

Tätigkeitsbericht

2007 – 2009

Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Forschungsinstitut der Zementindustrie

.sbwvdz.
ein Unternehmen der Deutschen Zementindustrie

Tätigkeitsbericht 2007 – 2009

Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Forschungsinstitut der Zementindustrie
Postfach 30 10 63, D-40410 Düsseldorf
Tannenstraße 2, D-40476 Düsseldorf
Telefon: +49 (0) 211 45 78-1
Telefax: +49 (0) 211 45 78-296
info@vdz-online.de
www.vdz-online.de



Das Titelbild zeigt die Spiegelung des VDZ-Logos in einer Betonoberfläche. Der Spiegeleffekt entsteht bei Verwendung von feinkörnigem ultrahochfesten Beton in Verbindung mit sehr glatter Schalung. Durch die optimierte Kornzusammensetzung des Betons ist seine Oberfläche nach dem Ausschalen annähernd so glatt wie die der Schalung.

Inhalt

4	Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie
6	Gliederung
7	Vorstand
8	Der Verein Deutscher Zementwerke
8	Ausschüsse, Arbeitskreise und Kommissionen
12	Zusammenarbeit mit anderen Organisationen
15	Vermittlung der Erkenntnisse
16	Forschungsinstitut der Zementindustrie
18	Dienstleistungen
20	I Verfahrenstechnik der Zementherstellung
22	Anlagenbetrieb
26	Energiebedarf
30	II Umweltschutz bei der Zementherstellung
32	Gesetzgebung
34	Klimaschutz
40	Umweltdaten
41	Minderung gas- und staubförmiger Emissionen
44	III Leistungsfähigkeit von Zement
46	Chemisch-mineralogische Zusammensetzung
47	Additive zur Verbesserung der Frühfestigkeit von Hochofenzementen
49	Anwendung der Klinkermikroskopie zur Lösung betrieblicher Fragestellungen
51	Ton als puzzolanischer Zementhauptbestandteil
52	Möglichkeiten und Grenzen der Rietveld-Analyse von Zementen
54	Ringversuch zur röntgenographischen Quantifizierung von Hüttensand in Zement
55	Sulfatwiderstand hüttensandhaltiger Zemente
57	Einfluss der Flugasche auf die Porenlösung von Betonen
60	IV Güteüberwachung und Qualitätssicherung von Zement
62	Überwachungsgemeinschaft des VDZ
65	Qualitätssicherung
68	Normung
70	Chromatreduktion von Zementen und zementhaltigen Zubereitungen
74	V Betonausgangsstoffe, Betontechnologie und Betonbautechnik
76	Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen
81	Zemente und Zusatzmittel
85	Alkali-Kieselsäure-Reaktion
92	Sulfatwiderstand
94	Selbstverdichtender Beton
95	Ultrahochfester Beton
96	Erdfeuchte Betone
96	Estrich
98	Verkehrswegebau
99	Modellierung
100	Normung
104	Brandschutz
106	Beispiele aus Beratung, Gutachten aus der Betontechnik
108	VI Umweltverträglichkeit von Zement und Beton
110	Umweltkriterien für zementgebundene Baustoffe
112	REACH
113	Europäische Bauproduktenrichtlinie
115	DIBT-Merkblatt „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“
116	Zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich
117	Nachhaltiges Bauen mit Beton
119	Mess- und Prüfverfahren
120	VII Verantwortung für Mitarbeiter
122	Arbeitssicherheit
125	VDZ-Weiterbildungswerk
128	VIII Veröffentlichungen

Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie

Mit dem vorliegenden Tätigkeitsbericht fasst der Verein Deutscher Zementwerke e.V. seine Gemeinschaftsarbeit der Jahre 2007 bis 2009 zusammen. Er setzt damit die bewährte Tradition fort, indem er über die relevanten Themen der Zementherstellung und -anwendung berichtet, die für die Zementindustrie im Berichtszeitraum von Bedeutung waren und die Arbeit des VDZ bestimmt haben.

Die Weltwirtschaft steht vor Herausforderungen, die bis heute unvorstellbar schienen. Wie diese sich auf die Baustoffindustrie auswirken und in welchem Maße die Zementindustrie hiervon betroffen sein wird, ist derzeit offen. Insofern kommt einer Gemeinschaftsarbeit Bedeutung zu, die vor dem Hintergrund knapper Budgets die entscheidenden Themen für die Zementhersteller erkennt und effizient bearbeitet.

