltbundesamt 2011, VDZ 2010, VDZ 2012b, eigene Berechnungen)

Im Jahr 2011 waren in Deutschland 38 Anlagen zur Erzeugung von Zementklinker in den Emissionshandel einbezogen; sie produzierten insgesamt 24,8 Mio. t Klinker und emittierten dabei 20 Mio. t CO₂, was 2,4 % der gesamten CO₂-Emissionen in

Deutschland entsprach. Hierin sind die Emissionen aus dem Einsatz aller Brennstoffe (darunter auch alternative Brennstoffe) enthalten, nicht jedoch die indirekten CO₂-Emissionen aus dem Strombezug von externen Versorgern. Im Durchschnitt aller Anlagen in

32

Deutschland betrug der Ausstoß damit 0,81 t CO₂ je t Klinker. Dieser Wert hatte unmittelbar vor dem Start des Emissionshandels, in der sogenannten Basisperiode der Jahre 2000–2004, bei durchschnittlich 0,85 t CO₂/t Klinker gelegen. Damit sind die spezifischen CO₂-Emissionen in der Klinkerproduktion bis 2011 um 4,9 % gesunken; hierin spiegelt sich vor allem die Steigerung der Energieeffizienz im Klinkerbrennprozess wider. Bezieht man den im Emissionshandel erfassten direkten CO₂-Ausstoß auf die in Deutschland produzierte Zementmenge, so ergeben sich für das Jahr 2011 Emissionen in Höhe von 0,60 t CO₂/t Zement und damit 11,1 % weniger als in der Basisperiode 2000–2004. Der Rückgang der spezifischen CO₂-Emissionen fällt bei der Produktion von Zement vor allem aufgrund der zunehmenden Substitution von Zementklinker durch andere Hauptbestandteile, deren Verwendung nicht mit einem CO₂-Ausstoß verbunden ist (siehe oben), stärker aus als bei der Erzeugung des Zwischenproduktes Klinker (Abbildung 15). Die absolute Menge der CO₂-Emissionen in der Zementherstellung ist von der Basisperiode bis 2011 um 9 % gesunken.

Gemessen an den politischen Klimaschutzzielen sind die Möglichkeiten zur weiteren Verringerung der Treibhausgasemissionen in den heute verfügbaren technischen Verfahren zur Zementherzeugung sehr begrenzt. Vor allem die rohmaterialbedingten CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Portlandzementklinker, die in 2010 in Deutsch-

land durchschnittlich rund 70 % aller CO₂-Emissionen ausmachten (RWI 2011, inklusive Stromverbrauch, ohne alternative Brennstoffe), können nicht verringert werden. Im Hinblick auf die energiebedingten CO₂-Emissionen hat die Internationale Energie Agentur (IEA) mit einer „Cement Technology Roadmap“ im Jahr 2009 aufgezeigt, wie die globale Zementindustrie zu einer Halbierung der weltweiten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 beitragen könnte (IEA 2009). Demnach kann die Steigerung der Energieeffizienz zur notwendigen Minderung in globaler Perspektive nur etwa 10 % beitragen. Weitere Potenziale, wie der Einsatz von alternativen Brennstoffen und die Substitution von Zementklinker durch andere Hauptbestandteile (u.a. Hüttensand), die von der IEA ebenfalls benannt werden, sind in Deutschland bereits weitgehend ausgeschöpft. Alternative Verfahren zur Erzeugung von Zement werden zwar erforscht, ihre industrielle Anwendung wird aus Sicht der IEA für die angestrebte Treibhausgasreduzierung aber keine Bedeutung haben. Neue Entwicklungen, wie beispielsweise Celitement, gehen den Weg der Verringerung der Calciumoxide im Bindemittel. Hier haben erste Analysen bereits Erfolge gezeigt. Bevor diese Entwicklung allerdings aus dem Forschungsstadium in einen Technikumsmaßstab überführt werden kann, bedarf es weiterer intensiver Untersuchungen. Es ist davon auszugehen, dass auch bei Entwicklungen wie Celitement bis auf Weiteres nicht die notwendigen Mengen hergestellt wer-

den können, um die bisherigen portlandzementbasierten Bindemittel in relevanter Weise zu ersetzen.

Vor diesem Hintergrund wird der Abscheidung von CO₂ aus den Rauchgasströmen und der anschließenden dauerhaften Speicherung in tiefen geologischen Schichten eine große Bedeutung für den Klimaschutz in der Zementindustrie beigemessen (IEA 2009). Die Möglichkeiten dieses so genannten CCS-Verfahrens (carbon capture and storage) wird seit 2007 durch die European Cement Research Academy (ECRA) untersucht. Im Zentrum steht dabei die Entwicklung eines geeigneten Verfahrens zur Abscheidung von CO₂ im Zuge der Klinkerherstellung. Nach den bisherigen Ergebnissen kommen hierfür vor allem das Oxyfuel-Verfahren mit speziell aufbereiteten Brennstoffen und die Post-Combustion-Technik, bei der das CO₂ aus den Rauchgasen abgeschieden wird, in Betracht. Die Anwendung solcher Technologien ist jedoch nicht alleine von ihrer technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit abhängig, sondern ebenfalls von der gesellschaftlichen Akzeptanz und der Schaffung der gesetzlichen Rahmenbedingungen für CO₂-Lagerstätten durch die Politik.

Verbesserung des Lärmschutzes

Neben den Staubemissionen haben sich in der Vergangenheit auch die Lärmemissionen auf die unmittelbare Umgebung von Zementwerken ausgewirkt. Maßgeblich für die Belastung des Umfeldes sind die abgestrahlte Schalleistung sowie der Abstand der Werksanlagen zur benachbarten Wohnbebauung. Die wesentlichen Geräuschquellen im Bereich eines Zementwerks sind Mühlen, Kamine und Ausblasöffnungen, Filterventilatoren, Ofenantriebe, Gebläse und Transportbänder sowie der werksinterne Fahrzeugverkehr. Insbesondere über Kaminmündungen können – ohne entsprechende Minderungsmaßnahmen – relevante Schalleistungen aufgrund der Quellhöhe ungehindert, d.h. ohne Abschirmung durch umliegende Gebäude, abgestrahlt werden.

Zur Ermittlung der relevanten Lärmquellen sind Werklärmkarten geeignet, aus denen die effektivsten Lärmschutzmaßnahmen abgeleitet werden können. Aufgrund des ganztägigen Betriebs von Zementwerken werden

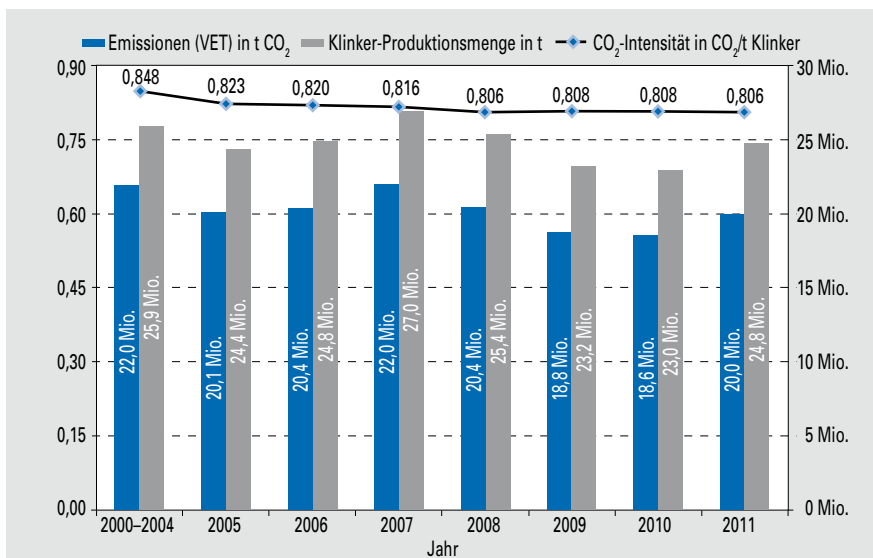


Abb. 15: CO₂-Emissionen der deutschen Zementwerke im europäischen Emissionshandelssystem (Quelle: Deutsche Emissionshandelsstelle 2009 und 2012; VDZ 2012c)

die Lärmschutzmaßnahmen heute so ausgelegt, dass die strengeren Immissionsrichtwerte für die Nachtzeit auch tagsüber eingehalten werden. Lärmin-tensive Anlagenteile (z.B. Mühlen) werden in schalldämmenden Gebäuden untergebracht oder mit Schallschutzkapseln bzw. -wänden versehen. Die Außenwände von schalldämmenden Gebäuden bestehen in der Regel aus Betonbauelementen, die ein hohes Flächengewicht haben, so dass die Schallübertragung über die Außenhaut möglichst gering gehalten wird. Störende Geräusche von Ventilatoren werden durch den Einbau von Schalldämpfern in den Ansaug- und Ausblasöffnungen bekämpft. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Lärmschutzmaßnahmen, mit denen die Emissionen kleinerer Quellen vermindert werden können. Insgesamt wurden die Lärmemissionen in der Zementindustrie in den vergangenen Jahren stetig reduziert, so dass diese die vorgeschriebenen Grenzwerte heute in vielen Fällen deutlich unterschreiten.

Wandel der Arbeitswelt

Im Hinblick auf die zukünftige Weiterentwicklung und Gestaltung der Beschäftigung steht die Zementindustrie – ebenso wie viele andere Industriebranchen – vor großen Herausforderungen. Die Entwicklungen der Produktionstechnik lassen die Qualifikationsforderungen steigen, der allgemeine demografische Wandel erschwert die Suche nach Arbeitskräften und muss aufgrund eines steigenden Durchschnittsalters der Belegschaften bei der Gestaltung der Arbeit und der Arbeitsplätze immer stärker berücksichtigt werden. Wie die Anforderungen in den Unternehmen der Zementindustrie im Einzelnen aussehen und wo Maßnahmen ansetzen müssen, war jedoch bislang unbekannt. Aus diesem Grund beauftragten die Sozialpartner im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit eine Untersuchung zu den Strukturen der Beschäftigung in der Zementindustrie.

Die Studie wurde im Jahr 2012 erstellt und stützt sich vor allem auf eine quantitative Befragung von Unternehmen und qualitative Experteninterviews mit Personalleitern und Betriebsräten. Insgesamt haben sich 45 Betriebe beteiligt, die bezogen auf die Zahl der Mitarbeiter in der amtlichen Statistik 82 % der Beschäftigten in der deutschen Zementindustrie abdeck-

ten (Initiative für Nachhaltigkeit 2012, www.initiative-nachhaltigkeit.de). Diese breite Beteiligung und die hohe Qualität der eingegangenen Antworten ermöglichten belastbare Analysen und Interpretationen mit einer hohen Repräsentativität für die Branche in Deutschland.

Sichtbar wird in der Studie das Bild einer anlagenintensiven, modernen Prozessindustrie, in der die Beschäftigten insgesamt eine hohe Verantwortung bei der Steuerung und Kontrolle der Produktion tragen und sehr produktiv sind. Dies ist mit hohen Anforderungen verbunden, z.B. an das Qualifikationsniveau. Mit einem Facharbeiter- und Fachangestelltenanteil von insgesamt 62,5 % sowie dem Anteil von höher qualifizierten Beschäftigten (Personen mit Hochschulabschluss, Kaufleute mit zusätzlichem höherem IHK-Abschluss sowie Techniker oder Meister) von insgesamt 26 % weist die Zementindustrie heute eine hochqualifizierte Beschäftigtenstruktur auf. Demgegenüber lag der Anteil der Un- und Angelernten an den Beschäftigten im Jahr 2011 mit 10,9 % deutlich unter dem deutschlandweiten Durchschnitt der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im gesamten Verarbeitenden Gewerbe in Höhe von 16,8 %.

Nach einer Phase des starken Beschäftigungsabbaus bis zum Jahr 2004 werden in der Befragung für die Zeit ab 2005 sehr stabile und gefestigte Beschäftigungsverhältnisse erkennbar: Die Zahl der Arbeitsplätze hat sich seitdem kaum verändert, die Fluktuation und der Anteil befristeter Anstellungen sind gering, die Betriebszugehörigkeitsdauer hoch. Gewissermaßen eine Kehrseite dieser Medaille ist das hohe Durchschnittsalter in den meisten Betrieben. Der allgemeine demografische Wandel wird in der Zementindustrie somit deutlich sichtbar, und seine Bewältigung wird sicherlich in der Zukunft ein beherrschendes Thema in den Unternehmen sein. Zudem ist die Zementindustrie stark vom sogenannten Normalarbeitsverhältnis geprägt: Teilzeitarbeit spielt eine unterdurchschnittliche Rolle, Formen der atypischen Beschäftigung wie geringfügige Beschäftigung, Arbeitnehmerüberlassung oder eine Beschäftigung auf der Basis von Werkverträgen, die in anderen Branchen oft mit prekären Arbeitsverhältnissen verbunden sind, haben hier nur eine sehr geringe Bedeutung. Frauen haben an den Be-

legschaften einen stark unterdurchschnittlichen Anteil.

Ausbildung und Qualifizierung

Ein wichtiger Baustein zur Bewältigung des demografischen Wandels ist die Qualifizierung und die Förderung von Nachwuchs. Mit ihrer intensiven Berufsausbildung im dualen System ist die Branche dabei auf einem guten Weg. Die Befragungsergebnisse im Zuge der genannten Untersuchung zu den Strukturen der Beschäftigung in der Zementindustrie dokumentieren, dass sehr viele Unternehmen vor diesem Hintergrund ihre Aktivitäten in der beruflichen Erstausbildung und in der Weiterbildung der Mitarbeiter intensiviert haben: Die Ausbildungsquote ist in den letzten Jahren gestiegen und lag im Jahr 2011 mit 9,8 % im Vergleich mit anderen Branchen sehr hoch. Bereits heute spielen an- und ungelernete Beschäftigte eine vergleichsweise geringe Rolle. Dies wird in Zukunft noch stärker der Fall sein – gerade auch angesichts der überdurchschnittlich hohen Übernahmequote bei Ausbildungsabsolventen.

Die Intensität der betrieblichen Weiterbildung wurde in der Zementindustrie in den vergangenen Jahren zwar gesteigert, allerdings nicht im gleichen Maße wie in anderen Wirtschaftsbereichen. Gerade die Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich der gewerblichen Beschäftigten betreffen zudem in erster Linie gesetzlich vorgeschriebene Themen. Dennoch ist speziell eine Aufwertung interner Weiterbildungsmaßnahmen in den Befragungsergebnissen deutlich erkennbar. Bereits Mitte der 1990er Jahre hatte der Verein Deutscher Zementwerke hierzu eine Initiative ergriffen und damit begonnen, einen Katalog von so genannten Lehrbriefen aufzubauen. Er sollte Ausbildern in Zementwerken als Grundlage für die Vermittlung von Wissen über die Technik und die Verfahren der Zementherstellung vor allem an gewerblich-technische Mitarbeiter dienen. Im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit wurde dann ab dem Jahr 2008 damit begonnen, beim Verein Deutscher Zementwerke eine Internet-Plattform zur Weiterbildung aufzubauen, die für alle Unternehmen der Zementindustrie nutzbar ist (www.elearning-vdz.de). Sie enthält mittlerweile ein breit gefächertes Angebot an Kursen über die Technik und die Verfahren der Zementherstellung sowie

Aufbau der Internet-Lernplattform zur beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung des Vereins Deutscher Zementwerke

Mit einer Internet-Lernplattform stellt der Verein Deutscher Zementwerke seit Anfang 2010 ein branchenweit, durch alle Unternehmen und ihre Mitarbeiter nutzbares System zur betrieblichen Weiterbildung zur Verfügung (www.elearning-vdz.de). Das Angebot umfasst heute 52 verschiedene Online-Kurse, mit denen Wissen über die Technik und die Verfahren der Zementherstellung sowie zur nachhaltigen Entwicklung mit Bezug zur Zementindustrie vermittelt wird, und richtet sich an alle Beschäftigten in der Branche. Zudem bietet die Lernplattform fachliche Unterstützung für Ausbilder in den Werken. Der Aufbau, die inhaltliche Entwicklung von ersten Online-Kursen und die Erprobung der Internet-Lernplattform erfolgten in den Jahren 2008 und 2009 im Rahmen eines Projektes, das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde.

Die internetbasierte Lernplattform ist für individuelles Lernen, das durch Tutoren begleitet werden kann, ebenso geeignet wie für das Präsenzlernen in Gruppenschulungen (Blended Learning). Durch die multimediale Aufbereitung und Darstellung der Lerninhalte werden komplizierte Sachverhalte grafisch oder filmisch erläutert. Über die Bereitstellung von Lernmaterialien hinaus kann der Lernerfolg mit Selbstkontrollfragen, Tests und Abschlussklausuren überprüft werden – und zwar auch durch die Beschäftigten selbst. Durch die verwendeten Technologien sind individuelle Zusammenstellungen von einzelnen Themen sowie werkspezifische Ergänzungen und Tests möglich. Ein Großteil der Kurse wurde darüber hinaus ins Englische übersetzt und kann so für internationale Schulungen besser genutzt werden.

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde die Internet-Lernplattform nicht nur aufgebaut und mit Inhalten gefüllt, sondern in fünf Zementwerken über mehrere Monate auch erprobt. Dies umfasste eine Schulung der Ausbilder, eine fachliche Begleitung bei der Einführung des Systems vor Ort in den Werken sowie einen werksübergreifenden Erfahrungsaustausch während der Anwendungsphase. Durch eine schriftliche Befragung und persönliche Interviews wurden am Ende des Projektes die Erfahrungen und Einschätzungen der beteiligten Beschäftigten und Ausbilder sowie von Werkleitungen und Betriebsräten erhoben.

Die Erprobung zeigte, dass sich die Internet-Lernplattform auch vor dem Hintergrund von sehr unterschiedlichen Voraussetzungen und weiterbildungsbezogenen Zielen in den Pilotwerken jeweils sehr gut anwenden ließ und die Möglichkeiten zur betrieblichen Weiterbildung deutlich verbessern kann. Dies galt für Werke, in denen bereits vorher intensiv Weiterbildung betrieben wurde und hierzu bereits Strukturen etabliert waren, ebenso wie für Betriebe, die zuvor ein geringes Weiterbildungsniveau aufwiesen. Bemerkenswert war der Umstand, dass die Lernplattform dabei auch bei älteren Beschäftigten und bei Beteiligten, die bisher noch keine Weiterbildung erfahren hatten, eine hohe Akzeptanz fand. Als Vorteile der Lernplattform wurden von den befragten Nutzern die innovativen Visualisierungen und Animationen hervorgehoben, die den Lernenden dabei helfen, die behandelten Sachverhalte und Zusammenhänge besser zu verstehen. 92 % der Beteiligten äußerte den Wunsch, dass die Nutzung der Lernplattform in ihrem Werk dauerhaft eingeführt werden sollte, 89 % wollten selbst auch an weiteren Schulungen teilnehmen.

Diese Ergebnisse bestätigen sich mittlerweile auch im Alltag: Nach Abschluss des Pilotprojektes wurde die Internet-Lernplattform für alle Unternehmen der deutschen Zementindustrie zugänglich gemacht. Sie wird aktuell in 40 Werken und jährlich von 700 bis 800 Beschäftigten für die Weiterbildung genutzt. Im Jahr 2011 wurden auf der Lernplattform rund 2 200 Lernstunden und 1 300 Abschlusstexte erfasst. Seit März 2011 arbeitet der VDZ zusammen mit Partnern in dem BMBF-Verbundprojekt „Wissensnetzwerk Zement-Kalk-Beton“ an einer Erweiterung der Internet-Lernplattform hin zu einer branchenübergreifenden Plattform zum Wissens- und Informationsaustausch.

zur nachhaltigen Entwicklung in der Zementindustrie. Die Internet-Plattform wird mittlerweile von 40 Werken und jährlich 700 bis 800 Beschäftigten genutzt, das entspricht etwa einem Zehntel aller Beschäftigten der Branche.

Steigerung der Arbeitssicherheit und geringer Krankenstand

Der Schutz der Mitarbeiter vor Unfällen ist ein wichtiges Handlungsfeld und ein bedeutsamer Inhalt von Qualifizierungsmaßnahmen in den Zementwerken. Neben den gesetzlichen Bestimmungen gehört die Verbesserung der Arbeitssicherheit zu den satzungsgemäßen Aufgaben des Vereins Deutscher Zementwerke. Entscheidend für die Verbesserung der Arbeitssicherheit ist die Motivation der Mitarbeiter, die Sicherheitsvorschriften im Betrieb anzuwenden. Hierfür sind auch die Führungskräfte in den Werken verantwortlich. Daher organisiert der VDZ gemeinsam mit der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft (StBG) Schulungen für Meister und Vorarbeiter. Ziel der Seminare ist die Verbesserung der Kenntnisse über sicheres Arbeiten (v.a. in Bereichen mit höherem Unfallrisiko), die Erörterung typischer Unfälle und die Vermittlung praktischer Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitssicherheit.