Mit seinem Forschungsinstitut bietet der VDZ ein attraktives Dienstleistungsangebot entlang der Wertschöpfungskette für Zement und Beton. Er kann sich dabei auf ein kompetentes Team von Experten stützen, die zudem in aktuelle Forschungsthemen eingebunden sind, für die modernste Untersuchungsmethoden zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten liefern wegweisende Beiträge zur Weiterentwicklung von Zement und Beton. Trotz des hohen Kostendrucks ist es dabei auch im vorliegenden Berichtszeitraum gelungen, die für die Zementhersteller wichtigen Fragen anzugehen. Hierzu gehören die Anforderungen an die Reduzierung der CO₂-Emissionen, die Erfordernisse zur Herstellung von dauerhaften und leistungsfähigen Betonen oder die Herausforderungen zur Senkung der Emissionen bei der Klinkerherstellung.

Der VDZ ist heute – über 130 Jahre nach seiner Gründung – fest eingebunden in die internationale Gemeinschaftsarbeit der Zementindustrie. Mit seinem Forschungsinstitut nutzt er diese Kontakte und gewinnt im Gegenzug maßgebliche Erfahrungen für seine eigene Arbeit. Mit der European Cement Research Academy arbeitet der VDZ gemeinsam an Projekten, die übergeordnete Bedeutung haben und daher von einzelnen Zementherstellern nicht eigenständig verfolgt werden. Hierzu zählen insbesondere die Frage der CO₂-Abscheidung und anschließender Speicherung, aber auch eine Zusammenstellung des allgemeinen Standes der Technik und wie dieser sich in den kommenden Jahrzehnten entwickeln kann.

Zu dem Internationalen VDZ Congress, der im September 2009 stattfindet, begrüßt der VDZ seine Gäste auf das Herzlichste und unterstreicht gleichzeitig seine Vernetzung mit Zementherstellern, Forschungseinrichtungen und Anlagenherstellern sowohl national als auch international. Mit seinem Forschungsinstitut wird der VDZ trotz aller Herausforderungen auch in den kommenden Jahren gemeinsam mit allen Beteiligten zu einer wettbewerbsfähigen, umweltfreundlichen Zementherstellung und qualitativ hochwertigen Betonherstellung beitragen.

Dr. Martin Schneider
Hauptgeschäftsführer

Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Düsseldorf, im September 2009



Das Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf

Verein Deutscher Zementwerke e.V.

Mitgliederversammlung

Techn.-Wiss.
Beirat

Vorstand

Haushalts-
beirat

Vorsitzende

Geschäftsführung

Arbeitsausschüsse

Beton-
technik

Zement-
chemie

Fachauschuss
d. Überw.-Gem.

Umwelt u. Ver-
fahrenstechnik

Rechts-
fragen

Forschungsinstitut der Zementindustrie

Vorstand**Vorsitzender**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. G. Hirth, Ulm

Stellvertretende Vorsitzende

Dipl.-Wirtsch.-Ing. W. Bauer, Wiesbaden

Dipl.-Kfm. A. Kern, Heidelberg

U. Aumüller, Oberursel (ab 1.5.2009)

Dipl.-Ing. K. Bauer, Ulm (ab 29.5.2008)

Dr.-Ing. K. Bock, Harburg (ab 6.3.2007)

Dipl.-Ing. (MBA), G. Bourrain, Oberursel (bis 11.3.2009)

Dr.-Ing. H. A. Brodersen, Dortmund

Dr. M. Bücker, Solnhofen

Dipl.-Ing. M. Edelmann, Rohrdorf

Dipl.-Ing. F. Fleuret, Oberursel (bis 30.4.2009)

Lic. oec. K. Gernandt, Hamburg (bis 10.5.2007)

Dipl.-Ing. B. Goedecke, Wiesbaden

Dr.-Ing. G. Kirchner, Oberursel (ab 11.3.2009)

Dipl.-Kfm. R. Körner, Wiesbaden

Dr.-Ing. G. Krogbeumker, Beckum

Dipl.-Bw. P. Laubenstein, Ulm

Dipl.-Kfm. P. Linten, Ennigerloh

Dipl.-Vw. W. Matthias, Erwitte

L. Mittelholzer, Hamburg (ab 26.9.2007)

Dipl.-Kfm. W. Müller, Großenlüder

Dipl.-Ing. R. Nobis, Leimen

J. S. Pfitzner, Oberursel

Dipl.-Vw. J. Ramcke, Üxheim-Ahütte

Dipl.-Kfm. A. Rotermund, Rüdersdorf (ab 11.3.2009)

Dipl.-Kfm. E. Schleicher, Ulm

Dipl.-Ing. V. Schneider, Leimen (ab 29.5.2008)