Der VDZ gibt Sicherheits-Merkblätter mit den Beschreibungen typischer Betriebsunfälle sowie Sicherheits-Prüflisten für die verschiedenen Betriebsbereiche heraus. Außerdem wird seit über 35 Jahren ein jährlicher Wettbewerb zur Arbeitssicherheit durchgeführt, bei dem die Mitgliedswerke mit der niedrigsten Unfallhäufigkeit ausgezeichnet werden. Die Unfallhäufigkeit in den deutschen Zementwerken hat in den letzten 40 Jahren um rund drei Viertel abgenommen (Abbildung 16). Danach sank die Zahl der meldepflichtigen Betriebsunfälle je 1 Mio. geleisteter Arbeitsstunden (mittlere Unfallhäufigkeitsrate) von 43,9 in 1969 auf 12,8 in 2001 und weiter auf 8,1 in 2011. Sie lag damit zuletzt um etwa die Hälfte unter der Unfallhäufigkeit aller Mitgliedsunternehmen der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft und der Unfallhäufigkeit der gesamten gewerblichen Wirtschaft. Im Jahr 2010 verzeichneten 13 Werke mit Klinkerproduktion überhaupt keine meldepflichtigen Unfälle (VDZ 2012b).

Die oben bereits angeführte Befragung der Unternehmen zu den Strukturen der Beschäftigung in der Zementindustrie (Initiative für Nachhaltigkeit 2012) zeigt, dass das Krankheitsniveau in der Zementindustrie im Vergleich mit der übrigen Industrie unterdurchschnittlich ist. Bedenklich sind jedoch der steigende Krankenstand, die zunehmende Dauer von krankheitsbedingten Fehlzeiten und der Zuwachs an Mehrfacherkrankungen. Diese Merkmale deuten darauf hin, dass erstens die Beschäftigten an ihren Arbeitsplätzen zunehmend stärker beansprucht werden und zweitens der demografische Wandel bereits erste wirksame Nachteile verursacht – auch für die Unternehmen in Form zusätzlicher Kosten. Insgesamt signalisiert die Entwicklung einen deutlichen Handlungsbedarf, um dem Trend zunehmend älterer Belegschaften und einem absehbaren Fachkräftemangel rechtzeitig entgegenzuwirken.

Einkommen und Arbeitszeit

Bei der Befragung zu den Strukturen der Zementindustrie wurden auch das Einkommen und die Arbeitszeit erhoben (Initiative für Nachhaltigkeit 2012). Das Einkommen der Beschäftigten wird in der Branche sehr stark von Tarifverträgen zwischen Arbeitgeberverbänden und den beiden zuständigen Industriegewerkschaften Bauen-Agrar-Umwelt und Bergbau, Chemie, Energie geprägt – alle teilnehmenden Werke waren tarifgebunden. Das Niveau des tariflichen Einkommens in den verschiedenen Tarifgebieten ist dabei stark davon abhängig, ob die Tarifverträge speziell für die Zementindustrie abgeschlossen werden oder das Einkommen mit Tarifverträgen für die gesamte Steine- und Erdenindustrie geregelt wird. Die so verursachten regionalen Unterschiede im Niveau von Tarifeinkommen werden allerdings durch übertarifliche Leistungen weitgehend nivelliert. Insgesamt bewegen sich die Einkommen in der Zementindustrie auf einem hohen Niveau: Die Branche liegt mit ihrer bundesweiten durchschnittlichen Bruttolohnsumme je Beschäftigtem von 47 260 Euro, die sich aus der amtlichen Statistik für das Jahr 2011 errechnen lässt, bezogen auf alle Fachzweige des Produzierenden Gewerbes am Übergang vom obersten zum zweiten Fünftel.

Die geltende tarifvertragliche wöchentliche Arbeitszeit in der Zementindustrie

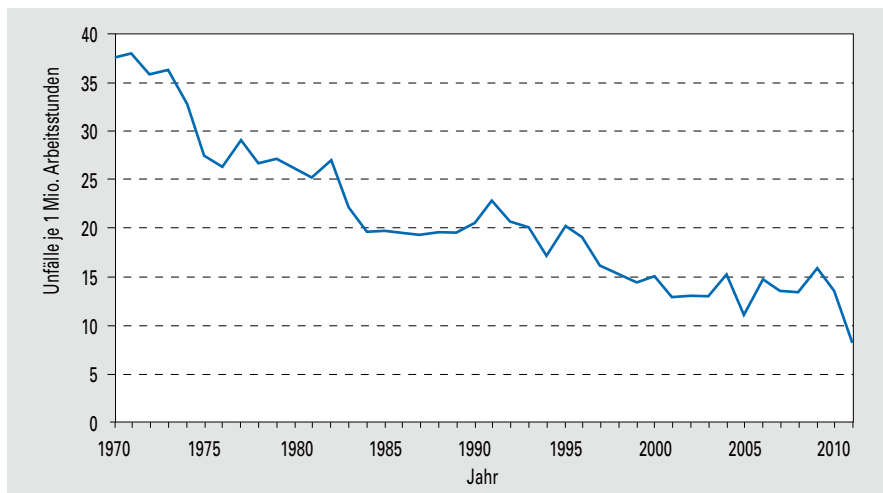


Abb. 16: Entwicklung der Unfallhäufigkeit in der deutschen Zementindustrie (Zahlenangaben: VDZ)

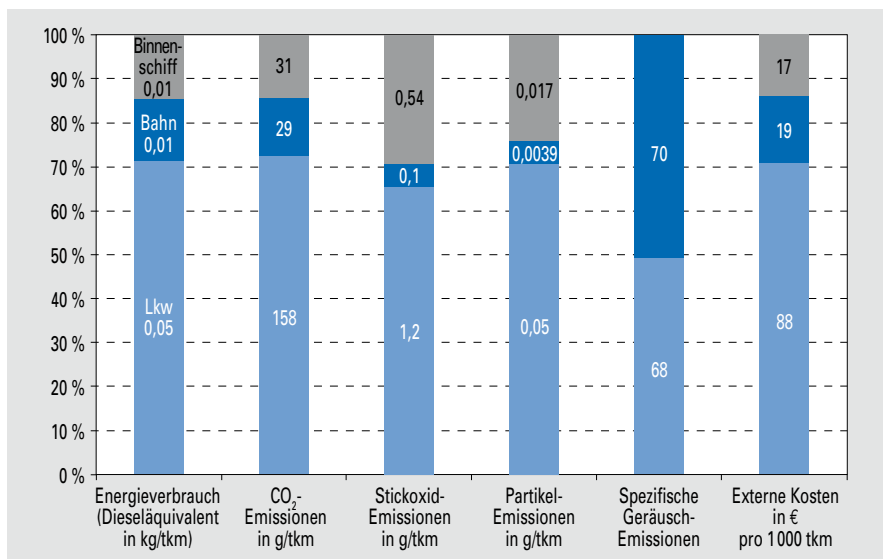
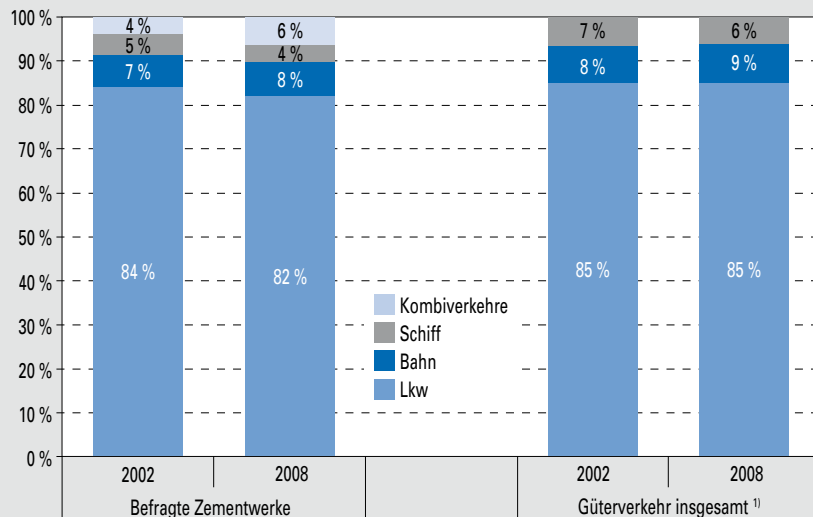


Abb. 17: Umweltvergleich des Gütertransports mit Binnenschiff, Bahn und Lkw; Geräuschemissionen: Mittelungspegel in dB(A) in 25 m Abstand bei 80 km/h pro 1 000 t/h; für Binnenschiffsverkehr keine Angaben vorhanden (Quelle: eigene Darstellung nach DIW 2002, Umweltbundesamt 2003, INFRAS/IWW 2000)

reicht je nach Tarifgebiet von 37,5 bis hin zu 40 Wochenstunden. Der größte Teil der Beschäftigten (70,8 %) arbeitet entsprechend des Tarifvertrags 38 Wochenstunden. In der Auswertung von tarifvertraglich vereinbarter und tatsächlich geleisteter Arbeitszeit werden Engpässe bei den Personalkapazitäten erkennbar, die in den meisten Fällen durch vergleichsweise moderate Mehrarbeit ausgeglichen werden. Flexible Arbeitszeitmodelle könnten möglicherweise noch in einem stärkeren Maße genutzt werden. Eine geringe Rolle spielt in der Zementindustrie die Teilzeitarbeit, die zudem ganz überwiegend bei Frauen vorkommt. Ein Drittel der Beschäftigten leistet Schichtdienst.

Nachhaltige Transport- und Logistikketten

Das gesamte Transportaufkommen, das mit der Produktion und dem Versand von Zement zusammenhängt, belief sich im Jahr 2008 auf rund 53,3 Mio. t. Dieser Wert umfasst den Eingang von Waren (v.a. die neben Portlandzementklinker verwendeten anderen Hauptbestandteile von Zement sowie Energieträger) und den Versand der Produkte und entsprach 1,19 % des gesamten deutschen Güterverkehrsaufkommens (Initiative für Nachhaltigkeit 2010, S. 4). Insofern ist auch dem Verkehrsbereich mit Blick auf die nachhaltige Entwicklung der Branche ein hoher Stellenwert beizu-



¹⁾ Datenbasis für Güterverkehr insgesamt: Statistisches Bundesamt 2004 und 2010; Aufkommen von kombinierten Verkehren in der allgemeinen Güterverkehrsstatistik nicht erhoben; Seeschifffahrt und Transport in Rohrfernleitungen wurden ausgeklammert.

Abb. 18: Modal Split des Güterverkehrsaufkommens der befragten Zementwerke im Vergleich zum gesamten Güterverkehr in Deutschland in 2002 und 2008

messen. Einerseits sind reibungslose Transporte ein zentrales Element leistungsfähiger Volkswirtschaften, andererseits sind sie mit Belastungen der Umwelt verbunden. Wie Abbildung 17 zeigt, schneidet der Lkw unter ökologischen Gesichtspunkten im Vergleich zu Binnenschiff und Bahn in der Regel am ungünstigsten ab.

Um Ansatzpunkte für eine nachhaltige Entwicklung der Transport- und Logistikstrukturen in der Zementindustrie zu entwickeln, wurden im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit für die Jahre 2002 und 2008 jeweils umfangreiche branchenweite Untersuchungen der Transport- und Logistikstrukturen in der Zementindustrie durchgeführt (Initiative für Nachhaltigkeit 2004 und 2010). Die Wiederholung sechs Jahre nach der ersten Studie erfolgte, um mögliche Veränderungen zu analysieren, die sich beispielsweise als Folge der zwischenzeitlichen Einführung der Lkw-Maut hätten ergeben können. Beide Untersuchungen basieren auf einer schriftlichen Befragung aller Zementhersteller in Deutschland. Für das Jahr 2008 beteiligten sich daran 15 Unternehmen mit 43 Zementwerken, darunter 32 integrierte Werke mit eigener Klinkerherzeugung. Damit haben drei Viertel aller Werke mit insgesamt mehr als 90 % des bundesweiten Zementversandes teilgenommen.

Die Befragungsergebnisse informieren detailliert über die Verkehrsinfrastruktur der Zementwerke, zeigen

den Modal Split im Güterverkehr der Zementindustrie sowie die Rahmenbedingungen des Zementversandes und fassen die Erfahrungen der Unternehmen mit Logistik- und Transportanbietern in den Bereichen Straße, Schiene und Wasserstraße zusammen. Im Jahr 2008 entstanden etwa 1,2 % des gesamten Güterverkehrsaufkommens in Deutschland durch den Wareneingang und -ausgang der Zementhersteller; damit war der Anteil etwas geringer als im Jahr 2002.

Dabei war der Lkw im Jahr 2008 mit einem Anteil von 82 % am gesamten Verkehrsaufkommen im Zusammenhang mit der Erzeugung und dem Absatz von Zement der wichtigste Verkehrsträger, hat allerdings gegenüber dem Jahr 2002 rund zwei Prozentpunkte an Bahn und Schiff (inklusive Kombiverkehren) verloren (Abbildung 18). Aufgrund der kleinteiligen und schwerpunktmäßig regionalen Kundenstruktur beim Zementabsatz wird vor allem der weitaus größte Teil (92 %) der Versandtransporte per Lkw abgewickelt. Dagegen spielen beim Empfang von Rohstoffen und Energieträgern auch die Verkehrsträger Bahn und Schiff mit zusammen 27 % (inklusive Kombiverkehren) eine gewichtige Rolle. Damit bestehen in der Zementindustrie ähnliche Strukturen wie im gesamten Güterverkehr.

Ansatzpunkte zur Vermeidung von Verkehren sowie zur Verlagerung von Transporten von der Straße auf Schie-

ne oder Wasserstraße sind vorhanden, die infrastrukturellen Voraussetzungen für eine stärkere Nutzung von Bahn und Schiff in der Zementindustrie sind gut: rund drei Viertel der Werke haben einen Gleisanschluss, ein Drittel aller Werke eine Wasserstraßenanbindung. In der Praxis werden die bestehenden Potenziale aber nicht immer genutzt. So wurden im Jahr 2008 beispielsweise 32 % der bestehenden Gleisanschlüsse und 23 % der bestehenden Wasserstraßenanbindungen nicht für die Abwicklung von Transporten verwendet. Nach den Befragungsergebnissen wirken unterschiedliche organisatorische Barrieren der stärkeren Nutzung der Verkehrsträger Bahn und Schiff entgegen. Eine probate Lösung für solche Barrieren ist in manchen Fällen aber offenkundig der kombinierte Verkehr von Bahn oder Schiff mit Lkw: Der Anteil dieses Transportmodus wurde von 2002 bis 2008 deutlich gesteigert, um so Transporte stärker auf Schienenwege oder Wasserstraßen zu verlagern.

Insgesamt bedarf die Optimierung von Transport- und Logistikstrukturen im Hinblick auf die Verkehrsträgerwahl einer Vielzahl spezieller Maßnahmen, bei denen die Zementhersteller jeweils auch auf die Mitwirkung von Frachtführern, Lieferanten und Kunden angewiesen sind. Ein Hemmnis im Hinblick auf die Verlagerung von Transporten auf die Schiene sind dabei offenkundig schlechte Erfahrungen mit dem bei Weitem größten Anbieter DB Schenker hinsichtlich Flexibilität, Preisgestaltung und Service. Demgegenüber werden NE-Bahnen und vor allem die Binnenschifffahrt deutlich besser eingeschätzt. Ein mittlerweile breit genutzter Ansatz ist die Optimierung von Rückladungsverkehren, um Leerfahrten nach der Entladung beim Kunden zu vermeiden. Entsprechende Instrumente, wie beispielsweise spezielle Angebote von Dienstleistern oder Internet-Frachtbörsen, werden in 88 % aller Zementwerke genutzt.

Neben der zuletzt wachsenden Bedeutung von kombinierten Verkehren war in den vergangenen Jahren auch eine Steigerung des Güterverkehrsaufkommens auf der Empfangsseite der Zementwerke erkennbar. Die Ursache hierfür liegt im zunehmenden Einsatz von Hauptbestandteilen wie beispielsweise Hütten sand aus der Stahlproduktion, mit dem die Klinkermenge im Zement reduziert wird. Erkennbar ist außerdem

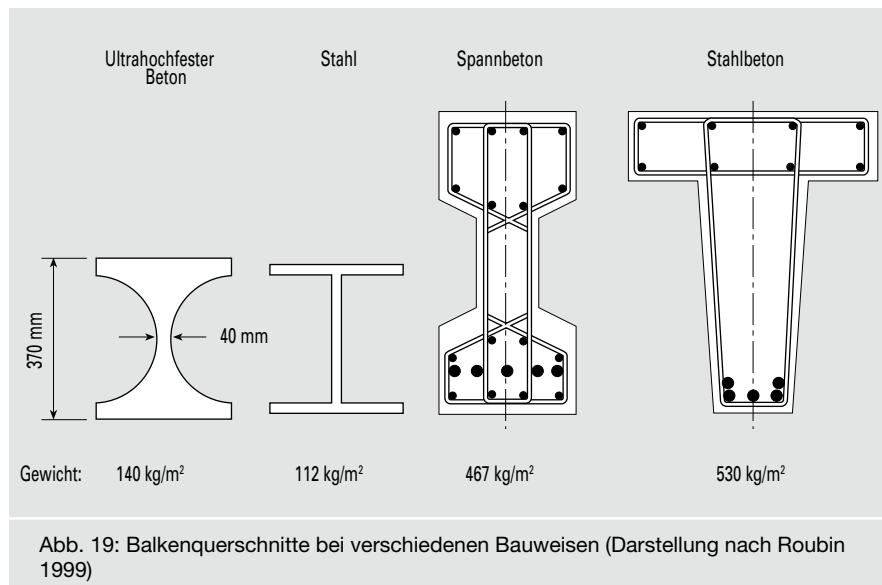
eine Steigerung der durchschnittlichen Versandentfernungen zwischen Zementwerken und Kunden, bei den Lkw-Fahrten beispielsweise von 93 km im Jahr 2002 auf 115 km im Jahr 2008. Hier schlägt sich die zwischenzeitliche Verringerung der Anzahl der Werke nieder, durch die die zumeist regionalen Versandverkehre zwangsläufig größere Entfernungen zu den Kunden überbrücken müssen.

3.3 Zementverarbeitung und Betonrecycling

Betonherstellung und Baustoffinnovation

Zement wird mit Gesteinskörnungen bzw. Zuschlägen (insbesondere Kies und Sand) sowie mit Wasser zu verschiedenen Baustoffen verarbeitet. Die weitaus größte Bedeutung hat dabei Beton, der in Form von Transportbeton, Betonfertigteilen oder Betonsteinen hergestellt und verarbeitet wird. Beton muss in Deutschland der DIN EN 206/DIN 1045 entsprechen und wird in verschiedene Rohdichteklassen (Leicht-, Normal- und Schwerbeton) sowie Festigkeitsklassen eingeteilt. Weitere Baustoffe, die mit Zement gebunden werden, sind Putze, Mörtel und Faserzementplatten.

Die technische Weiterentwicklung von Beton war in der Vergangenheit vor allem auf die Erhöhung der Druckfestigkeit ausgerichtet – sie galt lange Zeit als das bestimmende Qualitätsmerkmal, von dem auch verschiedene andere Güteigenschaften abhängig sind. Dabei wurden erhebliche Fortschritte erzielt: Die unter Baustellenbedingungen sicher erreichbare maximale Druckfestigkeit von Betonen stieg von ca. 40 N/mm² in den 1960er Jahren auf mittlerweile 200 N/mm² bei (ultra-)hochfesten Betonen. In der Folge kann die Tragstruktur eines modernen Bauwerks aus Beton heute mit deutlich geringeren Querschnittsabmessungen ausgeführt werden. Dies gilt sowohl für Stützen als auch für Träger, die auf Biegung beansprucht werden. Abbildung 19 zeigt den Vergleich von Querschnitten mit gleicher Tragfähigkeit in verschiedenen Ausführungsweisen und verdeutlicht die geringen Querschnittsabmessungen, die mit Trägern aus ultrahochfestem Beton erreicht werden. Durch Verwendung hochfester Betone wird in Gebäuden zusätzliche Nutzfläche gewonnen. Dadurch können die nutzflächenbezogenen



Bauwerkskosten sinken, während gleichzeitig die Ressourcenproduktivität erhöht und Umweltbelastungen verringert werden.

Über die Erhöhung der Festigkeit hinaus haben moderne Betone heute vielfach den Charakter von „High-Tech“-Werkstoffen, die für spezielle Anwendungsfälle zugeschnitten werden. Ein Beispiel hierfür ist selbstverdichtender Beton, der die Optimierung von Bauprozessen ermöglicht. Er hat eine höhere Fließfähigkeit und Homogenität. Die Verdichtung erfolgt ausschließlich durch die Schwerkraft, so dass der Einsatz von Rüttlern überflüssig wird. Auf diese Weise werden eine größere Dauerhaftigkeit der Bauwerke, wirtschaftliche Vorteile (höhere Einbauleistung, Reduzierung von Einbau- und Nacharbeiten), eine bessere gestalterische Qualität (Betonoberflächen) sowie eine Entlastung der Umwelt (Reduzierung von Lärm beim Bau) erreicht. Positive Auswirkungen auf Bauprozesse werden heute auch mit schnell erhärtenden Reparaturmörteln oder Betonen erreicht, die durch Verwendung spezieller Zemente früher abbinden und so eine Verkürzung von Bauzeiten ermöglichen. Wichtig ist dies beispielsweise im Straßenbau, wo durch die Verwendung schnellerhärtender Systeme bei Reparaturen die Fahrbahn bereits nach wenigen Stunden wieder genutzt werden kann (vgl. Schmidt 1998). Im Fertigteilbau können bei Einsatz von Zementen mit hoher Frühfestigkeit die Ausschalzeiten verkürzt und die Fertigteile schneller montiert werden. Außerdem eignen sich schnellerhärtende Betone auch

für den Einsatz bei Umgebungstemperaturen von unter 0 °C, so dass sie den Betonbau bei ungünstigen Witterungsbedingungen ermöglichen.

Eine zunehmende Bedeutung erhält die Verarbeitung von Zement zu modernen Verbundwerkstoffen wie z.B. Faserbetonen. In den DFG-Sonderforschungsbereichen 532 in Aachen und 528 in Dresden wird dieses Thema gegenwärtig intensiv untersucht. Traditionell wird Beton mit Stahl kombiniert, um seine Zugfestigkeit zu erhöhen. Während die Bewehrung beim Stahlbeton die Aufgabe hat, die Zugkräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit aufzunehmen, bieten textile Verstärkungen in erster Linie die Möglichkeit zur Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit. Hierzu wird Beton durch eine textile Bewehrung ergänzt, die in der Vorproduktion maßgerecht an die jeweilige Aufgabe angepasst werden kann. Dabei kommen v.a. industriell hergestellte Chemiefasern zum Einsatz. Weil solche Stoffe gegenüber den im Stahlbeton üblichen Korrosionsmechanismen widerstandsfähig sind, bedarf die Bewehrung keiner Überdeckung, wodurch filigraner und leichter gebaut werden kann.

Aber auch die traditionelle Kombination von Beton und Stahl bietet noch Innovationsmöglichkeiten, beispielsweise bei der Herstellung von Bauteilen für Systembauweisen. Dies zeigt z.B. ein innovatives Bausystem mit tragenden Wandtafeln aus kaltgewalzten Stahlprofilrahmen und Leichtbeton. Aufgrund des an allen vier Kanten umlaufenden speziellen Stahlprofils

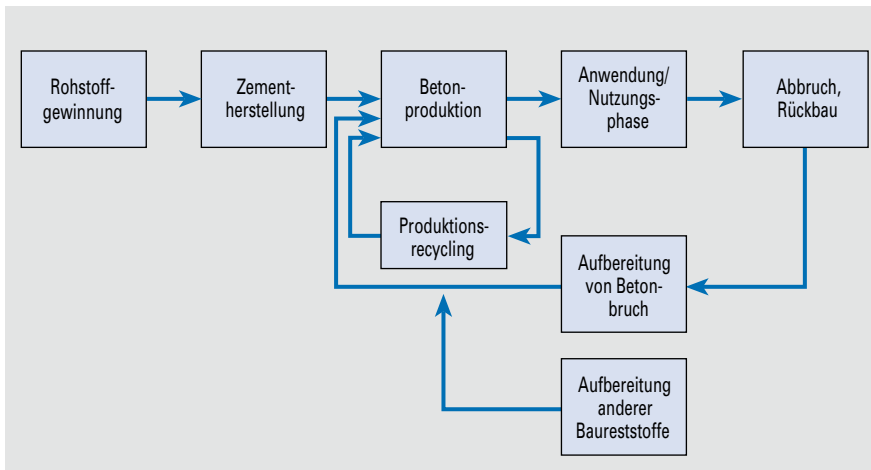


Abb. 20: Stoffströme beim Recycling von Beton

lassen sich die für das jeweilige Haus maßgefertigten Tafeln auf der Baustelle durch ein Stecksystem mit unterstützendem Mörtelinsatz besonders schnell und passgenau montieren. Die Verarbeitungsqualität bei der Vorfertigung der Wandtafeln im Betonfertigteilwerk macht auf der Rauminnenseite sogar einen Putz überflüssig, was zu einer weiteren Optimierung des Bauprozesses führt.

Ein weiteres Handlungsfeld für betontechnische Innovationen ist der Schutz von Betonbauteilen gegen Korrosion und schädigende Angriffe, wie sie z.B. durch Chemikalien in Abwasserableitungen auftreten können. Solchen Angriffen auf Oberflächen kann durch ein möglichst dichtes Betongefüge begegnet werden. Hierzu werden die Gesteinskörnungen und der Zement in Hinblick auf ihre Korngrößen so aufeinander abgestimmt, dass eine möglichst dichte Matrix entsteht. Gegebenenfalls werden weitere, geeignete Feinstoffe als Füller eingesetzt. Insgesamt kann hierdurch eine hohe Chemikalienbeständigkeit des Betons erreicht werden. Wichtige Anwendungen entsprechender Hochleistungsbetone sind Kanalsysteme und der Bau von Kühltürmen in Kraftwerken wie z.B. in Niederaußem bei Köln, Datteln und Boxberg.

Ressourcenschonung durch Betonrecycling

Beton lässt sich – sortenreine Fraktionierung vorausgesetzt – vollständig recyklieren. Dabei ist zweierlei zu unterscheiden (vgl. Abbildung 20): Erstens das Produktionsrecycling insbesondere von Frischbeton und zweitens das Recycling von Beton und anderen Baustoffen nach Abriss oder Rückbau von Bauwerken. Für das Produktions- bzw. Frischbetonrecycling hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton eine Richtlinie (DAfStB 1995) entwickelt, nach der die Produktionsreste bei der Betonherstellung so ausgewaschen werden, dass Restwasser und Restzuschlag direkt wiedergewonnen und erneut eingesetzt werden können. Die Richtlinie schreibt dazu Verfahren vor, die eine normgerechte Produktqualität gewährleisten. Beim Frischbetonrecycling ist ein geschlossener anlageninterner Kreislauf heute Stand der Technik.

Betonbruch, der beim Abriss oder Rückbau anfällt, wird in Form von

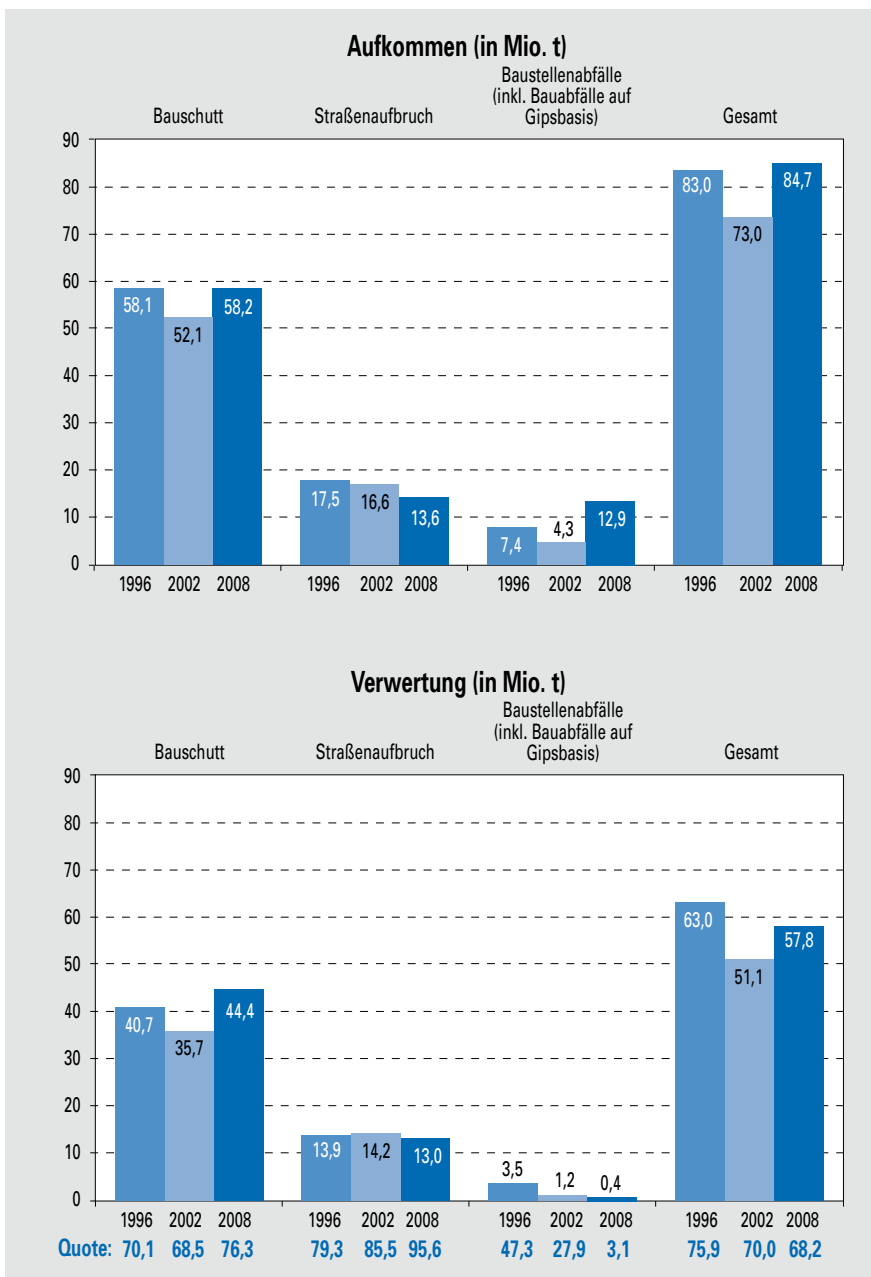


Abb. 21: Aufkommen und Verwertung von Baureststoffen (Quelle: Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2000, 2005, 2011)

Betonsplitt oder Betonbrechsand als rezyklierte Gesteinskörnungen bei der Betonherstellung oder für andere Zwecke (insbesondere im Straßenbau) verwendet. Bei der Betonherstellung kann wiederaufbereiteter Betonbruch als Ersatz für natürliche Gesteinskörnungen (z.B. Kies) in Abhängigkeit von den jeweiligen Einsatzgebieten des Betons bis zu einem maximalen Anteil von 45 Vol.-% verwendet werden. Auch weitere sortierte und klassifizierte Baureststoffe – beispielsweise Ziegelsplitt – können auf diese Weise verwertet werden, so dass zementgebundene Baustoffe eine sinnvolle Wiederverwendung auch dieser Materialien ermöglichen. Ökobilanzielle Studien zeigen, dass sich durch den Einsatz von aufbereitetem Betonbruch bei der Betonherstellung natürliche Ressourcen wie z.B. Kies und Sand in Größenordnungen von bis zu 40 % einsparen lassen (Herbst et al. 2011).



Foto: www.fotolia.com

Abbildung 22: Gezielter Rückbau von Gebäuden als Voraussetzung für ein modernes Betonrecycling

Das Recycling von Betonbruch und anderen Baurestmassen ist eine wichtige Maßnahme, um Gesamtabfallmenge und Deponierung zu verringern. Zugleich werden damit bei der Baustoffproduktion natürliche Rohstoffe eingespart. Um diese Ziele umzusetzen, haben Bauwirtschaft und Baustoffindustrie 1996 die Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau gegründet, in der die deutsche Zementindustrie über den Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden mitwirkt.

Insgesamt liegt der jährliche Verbrauch an mineralischen Baustoffen in Deutschland bei 500 bis 600 Mio. t. Dem standen im Jahr 2008 mineralische Bauabfälle inklusive Bodenaushub im Umfang von 192 Mio. t gegenüber, die zu 89,5 % verwertet wurden. Damit wurde die vom Kreislaufwirtschaftsgesetz ab dem Jahr 2020 angestrebte Verwertungsquote von 70 % zum wiederholten Mal übertroffen.

Für das Recycling von Baurestmassen sind vor allem die Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle relevant, die jeweils auch Betonbruch umfassen. Im Jahr 2008 betrug das Aufkommen dieser Stoffe in Deutschland 84,7 Mio. t (Abbildung 21). Hiervon wurden 68,2 % verwertet. Die höchste Verwertungsquote (rund 95,6 %) wurde beim Straßenaufbruch erreicht, der in der Regel direkt vor Ort erneut als Baumaterial eingesetzt wird (Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2011).

Aus den verwerteten Materialien wurden 57,8 Mio. t Recyclingbaustoffe hergestellt. Dies bedeutet, dass sich trotz der hohen Verwertungsquote im Jahr 2008 nur 10,5 % (im Jahr 2000: 8,8 %) des gesamten Bedarfs an mineralischen Baustoffen unterschiedlicher Qualität mit Recyclingmaterial abdecken ließen. Hinzu kommt, dass sich maximal drei Viertel der Recyclingbaustoffe als Ersatz für qualifizierte primäre Mineralstoffe eigneten, der Rest hingegen nur für Erdbau und Verfüllungen (Schmidt Consult 2000, S. 79).

In Zukunft ist vor allem mit einer Zunahme von Betonbruch zu rechnen, weil Beton ab den 1920er Jahren verstärkt als Baustoff eingesetzt wurde und deshalb im Bauwerksbestand, der in den nächsten Jahren abgerissen bzw. rückgebaut wird, steigende Anteile hat (Abbildung 22). So besteht ein typisches Wohnhaus heute zu rund 45 Vol.-% aus Beton, der Anteil des Mauerwerks beträgt 30 %. Mörtel, Putz und Gips machen etwa 20 % aus. Ein Ingenieurbauwerk, wie z.B. eine Brücke, kann sogar zu rund 90 % aus Beton bestehen.

Betonbruch wird heute zu unterschiedlichen Recyclingprodukten aufbereitet, er kann z.B. als rezyklierte Gesteinskörnung für Beton oder für den Unterbau von Straßen verwendet werden. Betonbruch, der im Straßenbau anfällt, wird bereits heute nahezu vollständig verwertet; hier gilt auch

Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen als bewährt. Im Hochbau wird er dagegen bisher nur zurückhaltend eingesetzt: Eine detaillierte Bilanzierung der Stoffströme beim Hochbau ergab, dass hier vom gesamten Bauschutt knapp 4 % als Recyclingbaustoffe zurückgeführt wurden (Weil 2004). Die Ursache hierfür liegt in Unsicherheiten bezüglich der Materialqualität, die u.a. von Fremdstoffen ausgehen, die dem Ausgangsmaterial anhaften können. Die technischen Regeln und Randbedingungen zur Anwendung rezyklierter Gesteinskörnungen sind heute genormt (DIN 4226, Teil 100) und in der Richtlinie „Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton beschrieben.

Tatsächlich ergeben sich bei der Herstellung und Verarbeitung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen einige Besonderheiten, die mit dem Zementsteinanteil der wiederverwendeten Stoffe zusammenhängen. Die Porosität der rezyklierten Gesteinskörnungen führt im Vergleich zu primären Gesteinskörnungen zu einem erhöhten Wassersaugen, was bei der Herstellung des Frischbetons durch Vornässung berücksichtigt werden kann. Um vergleichbare Druckfestigkeiten im Festbeton zu erhalten, können bei Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen erhöhte Zementzugaben erforderlich sein. Da sich selbst in diesem Fall die Festbeton-

eigenschaften gegenüber Beton mit primären Gesteinskörnungen verändern können, hat der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton den Anteil an rezykliertem Material in der oben genannten Richtlinie begrenzt. Dass sich Betone mit rezyklierten Gesteinskörnungen wie Normalbetone einsetzen lassen, wird durch praktische Erfahrungen im Hochbau bestätigt. Beispielhaft können der Neubau der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück, das Hundertwasserhaus „Waldspirale“ in Darmstadt (12 000 m³ Recyclingbeton) oder das Pilotprojekt RC-Beton in Ludwigshafen genannt werden.

Nach der fünfstufigen Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die Vermeidung von Abfällen das oberste Ziel, an nächster Stelle steht deren Verwertung. Abfälle, die nicht verwertbar sind, müssen beseitigt werden. Übertragen auf Bauwerke ist danach am Ende einer Nutzungsphase zunächst deren Weiterverwendung bzw. Modernisierung zu prüfen. Allerdings haben sich die Bedürfnisse von Wirtschaft und Gesellschaft so verändert, dass Bauwerke, die in der Vergangenheit errichtet wurden, unter technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten häufig nicht mehr verwendbar sind. Auch eine Wiederverwendung einzelner Bauteile erfüllt in der Praxis nur selten die Anforderungen für den Einsatz in Neubauten. Daher dürfte auch in Zukunft der überwiegende Teil der Gebäude am Ende ihrer Nutzung abgerissen bzw. gezielt zurückgebaut werden.

Sowohl die Baustoffnachfrage wie auch der Anfall der Baurestmassen haben sich in den vergangenen Jahren im Rahmen konjunktureller Schwankungen weitgehend stabil entwickelt. Für die Zukunft ist aufgrund der Altersstruktur des Gebäude- und Infrastrukturbestandes ein Anstieg der jährlichen Baurestmassen möglich – das Recycling würde dann an Bedeutung gewinnen. Zudem ist eine weitere Steigerung der Verwertungsquote denkbar. So könnte der Marktanteil von Recyclingbaustoffen in der Zukunft weiter steigen. Allerdings dürfte der Marktanteil der meisten Recyclingbaustoffe im Hochbau selbst unter günstigen Voraussetzungen mittelfristig kaum mehr als 10 bis 15 % betragen (Schmidt Consult 2000, S. 80).

Damit diese Größenordnung überhaupt erreicht werden kann, dürfen die

abfallrechtlichen Rahmenbedingungen die Ziele der Kreislaufwirtschaft nicht konterkarieren. Außerdem müssen weitere Forschungen dazu beitragen, die Anforderungen an eine Wiederverwendung von Baumaterialien technisch-wissenschaftlich abzusichern; hieran beteiligen sich auch der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton und das Forschungsinstitut der Zementindustrie. Zudem kommt es darauf an, die Akzeptanz von Recyclingmaterialien in der Baustoffherstellung und in der Bauwirtschaft weiter zu steigern.

Arbeitsschutz durch chromatarmer Zemente

Lange Zeit musste dem Gesundheitsschutz für Bauarbeiter bei der Herstellung bzw. Vermarktung von Beton besondere Beachtung geschenkt werden. So erkrankten noch vor zwei Jahrzehnten durch die Verarbeitung von Zement bzw. zementgebundenen Baustoffen nach Angaben der Bau-Berufsgenossenschaften in Deutschland jedes Jahr über 300 Bauarbeiter an allergischer Chromatdermatitis („Maurerkrätze“). Auslöser dieser allergischen Hautkrankheit ist wasserlösliches Chromat, das ohne spezielle Maßnahmen zur Minderung bis zu maximal 20 ppm (engl.: parts per million, dt.: Teile pro Million) im Zement und in zementhaltigen Baustoffen enthalten ist. Bei manueller Verarbeitung und Hautkontakt konnte es später – meistens nach 10 bis 20 Jahren – bei hoher Hautempfindlichkeit zum Ausbruch allergischer Krankheitssymptome kommen. Das Chromat entsteht beim Brennen des Zementklinkers aus dem in der Natur verbreiteten Spurenelement Chrom, das in natürlichen Konzentrationen auch in den Rohstoffen Kalk und Ton enthalten ist. Nach heutigem Erkenntnisstand ist davon auszugehen, dass bei Konzentrationen von weniger als 2 ppm wasserlöslichen Chromats im Zement Erkrankungen der Haut weitgehend vermieden werden können.