Dipl.-Ing. H. Seibel, Erwitte

Dipl.-Kfm. G. Seitz, Heidelberg

Dr. D. Spinner, Erwitte

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. K. Tausendpfund, Pommelsbrunn

G. Trube, Hamburg (bis Juni 2007)

R. Willimann, Dotternhausen

Dipl.-Inform. E. Wittmann, Ratingen

O. Zimmermann, Hamburg (ab 26.9.2007)

Hauptgeschäftsführer des VDZ und Leiter des Forschungsinstituts

Dr. Martin Schneider

Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH

Beiratsvorsitzender

Dr. Martin Schneider

Geschäftsführer

Dr. Martin Oerter

Technisch-Wissenschaftlicher Beirat**Vorsitzender**

Dipl.-Ing. R. Nobis, Leimen (ab 29.5.2008)

Als Vorsitzende des VDZ

Dipl.-Wirtsch.-Ing. W. Bauer, Wiesbaden

Dipl.-Wirtsch.-Ing. G. Hirth, Ulm

Dipl.-Kfm. A. Kern, Heidelberg

Obleute der Ausschüsse und Kommissionen

Dipl.-Ing. E. Bohlmann, Leimen (Betontechnik)

Dr. A. Glitz, Heidelberg (Recht)

Dipl.-Wirtschafts-Ing. G. Hirth, Ulm (Emissionshandel)

Dr.-Ing. H.-M. Ludwig, Leimen (Zementchemie)

Dipl.-Ing. P. Lyhs, Rüdersdorf

(Alkali-Kieselsäure-Reaktion, AKR)

Dr. rer. nat. H. Möller, Ulm (Fachausschuss der ÜG)

Dr.-Ing. H. Rosemann, Erwitte (Umwelt + Verfahrenstechnik)

K. Schneider, Heidelberg (Transportbeton)

VDZ und sein Forschungsinstitut

Dr. rer. nat. M. Schneider

Haushaltsbeirat und Rechnungsprüfer

Dipl.-Kfm. K. Brüggem, Oberursel

Dr.-Ing. S. Fink, Wiesbaden (Vorsitzender, ab 10.5.2007)

Dipl.-Bw. G. Geiß, Harburg

V. Janke, Ratingen

Dipl.-Bw. R. Keller, Ulm (RP, ab 29.5.2008)

Dr.-Ing. G. Krogbeumker, Beckum (bis 10.5.2007)

Dipl.-Bw. S. Laube, Wiesbaden (RP)

Dipl.-Kfm. A. Sponnagel, Ulm

Der Verein Deutscher Zementwerke ■

Der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) mit Sitz in Düsseldorf ist die technisch-wissenschaftliche Vereinigung der deutschen Zementindustrie. Sie setzt die Tradition des am 24. Januar 1877 gegründeten Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten fort. Unterschiedliche Standpunkte zwischen der Portland- und der Hüttenzementindustrie in der Frage des Einsatzes von granulierter Hochofenschlacke hatten dazu geführt, dass neben dem 1877 gegründeten Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten ab 1901 der Verein Deutscher Eisenportlandzementwerke und ab 1907 der Verein Deutscher Hochofenzementwerke die technisch-wissenschaftlichen Interessen der deutschen Zementhersteller vertraten. Der Zusammenschluss erfolgte 1948, zunächst unter der Bezeichnung Verein Deutscher Portland- und Hüttenzementwerke. 1952 erhielt die Vereinigung den heutigen Namen Verein Deutscher Zementwerke e. V.

Vereinszweck

Der VDZ verfolgt keine politischen, auf Erwerb abzielenden oder eigenwirtschaftlichen Ziele. Zweck des Vereins ist die Förderung von Technik und Wissenschaft – einschließlich Forschung und Entwicklung – auf dem Gebiet der Herstellung und Anwendung hydraulischer Bindemittel. Die satzungsgemäßen Gemeinschaftsaufgaben umfassen insbesondere die Förderung von Maßnahmen für die Qualitätssicherung, den Umweltschutz und die Arbeitssicherheit. Dem Transfer der wissenschaftlichen oder aus der betrieblichen Praxis gewonnenen Erkenntnisse dienen Veröffentlichungen, Kolloquien, Seminare, Tagungen und Kongresse. Ein weiterer Zweck des Vereins ist die Förderung der Aus- und Weiterbildung junger Führungskräfte. Zur Verwirklichung dieses Zwecks verwaltet der Verein seit Juni 1995 die nicht rechtsfähige Wissenschaftsstiftung der deutschen Zementindustrie, die „Gerd-Wischers-Stiftung“. Die Schulung und Weiterbildung von Mitarbeitern der Mitgliedsunternehmen dient dem gleichen Ziel.