Um die Herstellung und Verwendung chromatarmer Zemente, die entsprechend weniger als 2 ppm wasserlösliches Chromat enthalten, und die Vermeidung von direktem Hautkontakt mit feuchten zementhaltigen Baustoffen zu fördern, vereinbarten Vertreter der Zementindustrie, der weiterverarbeitenden Branchen, des Baustoff-Fachhandels, der Bauwirtschaft, der Bau-Berufsgenossenschaften, der IG

BAU sowie der Arbeitsschutzbehörden im Jahr 1998 eine Branchenregelung. Sie umfasst effektive Maßnahmen zur Bekämpfung der Maurerkrätze, die sich vor allem auf die Herstellung und den Einsatz chromatarmer Produkte für die überwiegend manuelle Verarbeitung (Sackzement, Werk trocken- und Werkfrischmörtel, bauchemische Produkte und Zweikammersilomörtel) sowie die Vermeidung von direktem Hautkontakt mit feuchten zementhaltigen Baustoffen beziehen. Zur Chromatreduzierung wird dem Zement überwiegend granulatförmiges Eisen(II)sulfat zugesetzt. Insgesamt waren die Maßnahmen sehr wirksam: Durch den flächendeckenden Einsatz von Chromatreduzierungsmitteln in der deutschen Zementindustrie seit dem Jahr 2000 konnten die Fälle von allergischer Chromatdermatitis stark reduziert werden. In der Statistik der Berufserkrankungen schwankt die Zahl der jährlichen Fälle etwa um 10. Den mit der Branchenregelung in Deutschland etablierten Ansatz zum Gesundheitsschutz in der Bauwirtschaft hat sich zwischenzeitlich auch die Europäische Union zu eigen gemacht; seit dem Jahr 2005 dürfen in den EU-Staaten auf der Basis einer entsprechenden EU-Richtlinie nur noch chromatarmer Zemente in Verkehr gebracht werden.

3.4 Anwendung zementgebundener Baustoffe

Die Auswahl und Anwendung von Baustoffen bzw. Bauweisen ist wesentlich für die Umsetzung von Zielen und Handlungsvorschlägen, wie sie bereits von der Enquete-Kommission des Bundestages im Jahr 1998 für das Beispielfeld des nachhaltigen Bauens und Wohnens entwickelt wurden. Für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes wurde dies beispielhaft im „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung umfassend konkretisiert (BMVBS 2011). Zementgebundene Baustoffe tragen aufgrund ihrer spezifischen Materialeigenschaften in vielerlei Hinsicht dazu bei, dass Ansprüche an nachhaltige Bauweisen erfüllt werden können. Dies gilt z.B. im Hinblick auf den Brandschutz: Beton bleibt unter Temperatureinwirkungen weitgehend fest, trägt nicht zur Brandlast bei, leitet den Brand nicht weiter, bildet keinen Rauch und setzt keine toxischen Gase frei. Im Folgenden kann nicht allen Aspekten der Anwendung zementgebundener Baustoffe nachge-

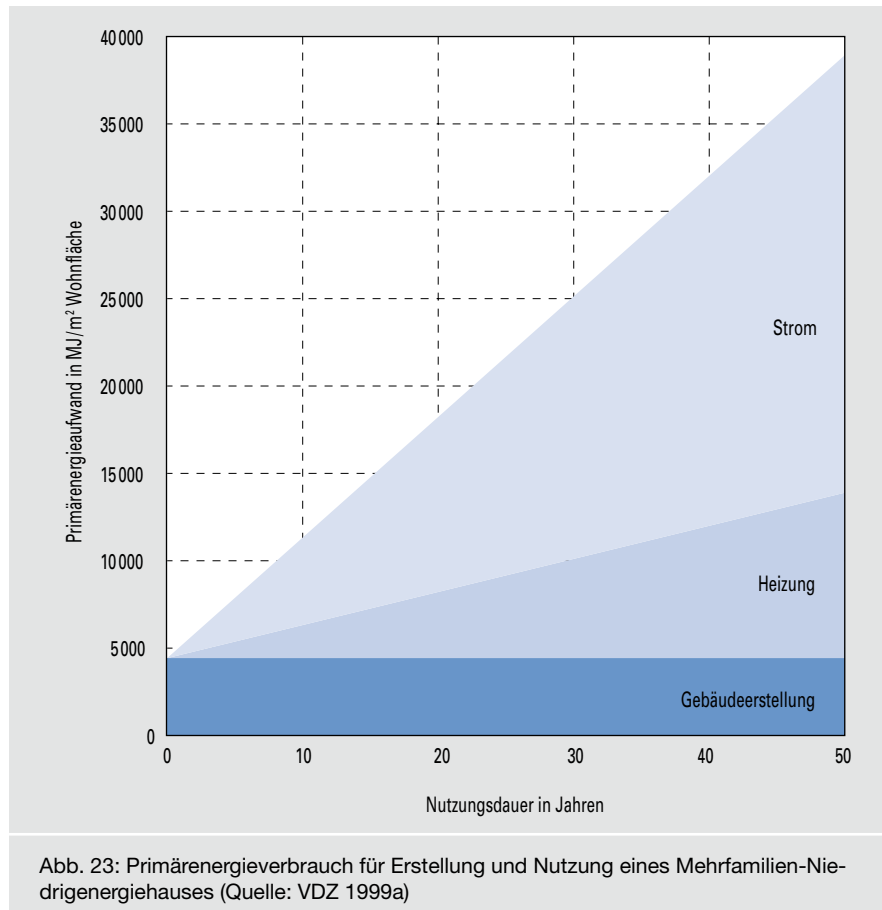
gangen werden – vielmehr erfolgt hier eine Darstellung bestimmter Schwerpunkte, die für die aktuelle Diskussion von nachhaltiger Entwicklung im Feld Bauen und Wohnen eine besondere Relevanz haben.

Wie die Enquete-Kommission 1998 in ihrem Abschlussbericht dargelegt hat, ist nachhaltige Entwicklung ein Lernprozess zwischen allen gesellschaftlichen Akteuren. Für den Baubereich, der durch Unikaterfertigung, differenzierte Nutzungsansprüche an die Gebäude und eine Vielzahl verschiedener Beteiligter am Bauprozess geprägt ist, gilt dies in besonderem Maße. Der Förderung einer entsprechenden Zusammenarbeit dienen auch verschiedene Aktivitäten des InformationsZentrums Beton und der nationalen und regionalen BetonMarketinggesellschaften. Beispiele hierfür sind die Weiterbildungsveranstaltungen für Architekten, Ingenieure und Hochschullehrer. Dazu kommen umfangreiche Veröffentlichungen und ein breit angelegtes Informationsangebot im Online-Bereich. Unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) wird der Architekturpreis Zukunft Wohnen ausgelobt (www.architekturpreis-zukunft-wohnen.de). Dabei geht es vor allem um den qualitätsvollen, kostengünstigen und zukunftsfähigen Wohnungsbau.

Ressourcenschonendes Bauen

Grundsätzlich ist jede Bautätigkeit und Gebäudenutzung – und damit auch jede Anwendung zementgebundener Baustoffe – mit einem Eingriff in die Umwelt verbunden. Das Umweltbundesamt versteht unter dem Begriff „Ökologisches Bauen“ eine Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs sowie der Belastung des Naturhaushaltes im gesamten Lebenszyklus von Gebäuden. Die sozialen und wirtschaftlichen Bedürfnisse beim Bauen und Wohnen sollen danach mit einem möglichst geringen Bauaufwand und Flächenverbrauch erreicht werden.

Flächensparendes Bauen ist keine isolierte Aufgabe bei der Gebäudeerrichtung, sondern muss im Zusammenhang mit notwendigen Infrastrukturmaßnahmen (z.B. bei der Erschließung der Grundstücke) und der Siedlungsentwicklung gesehen werden. Wichtig ist in diesem Zusam-

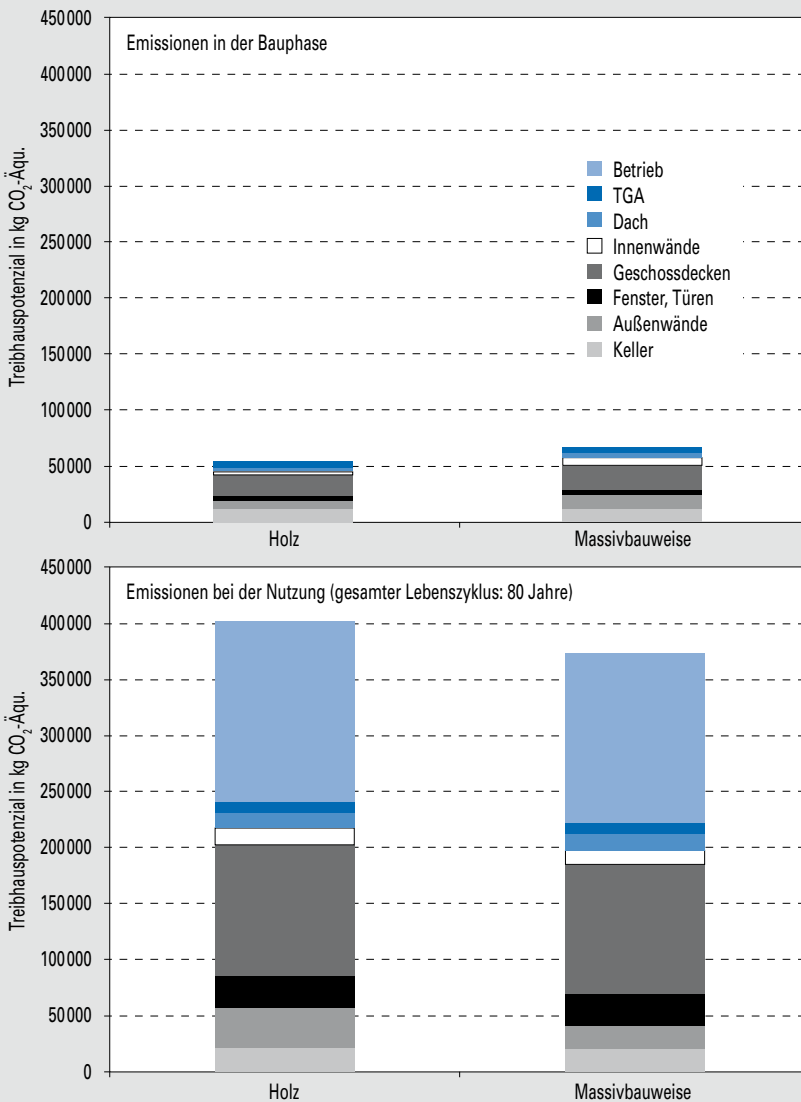


menhang eine Stärkung städtischer Strukturen und des Bestandsbaus. Die Zementindustrie hat ihrerseits zum Thema flächensparende Bauweisen praktische Modellprojekte gefördert, die auf die Schließung von Baulücken, die Nachverdichtung (z.B. durch Aufstockung vorhandener Gebäude) und das Flächenrecycling abzielen. Auch die Unterkellerung von Wohnhäusern kann diesem Ziel dienen.

Die Verwendung von Beton ermöglicht die Erstellung dauerhafter Bauwerke mit langen Nutzungsphasen. In den deutschen Berechnungs- und Bemessungsnormen wird eine technische Mindestlebensdauer von 50 Jahren angenommen, die in manchen Fällen (z.B. bei großen Tunnel- oder Brückenbauwerken) auch erheblich länger ausfallen kann. Grundsätzlich kann die tatsächliche Lebensdauer der Gebäude die angesetzte technische Lebensdauer deutlich übersteigen. Zemente bzw. zementgebundene Baustoffe zeichnen sich durch besonders lange Lebens- bzw. Nutzungsdauern aus, die die gesetzlich festgelegte Betrachtungsdauer von 50 Jahren bei Weitem überschreiten. In der Regel

ist beim Beton von einer Lebensdauer deutlich über 100 Jahren auszugehen (IEMB 2009). Es ist daher nicht überraschend, dass viele Gebäude nach einer Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten entkernt und auf Basis des bestehenden Rohbaus aus Beton umgerüstet werden.

Gegen Angriffe durch Korrosion, chemische Stoffe und mechanischen Verschleiß werden Bauwerke in Expositionsclassen eingeteilt und entsprechend bemessen. Langlebigkeit und Dauerhaftigkeit von Bauwerken müssen durch Wartung und Instandhaltung abgesichert werden, bei der Instandsetzung und Ertüchtigung wird u.a. Spritzbeton auf der Basis von Spezialzementen eingesetzt. Schäden an Betonbauwerken können auch durch eine unsachgemäße Verarbeitung zementgebundener Baustoffe bei der Gebäudeerstellung verursacht werden. Deshalb beteiligen sich die Zement- und Betonhersteller nicht nur an der Erarbeitung der technischen Regelwerke, sondern bieten im Rahmen von Weiterbildungsveranstaltungen detaillierte Informationen zur korrekten Anwendung zementgebundener Bau-



Treibhauspotenzial (kg CO ₂ -Äqu.)		
Bauphase	Holz	Massivbauweise
TGA	4712	4712
Dach	4255	4255
Innenwände	2210	6513
Geschossdecken	19169	22396
Fenster, Türen	5010	5010
Außenwände	6338	11558
Keller	12719	12719
Summe	54413	67163

Treibhauspotenzial (kg CO ₂ -Äqu.)		
Lebenszyklus 80 Jahre	Holz	Massivbauweise
Betrieb	160896	150970
TGA	10097	10097
Dach	13392	13392
Innenwände	14752	13492
Geschossdecken	116685	114984
Fenster, Türen	28691	28691
Außenwände	36839	20789
Keller	20584	20584
Summe	401936	372936

Abb. 24: Treibhauspotenzial von Gebäuden in Massiv- und Holzbauweise im Erstellungsjahr und über einen Lebenszyklus von 80 Jahren (Quelle: Graubner / Knauff 2008, S. 26)

Erweiterungsbau des Bundeslandwirtschaftsministeriums mit energieeffizienter Betonkerntemperierung

Der sechsgeschossige Erweiterungsbau des Bundeslandwirtschaftsministeriums in Berlin wurde mittels einer Betonkerntemperierung auf energieeffiziente Weise realisiert. Die Konstruktion des Erweiterungsbaus beruht überwiegend auf Beton: Untergeschoss, Kellerlichtschächte und geschlossene Wandscheiben bestehen ebenso wie Brüstungen und Decken aus Stahlbeton. Aus konstruktiven Gründen wurden im Erdgeschoss Unterzüge und raumhohe Betonstützen aus Stahlbeton errichtet.

Bei der hier realisierten Betonkerntemperierung wird die Gebäudestruktur dazu genutzt, thermische Energie zu speichern, um sie bei Bedarf wieder freizusetzen. Dazu werden die Geschossdecken mit Wärme- oder Kälteenergie geladen, indem warme oder kalte Trägerflüssigkeit durch Rohre zirkuliert, die im Bauteil eingelassen werden. Durch dieses Verfahren wird im Sommer eine Kühlung und im Winter eine Beheizung des Gebäudes erzielt. Die Erwärmung oder Kühlung der Geschossdecken ermöglichen eine gleichmäßige und als angenehm empfundene Temperierung der Raumluft, da auch die angrenzenden Wände zur Temperaturabgabe beitragen.

Auf eine Kälteanlage konnte beim Erweiterungsbau des Bundeslandwirtschaftsministeriums durch die Betonkerntemperierung verzichtet werden. Alleine durch einen Verdunstungskühler auf dem Dach, der die kühleren Außentemperaturen in der Nacht nutzt, kann das in den Rohren innerhalb der Geschossdecken fließende Wasser auf 16 bis 18 °C gehalten werden. Im Winter reicht eine Erwärmung des zirkulierenden Wassers auf 26 °C zur Beheizung aus; die hierzu notwendige Wärme wird energieeffizient mittels Niedertemperaturheizung via Fernwärme sichergestellt. Mit der Betonkerntemperierung konnten für die Heizung und Kühlung rund 40 % der üblicherweise benötigten Energie eingespart werden.

Quelle: Deutsches Ingenieurblatt (2009)

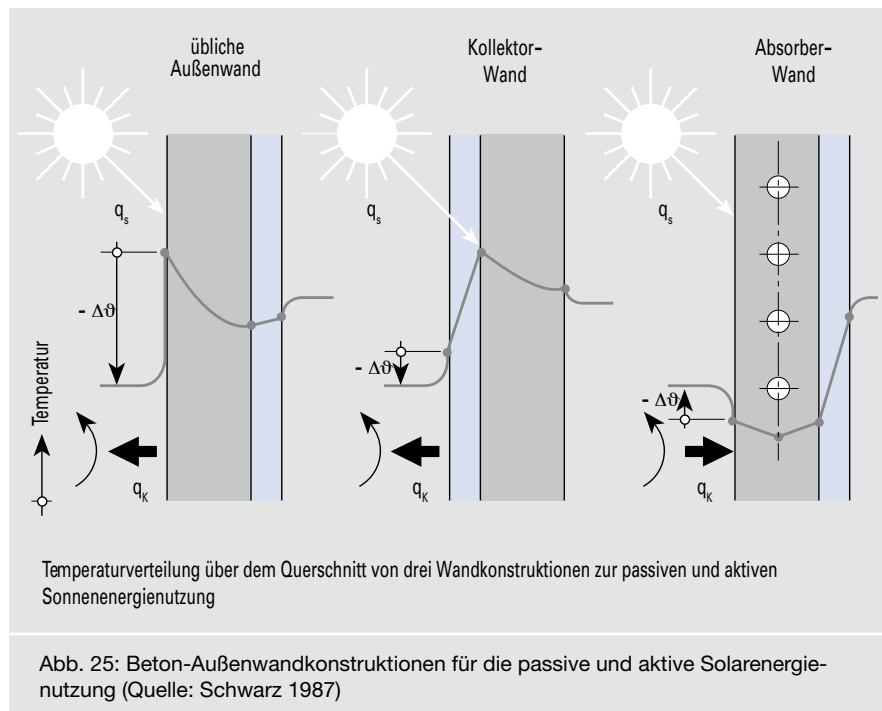
stoffe für Architekten, Bauherren und Bauunternehmen an.

Energieeinsparung und Klimaschutz

Umweltbelastungen sind gerade im Wohnungsbau nicht in erster Linie mit der Erstellung eines Bauwerkes einschließlich der Baustoffproduktion verbunden, sondern vor allem mit seiner Nutzung. Abbildung 23 verdeutlicht dies am Beispiel des Primärenergieaufwandes: Bereits wenige Jahre nach der Errichtung eines Gebäudes übersteigt der Primärenergieaufwand aufgrund des Stromverbrauchs und der Gebäudeheizung den Energieaufwand, der mit der Erstellung des Gebäudes verbunden ist. Daher sollten sich Entwurf und Planung eines Gebäudes stärker als bisher an der zukünftigen Nutzung orientieren – auch um Umweltwirkungen und Kosten in der Nutzungsphase (Energieverbrauch, CO₂-Emissionen etc.) zu minimieren.

Die Bedeutung einer solchen ganzheitlichen Betrachtung über die verschiedenen Lebenszyklusphasen hinweg verdeutlichen auch die Ergebnisse einer vergleichenden Ökobilanzierung von KfW-40-Energiesparhäusern in Massiv- und Holzbauweise, die an der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt wurde (Graubner/Knauff 2008). Nach den Ergebnissen der Studie sind die beiden Bauweisen in ökologischer Hinsicht über eine Gebäudenutzungsdauer von 80 Jahren, wie sie vom Bundesbauministerium für nachhaltiges Bauen angesetzt werden, gleichwertig. Im Hinblick auf das Treibhauspotenzial ist die Massivbauweise günstiger, obwohl die Errichtung des Massivbaus zunächst mehr Treibhausgasemissionen verursacht (Abbildung 24). Über die Nutzungsdauer von 80 Jahren wird dieser Effekt jedoch mehr als wettgemacht, weil weitaus weniger Aufwand für die Instandsetzung des Gebäudes in Massivbauweise anfällt. Die Studie bestätigt auch die große Bedeutung der Auswahl von Ausbaumaterialien, der Betriebsstoffe, der Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaterialien sowie des Nutzerverhaltens für eine Optimierung der ökologischen Gebäudepotenziale.

Der Heizenergiebedarf ist in starkem Maße von bauphysikalischen Eigenschaften und der energetischen Auslegung abhängig. Diese Aspekte gewinnen deshalb heute bei der Planung von Bauwerken und der Auswahl der



Verwaltungsgebäude mit Schräglage zur Energieeinsparung und Thermoregulierung

Das Verwaltungsgebäude am E.ON-Kraftwerk Zolling bei München wurde mit einer Fassadenneigung von genau 26 Grad nach Süden gebaut. Das Gebäudekonzept wurde damit konsequent für eine Verringerung des Energiebedarfs und die effiziente Nutzung des Tageslichtes ausgelegt. Mit der Neigung und Ausrichtung des Gebäudes kann das blendfreie Tageslicht im Norden vermehrt genutzt und gleichzeitig der Wärmeeintrag im Süden stark reduziert werden. Die Wärmeeinstrahlung, die im Sommer (bei hohem Sonnenstand) flach auf die geneigte Verglasung trifft, wird nahezu komplett reflektiert, während die tief stehende Wintersonne in die Räume gelangen kann. Im Ergebnis bedeutet das eine geringere Kühllast im Sommer und die Gewinnung von Wärme durch das einfallende Sonnenlicht im Winter.

Möglich wurde die „Schräglage“ des Gebäudes durch die Konstruktion: Die Gründung erfolgte aufgrund der anspruchsvollen Bodenverhältnisse mittels Bohrpfählen aus Stahlbeton und einer 30 cm dicken Bodenplatte aus wasserundurchlässigem Beton. Das Tragwerk des Gebäudes (Decken und Wände) ist in Sichtbeton entstanden. Die Hauptlast des Gebäudes tragen zwei auf der Bodenplatte verankerte, um 26 Grad geneigte Erschließungskerne. Die Neigung der Fassaden stellte besondere Herausforderungen an die Herstellung der Stahlbetondecken. Die z-förmig angelegten Deckenquerschnitte überspannen durch Unter- und Überzüge große Stützweiten, so dass auf Stützpfeiler verzichtet werden konnte.

Die Ort beton-Deckenkonstruktion bietet zudem den Vorteil, dass sie in das energetische Gebäudekonzept eingebunden wurde: Der sommerliche Schutz vor Wärme erfolgt durch deckenintegrierte Kühlregister, die die Regulierung der Raumtemperatur durch Zwischenspeicherung von Nachtkälte in den Betondecken (Bauteilkühlung) unterstützt. Die Register wurden oberflächennah in die Deckenschalung einbetoniert. Der Wärmeaustausch erfolgt direkt durch den Beton der Decke und nutzt so die hervorragenden Speichereigenschaften des Betons. Auf diese Weise kann der Energie- und Kühlaufwand erheblich reduziert werden.

Quelle: Betonmarketing Deutschland 2008

eingesetzten Baumaterialien neben der architektonischen Gestaltung und der Statik eine immer größere Bedeutung. Eine große Rolle spielt dabei die Wärmeleitfähigkeit der Gebäudehülle. Im Vergleich zu anderen konstruktiven Wandbaustoffen hat Normalbeton hier zunächst Nachteile, denn als Folge seiner hohen Dichte leitet er Wärme besonders gut. Durch den Einsatz moderner Wärmedämmungen und die konsequente Vermeidung von Wärmebrücken lassen sich mit dem Wandbaustoff Beton aber Dämmwerte erzielen, die hinter Wandsystemen auf der Basis anderer konstruktiver Baustoffe nicht zurückstehen. Leichtbetonbauteile weisen durch leichte Gesteinskörnungen wie Bims oder Blähton bzw. durch Porenbeton („Aufschäumen“ eines Gemisches aus Sand und Bindemitteln) sogar besonders gute Dämmeigenschaften auf. Leichtbeton wird vor allem zur Herstellung von Wänden eingesetzt. Die Möglichkeiten zur Minimierung der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle bei Massivbauweise werden durch die Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsprojektes „Wärmebrücken- und Konstruktionsatlas für den Massivbau“ untermauert, mit dem eine beispiellose Zusammenstellung aller für das Bauen mit Beton relevanten Wärmebrückenanschlüsse aufgebaut wurde (www.planungsatlas-hochbau.de, Willems u.a. 2005). Die Ergebnisse bieten eine wertvolle Planungshilfe für Architekten und Ingenieure und zeigen, dass Wärmebrücken auch mit dem Baustoff Beton wirkungsvoll minimiert werden können.

Im Übrigen bedingt die hohe Masse von Beton nicht nur eine hohe Wärmeleitfähigkeit, sondern führt auch zu einer hohen Wärmespeichereigenschaft, die in Gebäuden genutzt werden kann, um den Bedarf an Heizenergie zu verringern. Dies ist durch die passive Nutzung von Sonnenenergie möglich: Hierzu eignen sich Beton-Kollektorzellen, die auf der Bauteilaußenseite mit einer transparenten, strahlungsdurchlässigen Dämmschicht (so genannte transparente Wärmedämmung) ausgestattet sind. Durch Verlagerung der Strahlungsabsorption in tiefere Bauschichten entstehen geringere Wärmeverluste und höhere Wärmegewinne für den Raum (vgl. Abbildung 25). Mit Geschossdecken und Wänden aus Beton lassen sich außerdem energieeffiziente kombinierte Heiz- und Kühlsysteme realisieren, die auf eine Temperierung von Betonbauteilen set-



Abbildung 26: Beton als leistungsstarker Baustoff auch für besondere Anwendungen wie Faultürme in Kläranlagen

Foto: HeidelbergCement AG/Wolfgang Seitz

zen und hierbei mit geringen Temperaturen arbeiten.

Neben dem energiesparenden Bauen im Niedrig- und Passivhausstandard kann mit Beton auch energiegewinnend gebaut werden. Dazu lassen sich Beton-Massivabsorber nutzen, die als Wärmequellen für Wärmepumpen eingesetzt werden. Massivabsorber sind Außenbauteile aus Beton, die im Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft, dem Erdreich oder dem Grundwasser stehen. Die Umgebungswärme wird von den Betonbauteilen aufgenommen, an ein in den Absorber einbetoniertes Rohrsystem für Flüssigkeitskreislauf abgegeben und einer Wärmepumpe zugeführt. Die Flüssigkeit in den Kunststoffschlangen wird dann in der Wärmepumpe abgekühlt und in den Betonabsorber eingeleitet, wo sie wieder aufgewärmt wird. Betonabsorber können als Betonfertigteile eine Doppelfunktion besitzen (z.B. als Wand und als Wärmequelle), die kostendämpfend wirkt. In Kombination mit einer Wärmepumpe wird der Ausstoß von Treibhausgasen gegenüber konventionellen Heizungssystemen deutlich verringert. Die Speichereigenschaft von Beton lässt sich zudem zur langfristigen Speicherung von Sonnenenergie nutzen, die damit über ihren direkten Anfall hinaus nutzbar wird. Die Kombination von Langzeitwärmespeicher aus Beton und solarthermischer Wärmegewinnung wurde bei mehreren Siedlungsprojekten erprobt.

Anwendungen für den Umweltschutz

Zementgebundene Baustoffe werden vielfach für Bauten und Objekte benötigt, die dem Umweltschutz dienen. Zum anderen können Betone auch auf spezielle Anforderungen im Umweltschutz zugeschnitten werden. Ein Beispiel hierfür sind photokatalytische Betonprodukte, die durch den Zusatz kleinster Partikel von Titandioxid (TiO_2) im Zement erzeugt werden und so zur Luftverbesserung beitragen. Hierzu können beispielsweise Dachsteine, Fassadenelemente, Pflastersteine, Fahrbahndecken oder Lärmschutzwände aus Beton genutzt werden. Die Titandioxid-Kristalle im Beton wirken dauerhaft als Photokatalysator und sorgen mit Hilfe des UV-A-Anteils im Sonnenlicht für die chemische Umwandlung von Umweltschadstoffen wie Stickoxiden (NO_x) zu unbedenklichen Substanzen; die Gebrauchseigenschaften des Zements oder Betons werden dadurch nicht beeinflusst. Aus Stickoxiden in der Luft bildet sich bei starker Sonneneinstrahlung – typischerweise im Sommer – bodennahes Ozon, der wichtigste Bestandteil des sogenannten Sommersmogs. Die Stickoxid-Emissionen stammen vor allem aus Fahrzeugen und Feuerungsanlagen (z.B. Heizungen) und lassen sich durch Filter nicht zurückhalten. Feldversuche mit photokatalytischen Fahrbahndecken in verschiedenen Städten haben mittlerweile die

wirksame Minderung der schädlichen NO_x -Konzentrationen belegt (Hüsken et al. 2009, Bolte/Flassak 2012). Photokatalytische Betonprodukte sind inzwischen marktreif und werden in der Praxis zunehmend eingesetzt. Beton mit Titandioxid-Zusatz kann dabei auch in Verbindung mit der Whitetopping-Bauweise verwendet werden. Whitetopping ist eine Technik, bei der anstelle einer kompletten Erneuerung einer Fahrbahn nur die obere Schicht des Asphalts abgefräst wird. Das Ergebnis ist ein stabiler Fahrbahnbelag, der bei Einsatz eines photokatalytischen Betons die Luftschadstoffe reduziert.

Ein weiteres Beispiel für umweltschutztechnische Anwendungen von zementgebundenen Baustoffen sind Anlagen für die Wasserwirtschaft. Der Umgang mit Wasser – dem wichtigsten Lebensmittel des Menschen – ist ein wichtiges Thema der nachhaltigen Entwicklung. Ein erstes Problemfeld ist die Unterbrechung von natürlichen Wasserkreisläufen: Regenwasser wird durch die zunehmende Versiegelung des Bodens immer stärker daran gehindert, einen Weg ins Grundwasser zu finden, und fließt stattdessen ungebremst in die Abwasserkanäle. Die Folge ist u.a. eine Absenkung des Grundwasserspiegels. Aus diesem Grund gewinnen Maßnahmen zur Entsiegelung von bebauten Flächen, zur gezielten Versickerung, zur verzögerten Ableitung in ein Oberflächengewässer und zur Nutzung von Brauchwasser an Bedeutung. Solche Maßnahmen für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser sind ohne Betonprodukte kaum denkbar. Dies gilt für die gezielte Versickerung von Regenwasser (z.B. Dränbetonsteine aus haufwerksporigem Material), für die Trinkwassereinsparung durch Speicherung von Brauchwasser (z.B. in Betonzisternen) oder für die Sicherung einer flächendeckenden Versorgung mit Trinkwasser.

In Deutschland ist Trinkwasser zwar insgesamt ausreichend verfügbar, dennoch gibt es auch im Inland regionale Wassermangelgebiete. Mit Fernversorgungsleitungen wird ein Ausgleich zwischen Wassermangel- und -überschussgebieten hergestellt. Das notwendige Wassermanagement umfasst somit die Gewinnung, Aufbereitung, Sammlung, Lagerung und Verteilung des Trinkwassers. Durch die Lagerung von Trinkwasser in speziellen Betonbehältern und den Wassertransport in Hochdruckrohren, die mit Beton

ausgekleidet sind, wird ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Wasserversorgung geleistet.

Das deutsche Abwassersystem ist jedoch sanierungsbedürftig: Nach einer Erhebung der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) besteht bei rund 17 % der Kanalhaltungen – also der Kanalstrecken zwischen zwei Schächten – im öffentlichen Kanalnetz kurz- oder mittelfristiger Sanierungsbedarf (DWA 2010). Bereits 1998 hatte eine Studie des Bundesumweltministeriums ergeben, dass durch Schäden im Abwasserleitungssystem jährlich 300 bis 500 Mio. m^3 ungeklärtes Wasser versickern (Bundesumweltministerium 1998). Für die Sanierung der Abwasserentsorgung ergibt sich aus der Erhebung des DWA ein Investitionsbedarf von etwa 45 Mrd. €. Die Aufgabe besteht also darin, Oberflächen- und Grundwasser durch Neubau- und Sanierungsmaßnahmen zu schützen – und dies aufgrund der ohnehin schon hohen Gebühren zu niedrigeren Kosten als bisher. Vorgefertigte Betonteile tragen zur Kostensenkung und zum praktischen Umweltschutz in der Wasserversorgung und -entsorgung bei.

Auch die Klärung von Abwässern wäre ohne den Einsatz von Beton kaum denkbar (Abbildung 26). Dies gilt sowohl für Großkläranlagen, deren Becken aus Beton hergestellt werden, als auch für dezentrale Kleinkläranlagen, die heute eine Reinigung der Abwässer von Wohngebäuden und Betrieben ohne Anschluss an die Abwasserkanalisation ermöglichen. Untersuchungen haben ergeben, dass Betonrohre und -bauteile für die Anforderungen, wie sie im Abwasserbereich bestehen (Tragfähigkeit, Formstabilität, Lagestabilität, Dichtigkeit, Abriebwiderstand, chemischer Widerstand, Begehbarkeit), grundsätzlich die erforderliche Leistungsfähigkeit aufweisen. Schadensanalysen bei Kanalsystemen zeigen, dass sich die häufigsten Mängel auf Fehler bei den Zuläufen, Lageungenauigkeiten und erhöhte Belastungen mit Rissbildung beziehen. Durch spezielle Zemente und gezielte Betonzusammensetzungen (z.B. Hochleistungsbetone) können auch im Verbund mit anderen Werkstoffen Rohre hergestellt werden, die bei besonderen Beanspruchungen eine erhöhte Leistungsfähigkeit besitzen.

Ein weiteres umweltschutztechnisches Anwendungsfeld für zementgebundene Baustoffe ist die Deponietechnik und das Flächenrecycling, wo sie einen wesentlichen Beitrag zur Immobilisierung von Schadstoffen leisten. Abfalldeponien müssen langfristig umweltsicher – d.h. dicht, druckfest, beständig und erosionssicher – sein, bei ihrer Errichtung ist der Schutz des Grundwassers eine der wichtigsten Anforderungen. Schadstoffeinträge in Boden oder Wasser können durch Abdichtungen und Einkapselungen mit Beton bzw. durch Immobilisierung auf Zementbasis verhindert werden. In der Deponietechnik werden Betonprodukte in verschiedenen Bereichen eingesetzt: als Wände, Schächte, Böden und Abdeckungen, zur Ableitung der Sickerwässer, zur Sammlung und Klärung in Becken sowie als Verkehrsflächen, die einer hohen Beanspruchung standhalten.

Infrastruktur für nachhaltige Mobilität

Der Wasserschutz ist auch ein wichtiges Handlungsfeld im Verkehrsbau. Dabei geht es nicht nur um die Durchlässigkeit (s.o.) von Verkehrsflächen. Vielmehr ist in manchen Fällen (z.B. an Tankstellen) eine flüssigkeitsdichte Versiegelung notwendig, um das Grundwasser vor Verunreinigungen zu schützen. Solche Versiegelungen lassen sich mit flüssigkeitsdichtem Beton (FD-Beton) errichten, der mit Ortbeton oder mit Betonpflastersystemen ausgeführt wird, bei denen spezielles Fugenmaterial zum Einsatz kommt. Der Unterbau besteht z.B. aus hydraulisch gebundenen Tragschichten (HGT). Rinnen, Absenksteine, Barrieren, Öl- und Benzinabscheider aus Beton verhindern eine Ausbreitung der Schadstoffe und ihren Eintritt in das Grundwasser oder in das Kanalsystem.

Ein weiteres wichtiges Handlungsfeld beim Verkehrsbau ist der Lärmschutz. Für Lärmschutzbauwerke bietet Beton verschiedene bewährte Problemlösungen. Hierzu gehören Stahlbetonkonstruktionen mit haufwerksporiger, schallabsorbierender Betonvorsatzschale oder die hochabsorbierende Lärmschutzwand aus Beton. Neben einer Abschirmung von Lärm ist in den vergangenen Jahren immer mehr die Verringerung der Lärmemissionen durch Fahrzeuge in den Fokus des Schutzes vor Verkehrslärm gerückt. Forschungsergebnisse zeigen, dass

sich durch Beton auch Rollgeräusche vermeiden lassen. Bei weniger stark frequentierten Flächen wie Geh- und Radwegen können Betonverbundpflaster oder Betonplatten eingesetzt werden und bei Geschwindigkeiten von 20 bis 30 km/h einen wirksamen Beitrag zur Lärmbekämpfung leisten. Das im Jahr 2001 gestartete Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr“ (LEISTRA), das von der Bundesanstalt für Straßenwesen koordiniert wird und in dem u.a. Reifenhersteller, Automobilindustrie sowie Zement-, Beton- und Asphalthersteller kooperieren, ist vor allem auf die Geräuschemission an der wichtigsten Lärmquelle, der Kontaktfläche von Reifen und Fahrbahn, ausgerichtet. Unter Beteiligung des Forschungsinstitutes der Zementindustrie wurden dabei leise Fahrbahndecken aus offenporigem Dränbeton weiterentwickelt, auf einer Bundesstraße erprobt und dabei deren Potenzial für eine deutliche Geräuschkürzung belegt. Weitere Entwicklungsmaßnahmen und Langzeiterprobungen leiser Fahrbahnoberflächen erfolgen gegenwärtig in der dritten Phase des Verbundforschungsprojektes LEISTRA3 mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Der Bau von Erprobungsstrecken wird durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unterstützt (www.leistra3.de).

Betonfahrbahnen zeichnen sich durch hohe Tragfähigkeit, Verformungsstabilität und Helligkeit (Verbesserung der Sichtverhältnisse, Minderung des Energieaufwandes für Beleuchtung) aus (Abbildung 27). Sie haben sich daher auch im schienengebundenen Verkehr bewährt. Hochgeschwindigkeitssysteme im Eisenbahnverkehr, wie beispielsweise die ICE-Strecke Leipzig-Erfurt, stellen erhebliche Anforderungen an den Fahrweg, die durch die Feste Fahrbahn erfüllt werden. Inzwischen gehört die Feste Fahrbahn zum Standard. Den im Vergleich zur konventionellen Bauweise höheren Investitionskosten stehen wirtschaftliche Vorteile in Form niedrigerer Instandhaltungskosten, geringerem Fahrzeugverschleiß und verbesserter Betriebssicherheit gegenüber; der verringerte Einsatz von Herbiziden zur Vegetationsbeseitigung dient der Umwelt.

Das Verkehrsaufkommen in Deutschland wird in den nächsten Jahren stark anwachsen. Das Volumen des Straßengüterverkehrs hat bereits jetzt die



Abbildung 27: Reparaturen von Fahrbahndecken mit Hilfe von Spezialbetonen auf Basis schnell erhärtender Zemente

Foto: HeidelbergCement AG /Steffen Fuchs

Was ist ein A-Modell ?

Beim A-Modell übernimmt der private Partner den Ausbau von Autobahnabschnitten, deren bauliche und betriebliche Erhaltung sowie die Finanzierung über einen Zeitraum von 30 Jahren. Nach Ablauf der Vertragszeit gehen die Aufgabenverantwortung und der Streckenabschnitt in einem vereinbarten Zustand wieder auf Bund und Land über. Das A-Modell steht in engem Zusammenhang mit der Einführung der streckenbezogenen Maut für schwere Lkw im Jahr 2005: Die Refinanzierung des privaten Partners erfolgt aus dem Gebührenaufkommen aus der Lkw-Maut auf dem jeweiligen Streckenabschnitt auf Basis eines verkehrsbezogenen Vergütungsmodells. Diese Gebühren werden durch den Bund erhoben und an den jeweiligen privaten Partner weitergeleitet. Darüber hinaus kann der private Partner eine Anschubfinanzierung aus dem öffentlichen Haushalt erhalten, wenn die Einnahmen aus der weitergeleiteten Lkw-Maut allein nicht zur Refinanzierung der Investition ausreichen.

Durch die Anwendung des A-Modells lassen sich zeitnah Autobahnabschnitte ausbauen, die derzeit nicht über den staatlichen Haushalt finanziert werden können, indem Autobahnnutzer durch die Verwendung der Einnahmen aus der Lkw-Maut an der Finanzierung beteiligt werden. Und auch während der Betriebsphase wird der Staat von dem Aufwand für den Betrieb und die Erhaltung der Strecken entlastet. Ein schlechter Zustand der betreffenden Autobahnabschnitte, wie er oft bei öffentlich betriebenen Strecken aufgrund von Finanzierungsengpässen anzutreffen ist, wird zuverlässig vermieden, weil die privaten Investoren die vertraglich festgelegten Qualitätsstandards einhalten und sichern müssen. Durch die Integration der Kostenverantwortung für Bau und Betrieb fördert das A-Modell den effizienten Mitteleinsatz über die Lebenszyklusphasen.

Quelle: VIFG Verkehrsinfrastrukturfinanzierungsgesellschaft mbH

Werte überschritten, die der Bundesverkehrswegeplan erst für 2015 prognostiziert hatte. Nach Schätzungen der Bundesregierung wird der Güterverkehr bis 2025 um 55 % gegenüber 2010 (von 603,7 auf 936,5 Mrd. tkm) ansteigen. Um dieses Wachstum auf-

zufangen, sind ausreichende Kapazitäten der einzelnen Verkehrsträger sowie deren intelligente Kombination erforderlich, wobei ein Schwerpunkt auf der Beseitigung von Engpässen im Straßennetz liegen muss. Zusätzlich müssen Raumplanung und Städte-

bau der Zersiedelung entgegenwirken: Wohnen, Arbeiten und Freizeit sollten so miteinander vernetzt werden, dass unnötige Verkehre vermieden werden.

Seit vielen Jahren sind die Verkehrswege in Deutschland deutlich unterfinanziert. Die Verkehrsinfrastruktur hat zwischen 1980 und 2008 schon ein Achtel ihres Wertes verloren. Mit Ausnahme der Jahre 2009 und 2010 hat der Bund für Ausbau und Erhalt der Verkehrsnetze weniger als 10 Mrd. € pro Jahr investiert. Der Bedarf liegt laut Bundesregierung bei Straße, Schiene und Wasserstraße aber bei 14 Mrd. € pro Jahr. Ein Beispiel für die Unterfinanzierung ist der schlechte Zustand vieler Brücken, der zunehmend den Verkehr in Deutschland behindert, wie ein Gutachten der Bau- und Baustoffindustrie gezeigt hat. Schon jetzt sind viele Brücken an Autobahnen und Bundesfernstraßen für schwere Lkw nur mit erheblichen Einschränkungen befahrbar. Betroffen sind vor allem die Hauptverkehrsachsen, wie beispielsweise die Bundesautobahnen A 45, A 3, A 6 oder A 9. Allein für die Ertüchtigung der Brücken sind in den nächsten zehn Jahren rund 6 bis 7 Mrd. € notwendig (Naumann 2011).

Zugleich sind die Anforderungen an eine qualitativ hochwertige Infrastruktur, etwa beim Lärmschutz, gestiegen. Um die wichtigsten Aus- und Neubauvorhaben des aktuellen Bedarfsplans bis 2025 für die Schienenwege zu finanzieren, sind schätzungsweise 400 bis 600 Mio. € pro Jahr zusätzlich aus dem Bundeshaushalt notwendig. Dazu zählen für den Schienengüterverkehr wichtige Strecken wie der Ausbau der Rheintalschiene. Auch die Wasserstraßeninfrastruktur befindet sich insgesamt in einem schlechten Unterhaltungszustand. Das gilt insbesondere für die Schleusen.

Ein möglicher Ansatz zur Auflösung des öffentlichen Investitionsstaus und zur Aufstockung der Fernstraßeninvestitionen wäre eine Umstellung der Verkehrswegefinanzierung von der Haushalts- auf eine Nutzerfinanzierung sowie auf eine verstärkte Mobilisierung privaten Kapitals. Dazu sind stabile Finanzierungskreisläufe unabdingbar, in denen die Mauteinnahmen zweckgebunden für Infrastrukturinvestitionen verwendet werden.

Ein weiterer Baustein zur zukünftigen Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur-

finanzierung könnten Öffentlich-Private-Partnerschaften (ÖPP) werden. Die Zementindustrie unterstützt deshalb gemeinsam mit der Bau- und Baustoffindustrie das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in seiner Absicht, das privatwirtschaftliche Ausbauprogramm für Bundesautobahnen (A-Modelle) zu forcieren. Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, dass A-Modelle auch geeignet sind, die Umsetzung von Autobahnprojekten zu beschleunigen. Überdies erlauben es solche Projekte, eine überdurchschnittlich hohe Bauqualität zu garantieren, Kosteneinsparungen im Betrieb zu erzielen sowie die Projektkosten innerhalb des gesetzten Kostenrahmens zu halten (BVBS 2008).

Eine große Herausforderung für den Infrastrukturausbau ist jedoch zunehmend die Akzeptanz von Großprojekten. Für die Zement- und Baustoffindustrie ist daher im Hinblick auf die Modernisierung der Infrastruktur die Vereinheitlichung und Beschleunigung von Planfeststellungsverfahren – eine angemessene Beteiligung der Bürger vorausgesetzt – von direkter Bedeutung.

4 Zusammenfassung und Resümee

Nachhaltigkeit als Leitbild für die Zusammenarbeit der Sozialpartner

Als zentraler gemeinsamer Nenner der gesellschafts- und umweltpolitischen Diskussion gilt seit einigen Jahren das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung (sustainable development). Darunter wird eine Entwicklung verstanden, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. Ursprünglich aus der Forstwirtschaft stammend, ist Nachhaltigkeit in der Zwischenzeit zu einem zentralen gesellschaftspolitischen Ziel auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene geworden. Viele politische Maßnahmen werden von diesem Ziel abgeleitet oder daran gemessen, ob ihre Wirkung mit dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung vereinbar ist. So wirkt das Leitbild heute ganz praktisch.

Der Wirtschaft kommt eine zentrale Bedeutung für die nachhaltige Entwicklung zu. Dies gilt in besonderem Maße auch für die Herstellung und den Verbrauch von Zement bzw. zementgebundenen Baustoffen. Der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) und die Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zementindustrie (SPADZ) sowie die Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (IG BAU) und die Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) haben aus diesem Grund im Jahr 2002 eine Dokumentation der Beiträge der Zementindustrie zur nachhaltigen Entwicklung vorgelegt und eine Initiative für Nachhaltigkeit in der Zementindustrie ins Leben gerufen (Initiative für Nachhaltigkeit 2002). Zehn Jahre später zeigt die hier vorliegende aktualisierte Fassung der Dokumentation, wie sich die Branche im Hinblick auf das Leitbild Nachhaltigkeit weiterentwickelt hat.

Nach Auffassung der Sozialpartner kommt es vor allem darauf an, ökologische, ökonomische und soziale Bedürfnisse besser als bisher abzustimmen – konkrete Maßnahmen werden daher diesen drei Dimensionen nicht isoliert zugeordnet, sondern entlang der branchenspezifischen Wertschöpfungskette (Rohstoffgewinnung, Ze-

mentproduktion, Betonherstellung, Anwendung zementgebundener Baustoffe, Betonrecycling) im Zusammenhang dargestellt und dokumentiert. Auf den einzelnen Wertschöpfungsstufen sollen die drei Zieldimensionen durch eine Bestimmung von Synergien und durch Hinweise zur Auflösung von faktischen oder vermeintlichen Widersprüchen integriert werden. Diesem Ansatz folgte auch die Arbeit an den vier Schwerpunktthemen, die im Jahr 2002 in das Zentrum der Initiative für Nachhaltigkeit in der Zementindustrie gestellt wurden:

- integriertes Rohstoff- und Natur-schutzmanagement,
- Einsatz sekundärer Stoffe,
- Gestaltung nachhaltiger Transport- und Logistikketten,
- Weiterbildung der Beschäftigten.

Die Sozialpartner verstehen nachhaltige Entwicklung als kontinuierlichen Such- und Lernprozess: Sie setzen auf einen Nachhaltigkeitswettbewerb im Sinne eines Ringens um die beste Lösung, ausgehend von den eigenen Handlungsmöglichkeiten der Unternehmen und ihrer Beschäftigten und vorgebracht durch Dialog. Wichtig sind für die nachhaltige Entwicklung der Zementindustrie vor allem praktikable Schritte zur Steigerung der Ressourcenproduktivität und die Stärkung von Investitionen als Basis der Produkt- und Prozessinnovation. Daraus folgt zugleich, dass die unterschiedlichen Entwicklungsoptionen, die mit bestimmten industriellen Produkten und Produktionsverfahren verbunden sind, nicht vorschnell verschüttet werden dürfen.

Dem Charakter eines Such- und Lernprozesses im Dialog entsprechend, wurden die oben genannten Themen im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit vor allem auf einer breiten Basis in der Branche und mit Beteiligung von externen Stakeholdern bearbeitet. Hierzu dienten zahlreiche Konferenzen, Workshops und Projektbeiräte. Gerade der Dialog mit diesen externen Stakeholdern, die insbesondere aus Politik und Verwaltungen, Naturschutzverbänden und Wissenschaft kamen, erwies sich als ausgesprochen fruchtbar und hat zur Bearbeitung der Schwerpunktthemen viele wertvolle Impulse beigetragen.

Branchencharakteristika und Handlungsrahmen

In Deutschland wurde im Jahr 2011 in 54 Betrieben Zement hergestellt, die Zahl der Mitarbeiter betrug 7 657. Die Bauwirtschaft ist der fast ausschließliche Anwendungsbereich für Zement. Trotz schwankender Baukonjunktur und ihrer zunehmenden Internationalisierung hat die Zementindustrie kontinuierlich in Deutschland investiert: Der Anteil der Bruttoanlageinvestitionen am Umsatz lag in den letzten Jahren bei über 7 %. Die Investitionen dienen nicht nur der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung, sondern führen auch zu einer Steigerung der Umweltverträglichkeit – so beträgt der Anteil von Umweltschutzmaßnahmen bei Neuinvestitionen in der Zementindustrie rund 20 %.

Die Zementindustrie wird vor allem durch drei Merkmale charakterisiert: Sie ist erstens sehr kapitalintensiv – Investitionsprojekte amortisieren sich nur langfristig und können nur dann realisiert werden, wenn die Rohstoffversorgung nachhaltig gesichert ist und die Produktionsbedingungen in Deutschland auch langfristig wettbewerbsfähig sind. Die Zementindustrie ist zweitens standortgebunden – sie ist auf Rohstofflagerstätten in unmittelbarer Nähe der Werke angewiesen. Zudem ist die Versorgung mit heimischen Rohstoffen nicht nur mit ökonomischen, sondern auch mit ökologischen Vorteilen (Vermeidung von Transporten) verbunden. Drittens ist die Zementindustrie rohstoff- und energieintensiv – für die Unternehmen ist die Schonung der Ressourcen und die Steigerung der Energieeffizienz schon alleine aus betriebswirtschaftlichen Gründen seit jeher ein wichtiges Handlungsfeld.

In Deutschland weist die Zementindustrie im Unterschied zu den meisten anderen Staaten einen strukturellen Mix von Großunternehmen und industriellem Mittelstand auf. Das internationale Engagement der deutschen und europäischen Marktführer wurde zwischenzeitlich stark ausgebaut. Zwar steht hierbei nicht eine Verlagerung von Produktionskapazitäten im Vordergrund, sondern die Erschließung von Wachstumspotenzialen und die Abfederung konjunktureller Schwankungen. Allerdings trägt der Trend zur Internationalisierung in der Branche

dazu bei, dass wettbewerbsfähige Rahmenbedingungen heute auch für die „standortgebundene“ Zementproduktion von besonderer Relevanz sind. Das internationale Engagement ist mit Investitionen und Know-how-Transfer verbunden, die der Modernisierung und dem Umweltschutz an ausländischen Standorten zugutekommen.

Zement ist überwiegend ein homogenes Massengut, das als hydraulisches Bindemittel zur Herstellung von Beton und anderen Baustoffen dient. Allerdings nimmt in entwickelten Märkten die Sortenvielfalt zu. Außerdem haben innovative Zemente für spezielle Anwendungen (z.B. Schnellzemente für zeitkritische Reparaturen, Spritzzemente mit minimierter Alkali-Auslaugung oder mikrofeine Zemente für Abdichtungen) an Bedeutung gewonnen. Innovationen im Herstellungsverfahren zielen vor allem auf Kostensenkung und Umweltschutz – im Mittelpunkt stehen dabei die Steigerung der Energieeffizienz und die Senkung der produktionsspezifischen CO₂-Emissionen.

Die Zementindustrie hat sich entgegen ihres früheren Images zu einem High-Tech-Anwender entwickelt: Der Stofftransport ist hochgradig automatisiert, die Produktion wird über computergestützte Prozessleitsysteme gesteuert, die Verfügbarkeit der Anlagen durch effiziente Instandhaltungsstrategien gewährleistet und die Qualität mit aufwändigen Laborverfahren gesichert. Durch die Rationalisierung ist die Zahl der direkten Arbeitsplätze analog zur Entwicklung in anderen Industrien zwar zurückgegangen, zugleich aber wurden die Tätigkeiten aufgewertet. Heute werden in der Zementindustrie hochqualifizierte Fachkräfte benötigt. Entsprechend wichtig ist die Berufsausbildung. Die Branche trägt dieser Herausforderung bereits seit längerer Zeit Rechnung, wie sich an der hohen Ausbildungsquote von etwa 10 % veranschaulichen lässt. Sie liegt damit deutlich über dem Durchschnittswert der gesamten deutschen Wirtschaft. In diesem Zusammenhang beteiligt sich die deutsche Zementindustrie auch an der Weiterentwicklung branchentypischer Berufsbilder und bietet u.a. über ihre Gemeinschaftseinrichtungen gezielte Weiterbildungsmaßnahmen an, in denen der Umweltschutz einen hohen Stellenwert hat.

Die deutsche Zementindustrie steht im Zentrum eines industriellen Netz-

werkes (Clusters), das auf die Produktion mineralischer Baustoffe ausgerichtet ist. Auf der Bezugsseite gehören hierzu die Anbieter von Energie, Maschinen bzw. Anlagen und produktionsnahen Dienstleistungen, mit denen speziell beim Umweltschutz und bei der Steigerung der Energieeffizienz eine enge Zusammenarbeit besteht. Die wichtigsten Abnehmer von Zement sind die Hersteller von Transportbeton und Betonfertigteilen. Insgesamt bietet das Cluster aus Zementindustrie sowie vor- und nachgelagerten Branchenschätzungsweise rund 75 000 Arbeitsplätze in Deutschland.

Fasst man die gesamte Wertschöpfungskette zusammen, in der Zement hergestellt, weiterverarbeitet und verwendet wird, so folgt auf die Rohstoffgewinnung und Zementproduktion die Herstellung zementgebundener Baustoffe (insbesondere Beton), die Anwendung dieser Baustoffe im Zuge des Bauprozesses sowie die Nutzungsphase des betreffenden Bauwerkes. Abgeschlossen wird die Wertschöpfungskette durch die Verwertung der Reststoffe nach Abriss eines Bauwerkes – Betonbruch kann die natürlichen Ressourcen Kies und Sand ersetzen.

Neben den Unternehmen der Zementindustrie mit Anteilseignern und Management sowie Belegschaften und Betriebsräten sind auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette zahlreiche andere Akteure über direkte materielle Inputs oder über sonstige Einflüsse in den Gesamtprozess eingebunden. Neben den Zuliefer- und Abnehmerbranchen gehören hierzu die Nachbarschaften der Werke, verschiedene Behörden, Forschungseinrichtungen und in wachsendem Maße politische Institutionen auf EU-, Bundes- und Länderebene einschließlich der relevanten Interessengruppen (insbesondere Umwelt- und Wirtschaftsverbände sowie Gewerkschaften). Die Sozialpartner sehen in der Kooperation mit externen Akteuren eine wichtige Voraussetzung für nachhaltige Entwicklung.

Beiträge zur Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette des Zements

Die Wertschöpfungskette zementgebundener Baustoffe beginnt mit der **Rohstoffgewinnung**: Zur Produktion von 1 t Zementklinker (des gebrannten Zwischenprodukts) werden rund 1,6 t Kalkstein und Ton oder deren natürlich vorkommendes Gemisch („Kalkmer-

gel“) benötigt. Für eine nachhaltige Entwicklung der Branche ist daher die Frage der Rohstoffversorgung von großer Bedeutung, denn einerseits bilden mineralische Rohstoffe die materielle Basis für die Zementindustrie und die Bauwirtschaft. Andererseits ist ihre Gewinnung mit (zeitlich befristeten) Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden.

Der Flächenbedarf für die Gewinnung von Rohstoffen zur Zementproduktion ist relativ gering und liegt bei jährlich weniger als 0,0002 % der Landesfläche. Durch rechtliche Vorgaben und verfahrenstechnische Verbesserungen (Abbauführung, Spreng- und Förder-technik) ist der Rohstoffabbau stetig umweltverträglicher geworden. Gleichwohl haben die Konflikte zwischen der Rohstoffgewinnung und anderen Belangen zugenommen. Hierbei wird vielfach übersehen, dass die Rohstoffgewinnung eine Raumnutzung *auf Zeit* ist, die in geeignete lokale bzw. regionale Entwicklungsstrategien eingepasst werden kann.

Letzteres trifft auch auf das Verhältnis zwischen Rohstoffgewinnung und Naturschutz zu. So wurde im Jahr 2000 auf fast 55 % der ehemaligen Abbauflächen die Folgenutzung Naturschutz umgesetzt. Demgegenüber dominiert bei der Vornutzung der Ackerbau, d.h. eine intensive Form der Landwirtschaft. Auch während des Betriebs können die Abbaustätten eine positive Funktion für den Natur- und Artenschutz einnehmen. Um die Auswirkungen des Gewinnungsbetriebes auf die Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten sowie der Lebensräume zu messen, wurde im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit in der Zementindustrie ein spezieller Indikatorenkatalog entwickelt und erprobt. Er ist Bestandteil des Leitfadens der Europäischen Kommission zur Gewinnung mineralischer nichtenergetischer Rohstoffe unter Berücksichtigung der Anforderungen an Natura-2000-Gebiete geworden (EU 2011).

Zudem wurden von der Zementindustrie Managementempfehlungen und eine Methodik für die Erstellung von Aktionsplänen zum Schutz der Biodiversität (Biodiversity Action Plans) für die Renaturierung und den Naturschutz in Abbaustätten entwickelt. Neben Maßnahmen auf betrieblicher Ebene wäre eine Verbesserung der rechtlichen Rahmenbedingungen und

der Verwaltungspraxis zielführend. So könnte eine Ergänzung des konventionellen Planungs- und Ordnungsrechts durch flexible Instrumente wie Vertragsnaturschutz und Ökokonto einen nachhaltigen Ausgleich von Rohstoffgewinnung und Naturschutz befördern.

Verschiedene Prognosen zeigen, dass Zement bzw. zementgebundene Baustoffe zukünftig in einem ähnlich großen Umfang benötigt werden wie heute; sie sind vielfach schon aus rein technischen Gründen nicht durch andere Stoffe ersetzbar. Die bereits von der zweiten Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages in 1998 unterstrichene Dringlichkeit der Sicherung der Rohstoff-Lagerstätten bleibt deshalb ein wichtiges Handlungsziel für die nachhaltige Entwicklung. Dies deckt sich mit den betriebswirtschaftlichen Anforderungen der kapitalintensiven Zementindustrie, die auf eine langfristige Investitions- und damit Versorgungssicherheit angewiesen ist. Daher ist eine konsequente Umsetzung der Grundsätze der Raumordnung in der Landes- und Regionalplanung sowie eine Weiterentwicklung des Planungsinstrumentariums erforderlich.

An unterschiedlichen Punkten der Wertschöpfungskette können Substitutionspotenziale zur Schonung natürlicher Ressourcen genutzt werden. In der Zementproduktion wurde der Anteil von sekundären Rohstoffen und Koppelprodukten (z.B. aus der Stahlindustrie und Kraftwerkswirtschaft) in den vergangenen Jahren erheblich gesteigert, so dass ihr Anteil am Rohstoff-Input für die Herstellung mittlerweile rund ein Fünftel beträgt. Substitutionspotenziale werden außerdem durch den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen (Zuschlägen) bei der Betonherstellung genutzt (siehe unten). Der Beitrag der Zementindustrie zur Kreislaufwirtschaft konnte in den letzten zehn Jahren deutlich ausgebaut werden. Weitere Steigerungen sind denkbar – dies setzt allerdings die Verfügbarkeit geeigneter Stoffe voraus.

Die Wertschöpfungsstufe der Zementproduktion umfasst die Aufbereitung der Rohstoffe, die Stoffumwandlung beim Brennen von Zementklinker und die Zementmahlung. Ein Schwerpunkt der nachhaltigen Entwicklung in der Zementindustrie liegt traditionell in der Luftreinhaltung und Emissionsmin-

derung, die eng mit der Verfahrensinnovation verbunden ist und bei der bereits erhebliche Fortschritte erzielt wurden. Dies betrifft insbesondere den Ausstoß von Staub, Spurenelementen, Stickstoffoxiden und Schwefeldioxid – hierfür gelten auf der Grundlage des Bundesimmissionsschutzgesetzes anspruchsvolle Grenzwerte, die jeweils an den Stand der Technik angepasst werden. Entsprechend sind die Emissionen in der Vergangenheit deutlich zurückgegangen.

Die Zementproduktion ist ein ausgesprochen energieintensiver Prozess. Die Steigerung der Energieeffizienz beim Brennstoff- und beim Stromverbrauch hat für die Zementindustrie schon alleine aus betriebswirtschaftlichen Gründen eine zentrale Bedeutung. Der spezifische Brennstoffverbrauch zur Klinkerherstellung wurde seit den 1950er Jahren um rund 60 % vermindert und liegt heute nahe am verfahrenstechnischen Optimum. Auch beim Einsatz von elektrischem Strom wurde die Energieeffizienz deutlich gesteigert, allerdings sorgen u.a. steigende Anforderungen an den Umweltschutz (z.B. Filter zur Abgasreinigung) und die Produktqualität dafür, dass der spezifische Stromverbrauch seit einigen Jahren wieder leicht ansteigt.

Die deutsche Zementindustrie setzt sich für eine Ausschöpfung der verbleibenden verfahrenstechnischen Verbesserungspotenziale ein, allerdings sind andere Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauches in ökologischer und wirtschaftlicher Hinsicht häufig wirkungsvoller. Dies spielt auch beim Klimaschutz, der in den vergangenen Jahren als Handlungsfeld der nachhaltigen Entwicklung in den Vordergrund gerückt ist, eine wichtige Rolle. Die wichtigsten Potenziale zur Senkung der CO₂-Emissionen bieten dabei zum einen „Komposit“-Zemente, in denen das gebrannte Zwischenprodukt Klinker teilweise durch andere Stoffe, wie zum Beispiel Hüttensand, ein Koppelprodukt der Roheisenerzeugung, ersetzt wird. Zum anderen führt der Einsatz alternativer Brennstoffe dazu, dass fossile Energien eingespart werden und geeignete Abfälle nicht an anderer Stelle verbrannt oder deponiert werden müssen. Der verstärkte Einsatz von Ersatzbrennstoffen verbessert zudem die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Zementwerke, setzt aber entsprechende rechtliche Rahmenbedin-

gungen und einen funktionierenden Entsorgungsmarkt voraus. Sowohl der Einsatz von Hüttensand als auch von alternativen Brennstoffen konnte in den vergangenen zehn Jahren stark gesteigert werden – in diesem Feld hat es im Hinblick auf die nachhaltige Entwicklung besonders große Fortschritte gegeben.

Dies schlägt sich auch in Erfolgen beim Klimaschutz nieder. Der CO₂-Ausstoß der deutschen Zementindustrie betrug im Jahr 2010 rund 17,6 Mio. t, was 2,1 % der gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland entspricht. Knapp zwei Drittel der mit der Zementproduktion verbundenen CO₂-Emissionen entstehen bei der Stoffumwandlung im Klinkerbrennprozess und sind deshalb nicht minderbar, der übrige Teil durch den Energieverbrauch. In einer freiwilligen, im November 2000 erweiterten Selbstverpflichtung hat sich die deutsche Zementindustrie das Ziel gesetzt, die energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2008 bzw. 2012 um 28 % zu reduzieren. Die Selbstverpflichtung der Zementindustrie ist ein wichtiger Beitrag zur Klimaschutzvereinbarung zwischen Bundesregierung und Wirtschaft (die Fortschritte werden durch ein unabhängiges Monitoring überprüft). So sind die energiebedingten spezifischen Emissionen der deutschen Zementindustrie seit 1990 um über 50 % zurückgegangen. Damit wurde die Selbstverpflichtung mit einem Zielerreichungsgrad von 182 % erfolgreich erfüllt.

Weitere Potenziale zur Minderung der CO₂-Emissionen könnten im Ausland erschlossen werden: In vielen Staaten werden Produktionsanlagen betrieben, deren spezifischer Energieeinsatz deutlich über dem Bedarf der Werke in Deutschland liegt. Deshalb ist eine international abgestimmte CO₂-Minderungsstrategie für die Zementindustrie besonders wichtig. Die so genannten flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls sollten weiterentwickelt werden, dürfen jedoch nicht zu Wettbewerbsverzerrungen führen, die sich negativ auf Produktion und Beschäftigung in Deutschland auswirken. Im Übrigen kommt es darauf an, die CO₂-Emissionen durch Verkehr und Haushalte ebenso wirkungsvoll zu senken wie in der Industrie. Hierzu können energieoptimierte Bauweisen (siehe unten) einen wichtigen Beitrag leisten.

Auch im Hinblick auf den Lärm- und Arbeitsschutz wurden in der Vergangenheit erhebliche Fortschritte erzielt: So hat die Unfallhäufigkeit in den deutschen Zementwerken in den letzten 40 Jahren um rund drei Viertel abgenommen. Heute liegt die mittlere Unfallhäufigkeitsrate bei 8,1 Betriebsunfällen je 1 Mio. geleisteter Arbeitsstunden und damit um rund die Hälfte unter der Unfallhäufigkeit der gesamten gewerblichen Wirtschaft.

Die Zementindustrie ist heute eine anlagenintensive, moderne Prozessindustrie, in der die Beschäftigten insgesamt eine hohe Verantwortung bei der Steuerung und Kontrolle der Produktion tragen und sehr produktiv sind. Dies ist auch mit hohen Anforderungen verbunden, z.B. an das Qualifikationsniveau. Mit einem Facharbeiter- und Fachangestelltenanteil von insgesamt 62,5 % sowie dem Anteil von höher qualifizierten Mitarbeitern von 26 % weist die Zementindustrie heute eine hochqualifizierte Beschäftigtenstruktur auf. In Zukunft werden die Unternehmen sich vor allem um die Bewältigung des demografischen Wandels bemühen müssen – dies gilt umso mehr, als die Belegschaften aufgrund geringer Fluktuation heute bereits ein hohes Durchschnittsalter aufweisen.

In der **Betonproduktion** wird Zement mit Gesteinskörnungen bzw. Zuschlägen (v.a. Kies und Sand) sowie mit Wasser zu verschiedenen Baustoffen verarbeitet. Die weitaus größte Bedeutung haben dabei Transportbeton, Betonfertigteile und Betonsteine. Für eine nachhaltige Entwicklung ist die Druckfestigkeit des Werkstoffes Beton ein wichtiges Merkmal. Mit hochfesten Betonen können Bauteile mit deutlich geringeren Querschnittsabmessungen ausgeführt werden – dies erhöht die Ressourcenproduktivität und bietet einen Zugewinn an Nutzfläche. Die Druckfestigkeit von Beton wird wesentlich durch die Qualität des Zementes bestimmt und ist ein zentrales Innovationsfeld der Branche. Die maximale Druckfestigkeit konnte seit den 1960er Jahren auf das Fünffache gesteigert werden und liegt heute bei rund 200 N/mm². Aktuelle Entwicklungen geben modernen Betonen den Charakter von „Hightech“-Werkstoffen, die für spezielle Anwendungsfälle zugeschnitten werden. So können z.B. durch selbstverdichtenden Beton die Dauerhaftigkeit von Bauwerken, die Wirtschaftlichkeit und die Um-

weltverträglichkeit der Bauprozesse (Lärmschutz) verbessert werden. Eine wichtige Funktion bei der Steigerung der Nachhaltigkeit dürfte in Zukunft auch neuartigen Verbundwerkstoffen (z.B. Textilbeton) sowie Betonprodukten mit luftreinigenden Eigenschaften zukommen.

Ein weiteres wichtiges Handlungsfeld ist das **Betonrecycling**. Beton lässt sich – sortenreine Fraktionierung vorausgesetzt – vollständig rezyklieren. Dabei muss unterschieden werden zwischen dem Produktionsrecycling, bei dem die Reste aus der Frischbetonherstellung wieder der Betonproduktion zugeführt werden, sowie dem Recycling von Baurestmassen einschließlich Betonbruch, der beim Abriss oder Rückbau alter Bauwerke anfällt und als rezyklierte Gesteinskörnung für neuen Beton oder als Material für den Straßenunterbau verwendet werden kann. Neben Betonbruch können weitere Baureststoffe – zum Beispiel Ziegelsplitt – als „Betonzuschlag“ verwendet werden, wodurch Zement eine Verwertung auch dieser Materialien ermöglicht.

Beim Produktionsrecycling ist ein geschlossener anlageninterner Kreislauf heute Stand der Technik. Auch das Recycling von Baurestmassen liegt in Deutschland mittlerweile auf einem hohen Niveau: Im Jahr 2008 betrug die Verwertungsquote rund 90 %. Damit wurde die vom Kreislaufwirtschaftsgesetz ab dem Jahr 2020 angestrebte Verwertungsquote von 70 % bereits zum wiederholten Mal übertroffen. Trotz der hohen Verwertungsquote lassen sich mit Recyclingmaterial derzeit nur rund 10 % des gesamten Bedarfs an mineralischen Rohstoffen in Deutschland abdecken. In Zukunft ist ein Anstieg der Baurestmassen und insbesondere von Betonbruch zu erwarten, zudem ist eine weitere Steigerung der Verwertungsquote denkbar. Bei weitgehend stabiler Baustoffnachfrage dürfte der Marktanteil von Recyclingbaustoffen steigen, wird aber im Hochbau selbst unter günstigen Voraussetzungen mittelfristig kaum mehr als 10 bis 15 % betragen. Neben dem sortenreinen Rückbau hängt die Zukunft des Baustoffrecyclings stark von den abfallrechtlichen Rahmenbedingungen ab, die die Ziele der Kreislaufwirtschaft nicht konterkarieren sollten.

Betonbruch, der im Straßenbau anfällt, wird bereits heute nahezu vollständig

verwertet. Hier gilt Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen ebenfalls als bewährt. In Zukunft dürfte zudem im Hochbau der Anteil von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen deutlich steigen, nachdem die diesbezüglichen Möglichkeiten erforscht wurden und verbindliche technische Regeln vorliegen. Je nach Ausgangsfraktion und angestrebter Betonqualität kann der Zementbedarf für das Betonrecycling zunehmen, weil nur so bestimmte Eigenschaften des Betons – insbesondere die Festigkeiten – erreichbar sind. Die Zementindustrie unterstützt das Baustoffrecycling und beteiligt sich über den Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden an der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau.

Aspekte des Arbeitsschutzes sind bei der Betonherstellung vor allem im Hinblick auf den Chromatgehalt des Zementes wichtig. Chromat entsteht beim Brennen des Zementklinkers aus dem Chrom in den Rohstoffen und kann bei der manuellen Verarbeitung von Zement eine allergische Chromatdermatitis („Maurerkrätze“) auslösen. 1998 vereinbarten Vertreter der Zementindustrie, der Weiterverarbeiter, des Fachhandels, der Bauwirtschaft, der Berufsgenossenschaften, der IG BAU sowie der Arbeitsschutzbehörden eine Branchenregelung zur Bekämpfung der Maurerkrätze. Diese Branchenregelung sah die Herstellung und den Einsatz chromatarmer Produkte für die manuelle Verarbeitung sowie die Vermeidung von direktem Hautkontakt mit feuchten zementhaltigen Baustoffen durch geeignete Schutzmaßnahmen vor. In der Folge dieser Maßnahmen spielt Chromatdermatitis heute in der Krankheitsstatistik der Bauberufsgenossenschaft keine Rolle mehr. Den so in Deutschland etablierten Ansatz zum Gesundheitsschutz in der Bauwirtschaft hat sich zwischenzeitlich auch die Europäische Union zu eigen gemacht; seit dem Jahr 2005 dürfen in den EU-Staaten nur noch chromatarme Zemente in Verkehr gebracht werden.

Die **Anwendung zementgebundener Baustoffe** trägt in mehrfacher Hinsicht dazu bei, dass Vorschläge, wie sie u.a. von der Enquete-Kommission für das nachhaltige Bauen und Wohnen entwickelt wurden, realisiert werden können. Besonders für den Baubereich, der durch weitgehende Unikaterfertigung, differenzierte Nutzungsansprüche und

viele Akteure geprägt ist, muss nachhaltige Entwicklung als Lernprozess zwischen zahlreichen Akteuren organisiert werden. Verschiedene Aktivitäten der Zementindustrie, z.B. Weiterbildungsveranstaltungen, Fachpublikationen oder diverse Aktivitäten rund um das Thema „Bauen mit Beton“ fördern diese Zusammenarbeit. So werden beispielsweise mit dem Architekturpreis Zukunft Wohnen jährlich zukunftsweisende Baukonzepte unter Berücksichtigung ästhetischer, sozialer, ökologischer und wirtschaftlicher Kriterien prämiert. Des Weiteren arbeitet die Zementindustrie u.a. mit staatlichen Akteuren zusammen, um Impulse für die Nachfrage in der Bauwirtschaft zu setzen. Ein Beispiel für diese Zusammenarbeit ist die Beteiligung an den Initiativen der Bundesregierung zum kostengünstigen Wohnungsbau.

Ein wichtiges Ziel nachhaltigen Bauens ist die Minimierung der Lebenszykluskosten von Gebäuden zur Erhöhung der Wohneigentumsquote und zur Schaffung bedarfsgerechten Wohnraumes. Ausschlaggebend sind hier erstens die Kosten der Gebäudeerrichtung und zweitens die Kosten der Gebäudenutzung. Bei der Gebäudeerstellung geht es darum, gestalterische und bautechnische Qualität sowie niedrige Kosten miteinander zu verbinden. Zudem ist ressourcenschonendes Bauen ein wichtiges Nachhaltigkeitsziel. Die Zementindustrie hat entsprechende Projekte zur Schließung von Baulücken, zur Nachverdichtung und zum Flächenrecycling gefördert.

Entscheidende Bedeutung hat nicht zuletzt die Dauerhaftigkeit von Gebäuden – im Allgemeinen wird eine technische Mindestlebensdauer von 50 Jahren angenommen. Die Verwendung von Beton ermöglicht die Erstellung dauerhafter Bauwerke mit Nutzungsphasen, die weit über diesen Zeitraum hinausgehen. Korrosion und mechanischer Verschleiß können die Dauerhaftigkeit von Beton zwar beeinträchtigen, zur Behebung derartiger Schäden sind jedoch geeignete Maßnahmen entwickelt worden. Die meisten Schäden sind auf Planungsfehler und eine unsachgemäße Verarbeitung bei der Erstellung von Bauwerken zurückzuführen. Die Zementindustrie bietet daher Weiterbildungsveranstaltungen und detailliertes Informationsmaterial zur korrekten Verarbeitung von Zement und Beton an.

Umweltbelastungen sind nicht in erster Linie mit der Erstellung eines Bauwerkes und der Baustoffproduktion verbunden, sondern mit seiner Nutzung. Dies gilt vor allem für den Energiebedarf, der in Zusammenhang mit dem Klimaschutz eine zunehmend wichtige Rolle spielt. In Kombination mit aktiven und passiven Maßnahmen lassen sich die Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) mit dem konstruktiven Baustoff Beton nicht nur einhalten, sondern übertreffen. Gleichzeitig eignen sich Betonbauteile aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität hervorragend zur Nutzung von Sonnenenergie – dieser Umstand kann durch Kollektorwände oder durch Massivabsorber und Wärmepumpen genutzt werden. Weitere Vorteile des Betons liegen u.a. in seinen Schall- und Brandschutzeigenschaften sowie in der guten Abschirmung gegen Radonzufuhr aus dem Erdreich.

Auch in anderen Handlungsfeldern lassen sich viele Ziele einer nachhaltigen Entwicklung nur durch den Einsatz zementgebundener Baustoffe realisieren. Hierzu gehört die Wasserwirtschaft: Betonbauteile werden für die Versickerung von Regenwasser, zur Speicherung von Brauchwasser, zur flächendeckenden Versorgung mit Trinkwasser sowie zum Bau von Kläranlagen benötigt. Die in vielen Kommunen dringend erforderliche Sanierung der Abwasserkanalisation lässt sich mit Betonbauteilen kostengünstig und umweltschonend umsetzen, in der Deponietechnik und beim Flächenrecycling werden Zement und Beton für die Abdichtung und Immobilisierung von Schadstoffen genutzt. Mit photokatalytischen Betonprodukten lassen sich NO_x -Belastungen in der Luft, die für die Entstehung von Ozon und Sommersmog verantwortlich sind, mindern.

Eine wichtige Funktion hat Beton auch bei der nachhaltigen Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur. Betonfahrbahnen zeichnen sich durch Haltbarkeit, Tragfähigkeit und Verformungsstabilität aus. Verkehrsflächen mit Beton können wahlweise durchlässig (zur Versickerung) oder flüssigkeitsdicht (zum Schutz von Boden und Grundwasser) gestaltet werden. Mit Beton werden außerdem Lärmschutzmaßnahmen umgesetzt. In den vergangenen Jahren wurden erfolgreich spezielle offenporige Dränbetone entwickelt und erprobt, die dazu beitragen

könnten, den Verkehrslärm auch auf stark frequentierten Verkehrswegen bereits in der Entstehung einzudämmen. Beim Bau von Schienenstrecken ersetzen Feste Fahrbahnen aus Beton zunehmend das konventionelle Schotterbett, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit (geringerer Aufwand für Instandhaltung), die Betriebssicherheit und die Umwelt (Verringerung des Herbizideinsatzes) auswirkt.

Das Verkehrsaufkommen in Deutschland wird in den nächsten Jahren stark anwachsen und erfordert ausreichende Kapazitäten der einzelnen Verkehrsträger. Für die Zementindustrie ist eine bedarfsgerechte Modernisierung der Verkehrsinfrastruktur von direkter Bedeutung – zum einen für die Nutzung der Verkehrswege beim Vertrieb des Massengutes Zement, zum anderen für eine Belegung der Zementnachfrage. Die schwierige Lage der öffentlichen Haushalte stellt heute das größte Hemmnis für Investitionen in eine nachhaltige Verkehrsinfrastruktur dar. Daher sollten privatwirtschaftliche Lösungen und Öffentlich-Private-Partnerschaft (ÖPP) in Zukunft stärker als bisher genutzt werden.

Perspektiven der nachhaltigen Entwicklung in der deutschen Zementindustrie

Die vorliegende aktualisierte Dokumentation belegt die vielfältigen Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung entlang der Wertschöpfungskette „Zement“. In den fünf Bereichen Rohstoffgewinnung, Herstellung von Zement, Verarbeitung zu zementgebundenen Baustoffen (insbesondere Beton), Verwendung in der Bauwirtschaft sowie Recycling zementgebundener Baustoffe konnten auch in den vergangenen Jahren bedeutende Fortschritte und wegweisende Entwicklungen verzeichnet werden. Die Projekte und Dialoge im Rahmen der Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie haben dazu wesentlich beigetragen.

Entlang dieser Wertschöpfungskette ergeben sich auch weiterhin für die nachhaltige Entwicklung Herausforderungen, Innovationsmöglichkeiten und Investitionsbedarfe, die Ansatzpunkte für das gemeinsame Wirken der Sozialpartner in der Zementindustrie bilden werden. Dies gilt zum Beispiel für die Sicherung der Rohstoffversorgung: Auch zukünftig werden Zemente aus

solchen Rohstoffen hergestellt werden, die weltweit in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Diese sind diejenigen Oxide der Erdkruste, die auch heute Ausgangsstoffe des modernen Portlandzementklinkers sind. Hierzu gehören Kalziumoxid, Siliciumoxid, Aluminiumoxid und Eisenoxid. Zemente, die gegebenenfalls andere Ausgangsstoffe als Rohmaterialien verwenden, werden vor diesem Hintergrund zukünftig allenfalls regional begrenzt oder für Nischenanwendungen eine Bedeutung haben. Voraussetzung hierfür ist, dass auch solche Zemente unter heutigen baupraktischen Anforderungen die erforderliche Leistungsfähigkeit erreichen. Dies gilt im Übrigen auch für moderne Bindemittelentwicklungen, wie CO₂-arme Zemente, die auf Kalzium- und Siliziumbasis erstellt werden. Zum Teil liegen hierfür bereits erste, wegweisende Forschungsergebnisse vor. Inwieweit und in welchen Maße sich hieraus marktfähige Massenzemente erzeugen lassen, wird sich in den kommenden Jahren zeigen.

Im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit der Zementherstellung nimmt die deutsche Zementindustrie ohne Frage weltweit eine Vorreiterrolle ein. Die hohen Investitionen in Umweltschutzmaßnahmen sind der Grund dafür, dass durch produktionsintegrierte Maßnahmen, aber auch durch modernste Abgasreinigungstechniken die Emissionen der deutschen Zementwerke in den vergangenen Jahren kontinuierlich gesenkt und die Energieeffizienz zunehmend gesteigert werden konnten. Einhergehend mit dem Fortschreiben des Standes der Technik investieren die deutschen Zementhersteller auch weiterhin in hohem Maße in modernste Anlagentechnik. Jüngste Beispiele sind Demonstrationsvorhaben zur katalytischen Abgasreinigung (NO_x-Minderung) sowie zur Stromerzeugung aus der Abwärme von Produktionsanlagen. Dabei suchen die Zementhersteller sowohl nach technisch anspruchsvollen, als auch ökonomisch umsetzbaren Lösungen, die sehr oft in der Zusammenarbeit mit den Genehmigungsbehörden oder externen Forschungspartnern entwickelt werden. Das Forschungsinstitut der Zementindustrie spielt eine zentrale Rolle, wenn es darum geht, Pilot- oder Demonstrationsvorhaben versuchstechnisch zu begleiten und die Ergebnisse aufzubereiten, um sie gemeinsam mit dem jeweiligen Betreiber interessierten Fachexperten vorzustellen.

Letztlich bestimmt sich die Nachhaltigkeit der gesamten Wertschöpfungskette „Zement“ in starkem Maße durch das fertige Bauwerk. Der effiziente Einsatz von zementgebundenen Baustoffen setzt leistungsfähige Bindemittelsysteme voraus. Die Zementindustrie konzentriert sich daher mit ihren Forschungen und Entwicklungen auch auf moderne Betonrezepturen mit einem hohen Anspruch an Umweltverträglichkeit, Funktionalität und gestalterischer Qualität. Beton gewährleistet durch seine hohe Dauerhaftigkeit eine lange Lebensdauer von Bauwerken. Der Aufwand an Instandsetzung und Reparaturmaßnahmen ist dadurch über die Lebenszeit gering. Dies trägt dazu bei, dass Bauwerke aus Beton über ihren gesamten Lebensweg hinweg in hohem Maße umweltverträglich sind. In Gebäuden bietet Beton durch seine hohe Wärmekapazität hervorragende Möglichkeiten, ein ausgeglichenes Wohnklima zu schaffen, die einhergehen mit einem hohen Beitrag zur Energieeffizienz. Temperaturspitzen im Sommer und im Winter werden ausgeglichen und mindern dadurch den Bedarf an Heiz- und Kühlenergie. Neuartige intelligente Betone können mit Oberflächen ausgestattet werden, die Luftschadstoffe katalytisch abbauen. Solche Entwicklungen verdeutlichen das Innovationspotenzial für eine nachhaltige Bauweise, die mit der Nutzung zementgebundener Baustoffe auch für die Zukunft verbunden ist.

Aus heutiger Sicht werden zukünftig vor allem vier Handlungsfelder für die nachhaltige Entwicklung bzw. die diesbezüglichen Aktivitäten der Sozialpartner bedeutsam sein: die Energiewende, die Steigerung der Ressourceneffizienz und die Sicherung der Rohstoffversorgung, die Weiterentwicklung der Klimaschutzpolitik und des Emissionshandels sowie die Bewältigung des demografischen Wandels.

Chancen und Risiken der Energiewende

Für die Zukunft werden die weiteren Entwicklungen im Bereich der Energieversorgung und Energienutzung für die Zementindustrie voraussichtlich von großer Bedeutung sein. Die Energiewende birgt für die Zementindustrie dabei einerseits erhebliche Kostenrisiken durch steigende Energiepreise, aber andererseits auch Absatzchancen. Während sich die

zusätzlichen Marktpotenziale im Zusammenhang mit der Umstellung der Energieerzeugung u.a. wegen des bereits heute hohen Investitionsniveaus in Grenzen halten, bietet der Bereich energetischer Gebäudesanierungen einschließlich des gezielten Ersatzneubaus (angesichts der ambitionierten Ziele der Bundesregierung und der bislang niedrigen Sanierungsquote) deutlich größere Wachstumschancen. Die Realisierung dieser Marktpotenziale erfordert jedoch einen verlässlichen Investitionsrahmen im Gebäude- und Energiebereich. Gleichzeitig muss die Kostenbelastung für die energieintensiven Grundstoffindustrien auf einem wettbewerbsfähigen Niveau gehalten werden. Für das Gelingen der Energiewende sind die Produkte der Zementindustrie unverzichtbar.

Ressourceneffizienz und Rohstoffpolitik

Die Zementindustrie ist ein wesentlicher Zulieferer für die Herstellung von Baustoffen und die Bauwirtschaft und damit für Produktion und Wachstum von großer Bedeutung. Am Beginn dieser Wertschöpfungskette steht die Rohstoffgewinnung. Sie ist dabei kein Selbstzweck, vielmehr liegt der sparsame Umgang mit Ressourcen im eigenen Interesse der Unternehmen. Dies gilt auch für die Flächennutzung, die lediglich eine temporäre Inanspruchnahme darstellt. In der Vergangenheit wurde die Materialproduktivität der Branche erheblich gesteigert. Dies zeigen die sehr hohen Verwertungs- und Recyclingquoten. Forderungen etwa nach einer Rohstoffsteuer mit dem Ziel, die Ressourceneffizienz zu erhöhen, sind hierbei jedoch nicht zielführend. Eine Steuer würde keine Lenkungswirkung entfalten, sondern lediglich zu Ausweichreaktionen, wie z.B. längeren Transportwegen, führen und damit das Bauen in Deutschland verteuern. Da die Verwertungsquoten bei Bauschutt von 76 % (Stand 2008) kaum noch gesteigert werden können, sind die Substitutionspotenziale aufgrund der absehbaren Verknappung des Angebots von industriellen Nebenprodukten (REA-Gips; Kohleflugaschen) bei der Betonherstellung begrenzt. Sekundärrohstoffe werden künftig nicht mehr im derzeitigen Umfang zur Verfügung stehen, deshalb ist bei stabiler Rohstoffnachfrage eine partielle Senkung der Sekundärrohstoffquote zu erwarten.

Strukturelle Reform des Emissionshandelssystems nach 2020

In der Klimaschutzpolitik wird derzeit über die Funktionsfähigkeit des Europäischen Emissionshandelssystems sowie über die Wechselwirkungen bestehender klima- und energiepolitischer Instrumente diskutiert. Eine Reform des Emissionshandels bzw. eine Bereinigung des umfangreichen nationalen und europäischen Instrumentenmixes erscheint daher mittelfristig wahrscheinlich und auch wünschenswert. Die Zementindustrie beteiligt sich an diesem Prozess konstruktiv. Dennoch sollten Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen immer mit Augenmaß erfolgen und die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Produktion berücksichtigen. Die Zementindustrie leistet bereits seit jeher mit Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz. Sie investiert auch weiterhin in großem Umfang in Forschung und Entwicklung im Sinne einer nachhaltigen Zementproduktion.

Demografischer Wandel

Auf die Zementindustrie kommen mit dem demografischen Wandel vielfältige Herausforderungen zu, deren Bewältigung ein wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen Entwicklung sein wird. Bereits heute ist in den meisten Zementwerken ein spürbar steigendes Durchschnittsalter der Belegschaften erkennbar, in vielen Werken zudem auch ein punktueller Fachkräftemangel. Für die Unternehmen ergeben sich daraus viele Herausforderungen. So ist die Verfügbarkeit qualifizierter Fachkräfte eine zentrale Voraussetzung für den Betrieb der Zementwerke, deren Produktionstechnik sich in der Vergangenheit stark weiterentwickelt hat und entsprechende Qualifikationen bei den Beschäftigten erfordert.

Die berufliche Erstausbildung ist hierzu ein wichtiges Handlungsfeld – die bereits heute überdurchschnittlich starke Ausbildungstätigkeit in der deutschen Zementindustrie ist hierzu eine wichtige Voraussetzung. Ergänzend hierzu

können die Beschäftigten mit den im Rahmen der Nachhaltigkeitsinitiative aufgebauten, branchenweiten Angeboten zur Unterstützung der betrieblichen Weiterbildung ihre Kenntnisse laufend erweitern sowie an neue Entwicklungen in der Produktionstechnik und an neue Anforderungen des Umweltschutzes anpassen. Zudem müssen Arbeitsplätze an die Möglichkeiten älterer Arbeitnehmer angepasst und neue Konzepte des betrieblichen Kompetenzmanagements sowie der Arbeitsorganisation erprobt werden. Deutliche Potenziale bieten sich in der Zementindustrie noch durch die Ausweitung des Anteils der Frauen an den Belegschaften, namentlich im Bereich produzierender Tätigkeiten. Zur Bewältigung solcher Herausforderungen ist die Zusammenarbeit der Sozialpartner, die durch die Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie mustergültig gepflegt wird, eine wichtige Basis.

Literatur und Materialien

- Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger BAU e.V. (2000): 1. Monitoring – Bericht Bauabfälle. Erhebung 1996. Berlin
- Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger BAU e.V. (2005): 4. Monitoring – Bericht Bauabfälle. Erhebung 2002. Berlin
- Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger BAU e.V. (2011): Mineralische Bauabfälle – Monitoring 2008. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2008. Berlin
- Betonmarketing Deutschland (2008): Eine außergewöhnliche „Schräglage“. Presse-Information. Erkrath
- Bolte, G./Flassak, T. (2012): Saubere Luft dank Photokatalyse. In: Immissionsschutz 2.2012, S. 54
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2008): Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Bundesrepublik Deutschland, Rohstoffstudie 2007. Hannover (zitiert als BGR 2008)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1998): Umweltpolitik - Wasserwirtschaft in Deutschland. Berlin (zitiert als Bundesumweltministerium 1998)
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008): Evaluierung der Pilotprojekte des A-Modells. Zwischenbericht der Abteilung Straßenbau/Straßenverkehr in Zusammenarbeit mit der VIFG. (Stand: 25. Januar 2008), o.O. (zitiert als BVBS 2008)
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin (zitiert als BMVBS 2011)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen. Berlin (zitiert als BMWi 2010)
- Bundesregierung (2002): Bericht der Bundesregierung über die Perspektiven für Deutschland – Nationale Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. BT-Drucksache 17/8953 vom 25.04.2002
- Bundesregierung (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie – Fortschrittsbericht 2012. Berlin
- Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (Hrsg.) (2012): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und Erden-Industrie bis 2030 in Deutschland. Bearbeitet von: Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner Ingenieurgesellschaft mbH/DIW Berlin. Berlin (zitiert als BBS 2012)
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (Hrsg./2002): Zahlen und Daten 2001/2002. Köln
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie/Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg./2001): Ökologische Positionierung von Zement und Beton – Fragen und Antworten. Köln/Düsseldorf
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie / Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg./2001): Naturschutz und Zementindustrie, Projektteil 1: Auswertung einer Umfrage. Bearbeitet von U. Tränkle/M. Röhl. Düsseldorf 2001 (zitiert als BDZ/VDZ 2001)
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie/Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg./2002): Naturschutz und Zementindustrie, Projektteil 2: Literaturstudie. Bearbeitet von U. Tränkle u.a.. Düsseldorf 2002 (zitiert als BDZ/VDZ 2002a)
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie / Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg./2002): Naturschutz und Zementindustrie, Projektteil 3: Management-Empfehlungen. Bearbeitet von T. Beißwenger u.a.. Düsseldorf 2002 (zitiert als BDZ/VDZ 2002b)
- Bundesverband der Deutschen Zementindustrie / Verein Deutscher Zementwerke (Hrsg./2002): Zementrohstoffe in Deutschland: Geologie, Massenbilanz, Fallbeispiele. Düsseldorf 2002 (zitiert als BDZ/VDZ 2002c)
- DERA Deutsche Rohstoffagentur (Hrsg. / 2011): DERA Rohstoffinformationen – Deutschland Rohstoffsituation 2010. Hannover
- Deutsche Emissionshandelsstelle (2009): Emissionshandel: Auswertung der ersten Handelsperiode 2007–2007. Berlin
- Deutsche Emissionshandelsstelle (2012): Pressehintergrundpapier VET 2011. Mitteilung mit Sperrfrist am 15.05.2012. Berlin
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2010): Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009. Bearbeitet von Ch. Berger/Ch. Falk. Hennef (zitiert als DWA 2010)
- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg. / 1995): Richtlinie für die Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel. 1995 (zitiert als DAfStb 1995)
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2002): Verkehr in Zahlen. Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin (zitiert als DIW 2002)
- Ehrlinger, Susanne (2009): Mit Beton nachhaltig gespart. In: Deutsches Ingenieurblatt 3.2009 (zitiert als Deutsches Ingenieurblatt 2009)
- Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages (1998): Abschlussbericht „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung: Konzept Nachhaltigkeit – Vom Leitbild zur Umsetzung“. BT-Drucksache 13/11200 vom 26.06.1998 (zitiert als Enquete-Kommission 1998)
- Europäische Kommission (2011): Leitfaden der Europäischen Kommission zur Rohstoffgewinnung durch die NEEI unter Berücksichtigung der Anforderungen an Natura-2000-Gebiete. Luxemburg
- Europäische Union (Hrsg./2011): Leitfaden – Nichtenergetische mineralgewinnende Industrie und Natura 2000 (zitiert als EU 2011)
- Fraunhofer-Institut Lebensmitteltechnologie und Verpackung (Hrsg./1997): Verwertung von Kunststoffabfällen aus Verkaufsverpackungen in der Zementindustrie. Ökologische Analyse nach dem LCA-Prinzip. Bearbeitet von M. Heyde/M. Kremer im Auftrag des Vereins Deutscher Zementwerke. Freising (zitiert als Heyde/Kremer 1997)

- Global Cement Report Ninth Edition (2011). Sonderausgabe des International Cement Review
- Graubner, C.A./Knauff, A. (2008): Ökobilanzstudie – Gegenüberstellung Massivhaus/Holzbauweise, Forschungsbericht F04-8-2008 der Technischen Universität Darmstadt. Darmstadt
- Hauer, B. (2001): Nachhaltigkeit im Bauwesen – Ganzheitliche Betrachtung von Baustoffen und Bauwerken. In: Beton 2.2001, S. 78ff.
- Heimer + Herbstreit Umweltplanung/Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (1997): Gutachten zum Nutzungskonflikt Kalksteinabbau : Naturschutz. Erstellt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Bochum/Berlin (zitiert als Heimer + Herbstreit/DIW 1997)
- Herbst, Tristan/Rübner, Katrin/Meng, Birgit (2011): Ganzheitliche Bewertung der Einsatzmöglichkeit von Sekundärrohstoffen in Beton. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Beiträge zum 52. Forschungskolloquium am 7. und 8. November 2011 in der BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin: 295ff.
- Hüsken, G./Hunger, M./Brouwers, H.J.H. (2009): Photocatalytic Concrete Products; Practical Application and Modeling. In: BFT International (Betonwerk + Fertigteil-Technik) 12
- IEA International Energy Agency (2010): Cement Technology Roadmap 2009. Carbon emissions reductions up to 2050, Paris (zitiert als IEA 2020)
- INFRAS, Consulting Group for Policy Analysis and Implementation/IWW, Universität Karlsruhe [Hrsg.] (2000): Externe Kosten des Verkehrs. Unfall-, Umwelt- und Staukosten in Westeuropa. Zürich/Karlsruhe (zitiert als INFRAS/IWW 2000)
- Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie (2004): Nachhaltige Transport- und Logistikketten – Ist-Analyse in der deutschen Zementindustrie. Bearbeitung: SUSTAIN CONSULT, Dortmund (zitiert als Initiative für Nachhaltigkeit 2004)
- Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie (2010): Nachhaltige Transport- und Logistikketten – Ist-Analyse in der deutschen Zementindustrie für das Jahr 2008. Bearbeitung: SUSTAIN CONSULT, Dortmund (zitiert als Initiative für Nachhaltigkeit 2010)
- Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie (2012): Beschäftigung in der Zementindustrie – Analyse in der deutschen Zementindustrie für die Jahre 2005–2011. Bearbeitung: SUSTAIN CONSULT, Dortmund (zitiert als Initiative für Nachhaltigkeit 2012)
- Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin (2009): Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. Hrsg.: Kompetenzzentrum der Initiative „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“ im Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Berlin (zitiert als IEMB 2009)
- Kompetenzzentrum „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“ im IEMB Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin (Hrsg./2006): Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. Info-Blatt 4.2, Berlin (zitiert als IEMB 2006)
- Lindner, G./Schmitz-Riol, E. (2001): Systembauweise im Wohnungsbau – kostengünstiger, qualitätsvoller und ökologischer Wohnungsbau. Hrsg.: Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Düsseldorf
- Löckener, R./Sundmacher, T. (2001): Nachhaltige Entwicklung des Zementwerkes Lengerich und Kalkwerkes Lienen. Gutachten im Auftrag der Dyckerhoff Zement GmbH und der Schencking Kalk- und Kalksandsteinwerke GmbH & Co. KG, Lengerich/Lienen (hekt. Manuskript)
- Merkel, Th. (2012): Erzeugung und Nutzung von Produkten aus Eisenhüttenschlacke 2011. In: FEhS Institut für Baustoff-Forschung (Hrsg./2012): Report 19. Jahrgang Nr. 1, S. 14
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg./2005): Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen. 2. Auflage, Düsseldorf
- NABU, BBS, IG BCE, IG BAU (2004): Gemeinsame Erklärung „Rohstoffnutzung in Deutschland“. Berlin
- Naumann, J. (2011): Brückenerüchtigung jetzt – Ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Mobilität auf Bundesfernstraßen. Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie e.V. (BDI), des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie e.V. und des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden e.V. (BBS). Hrsg.: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin
- Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (2011): Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft – Monitoringbericht 2010. Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge. Bericht – September 2011. Essen (zitiert als RWI 2011).
- Roubin, E. (1999): Beton – „High-tech“ oder „Lowtech“. Sonderdruck aus Zement und Beton 3.1999
- Schlotmann, M./Müller, W. (2012): Rohstoffgewinnung in Natura-2000-Gebieten. Hrsg.: Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin (zitiert als BBS 2012)
- Schmidt Consult (2000): Technische, ökologische und wirtschaftliche Einflüsse auf die derzeitigen und zukünftigen Mengen an rezyklierten Baustoffen. In: Der Bedarf an mineralischen Baustoffen. Hrsg.: Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Frankfurt a.M.
- Schmidt, M. (1998): Innovative Zemente – Schnellzemente, Spritzzement, Feinstzement und Zemente mit hohem Sulfat- oder Säurewiderstand. In: ZKG INTERNATIONAL 50 (1998) No. 8, S. 444ff.
- Schwarz, B. (1987): Wärme aus Beton. Systeme zur Nutzung der Sonnenenergie. Verlag Bau+Technik. Düsseldorf
- Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zementindustrie, der Industriegewerkschaft

- Bauen-Agrar-Umwelt sowie der Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (Hrsg./2002): Nachhaltigkeit und Zementindustrie – Dokumentation von Beiträgen und Handlungsoptionen. Düsseldorf 2002 (zitiert als Initiative für Nachhaltigkeit 2002)
- Statistisches Bundesamt (2004): Tabelle „Beförderte Personen und Güter“. Im Internet unter: <http://www.destatis.de/basis/d/verk/verktab4.php> (Stand: 08.04.2004)
 - Statistisches Bundesamt (2010): Vierteljährliche Produktionserhebung im Verarbeitenden Gewerbe 2002. Wiesbaden
 - SUSTAIN CONSULT / Ökoplan (2005): FFH-Verträglichkeitsstudie zur Erweiterung des Steinbruches Donnerkuhle in Hagen Screening, Verträglichkeitsprüfung, Alternativenprüfung, Prüfung öffentlicher Interessen und FFH-Ausgleich. Gutachten erstellt im Auftrag der der Rheinkalk Hagen-Halden GmbH & Co. KG als Bestandteil eines Genehmigungsantrages zu einer Steinbrucherweiterung, Dortmund/Essen (nicht veröffentlicht)
 - Tränkle, U./Rademacher, M./Friedel, G./Löckener, R./Basten, M./Schmid, V. (2008): Sustainability indicators for integrated management of raw material and nature conservation – pilot project in the Schelklingen cement plant (Nachhaltigkeitsindikatoren für ein integriertes Rohstoff- und Natur-schutzmanagement – Pilotprojekt im Zementwerk Schelklingen). Cement International: 4/2008 (Bd. 6), S. 68ff.
 - Umweltbundesamt (2000): Jahresbericht 1999. Berlin
 - Umweltbundesamt (2003): Spezifische Geräuschemissionen. Dessau
 - Umweltbundesamt (2011): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990–2010 (Endstand 14.12.2011). Im Internet: www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm (zuletzt abgerufen am 31.10.2012)
 - Verein Deutscher Zementwerke (1996): Beton. Düsseldorf (zitiert als VDZ 1996)
 - Verein Deutscher Zementwerke / Forschungsinstitut der Zementindustrie (1998): Verminderung der CO₂-Emissionen – Beitrag der deutschen Zementindustrie – Monitoring-Bericht 1997. Düsseldorf (zitiert als VDZ 1998).
 - Verein Deutscher Zementwerke (1999): Tätigkeitsbericht 1996–99. Düsseldorf (zitiert als VDZ 1999a)
 - Verein Deutscher Zementwerke / Forschungsinstitut der Zementindustrie (1999): Verminderung der CO₂-Emissionen – Beitrag der deutschen Zementindustrie – Monitoring-Bericht 1998. Düsseldorf (zitiert als VDZ 1999b)
 - Verein Deutscher Zementwerke / Forschungsinstitut der Zementindustrie (2010): Verminderung der CO₂-Emissionen – Beitrag der deutschen Zementindustrie – Monitoring-Bericht 2008–2009. Düsseldorf (zitiert als VDZ 2010)
 - Verein Deutscher Zementwerke / Forschungsinstitut der Zementindustrie (2012): Tätigkeitsbericht 2009–2012. Düsseldorf (zitiert als VDZ 2012a)
 - Verein Deutscher Zementwerke / Forschungsinstitut der Zementindustrie (2012): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2011. Düsseldorf (zitiert als VDZ 2012b)
 - Verein Deutscher Zementwerke (2012): Zahlen und Daten 2012. Düsseldorf (zitiert als VDZ 2012c)
 - VIFG Verkehrsinfrastrukturfinanzierungsgesellschaft mbH: A-Modell. Im Internet: http://www.vifg.de/de/kompetenzen/opp/a_modell.php (letzter Zugriff am 08.02.2013)
 - Weil, M. (2004): Ressourcenschonung und Umweltentlastung bei der Betonherstellung durch Nutzung von Bau- und Abbruchabfällen. Schriftenreihe WAR der Technischen Universität Darmstadt 160. Zitiert in: Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller: Überblick über die Chancen und Grenzen von Betonrecycling. Vortrag zur 3. Betonfachtagung Nord, Braunschweig 29./30.09.2011
 - Willems, Hellinger, Schild (2005): Wärmebrücken- und Konstruktionsatlas für den Massivbau – Einwandfreie Details für den Wohnungsbau