Mitgliedschaft im VDZ

Ordentliches Mitglied kann jede natürliche oder juristische Person werden, die in der Bundesrepublik Deutschland genormte oder bauaufsichtlich zugelassene Zemente bzw. zementartige Bindemittel herstellt. Zementhersteller außerhalb Deutschlands können als außerordentliche Mitglieder ohne Stimmrecht in den VDZ aufgenommen werden. Dem VDZ gehören zur Zeit

v. r.: Andreas Kern (Präsident des BDZ), Gerhard Hirth (Vorsitzender des VDZ) und Martin Schneider (Hauptgeschäftsführer des VDZ) am Rande der Mitgliederversammlung 2009 in Baden-Baden



24 deutsche Zementunternehmen mit 50 Zementwerken als ordentliche Mitglieder sowie 31 ausländische Zementunternehmen als außerordentliche Mitglieder an.

Organe des VDZ

Organe des VDZ sind die Mitgliederversammlung, der Vorstand, die Geschäftsführung, die Leitung des Forschungsinstituts der Zementindustrie und die Überwachungsgemeinschaft des Vereins als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle. Die in der Satzung vorgesehenen jährlichen Mitgliederversammlungen fanden im Berichtszeitraum am 10. Mai 2007, am 29. Mai 2008 und am 14. Mai 2009 jeweils in Baden-Baden statt. Der amtierende Vorstand wurde am 29. Mai 2008 gewählt. Dem Vorstand obliegen grundsätzlich alle Aufgaben des VDZ. Er bestellt auch die Geschäftsführung des Vereins sowie die Leitung des Forschungsinstituts der Zementindustrie. Dabei wird Personalunion angestrebt, die in den letzten Jahrzehnten auch stets gegeben war. Der Hauptgeschäftsführer des VDZ ist von der Mitgliederversammlung als besonderer Vertreter im Sinne § 30 des BGB bestellt.

Ausschüsse, Arbeitskreise und Kommissionen ■

Dem Vorstand stehen beratend Beiräte zur Seite, und zwar einerseits der Technisch-Wissenschaftliche Beirat für die Koordination der Aufgaben der Ausschüsse sowie der Forschungsplanung, -durchführung und -auswertung und andererseits der Haushaltsbeirat für Fragen der Finanzierung des VDZ und seines Forschungsinstituts. Für bestimmte Fachbereiche kann der Vorstand Ausschüsse bilden. In ihnen

sind Fachleute aus den Mitgliedswerken und aus dem Forschungsinstitut gemeinsam tätig. Derzeit gibt es fünf Ausschüsse (Organigramm S. 6). Dabei ist der Rechtsausschuss ein Gemeinschaftsausschuss des VDZ und des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie (BDZ). Auf Vorschlag der Ausschüsse kann der Vorstand zur Bearbeitung bestimmter Fragen Arbeitskreise einrichten, denen auch Fachleute von Nichtmitgliedern angehören können. Außerdem setzt der Vorstand für wichtige, interdisziplinäre Fragen Kommissionen ein, denen neben Mitgliedern des Vorstands Fachleute der verschiedenen Disziplinen angehören. Sie werden – ebenso wie die Arbeitskreise – nach Abschluss ihres Auftrags aufgelöst.

Fachausschuss der Überwachungsgemeinschaft des VDZ

Der Fachausschuss (früher Güteüberwachungsausschuss genannt) ist gemäß der Vereinssatzung das zuständige Organ für die Tätigkeiten als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle) der bauaufsichtlich anerkannten Überwachungsgemeinschaft des Vereins Deutscher Zementwerke. Seine Mitglieder sind vom Vorstand des VDZ gewählt worden. Dem Fachausschuss gehören auch der Leiter und ein weiterer Vertreter des Forschungsinstituts der Zementindustrie sowie der Leiter der PÜZ-Stelle an. Hauptaufgabe des Ausschusses ist die Beurteilung und abschließende Bewertung der Ergebnisse der durch die Überwachungsgemeinschaft des VDZ durchgeführten Zertifizierungen. Diese besteht aus der Überwachung, Beurteilung und Auswertung der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Durchführung von Fremdüberwachungsprüfungen an Zementproben.

Zahlreiche Themen, die sich aus der Überwachungspraxis ergaben, wurden im Berichtszeitraum behandelt und entsprechende Handlungsanleitungen erstellt. So wurden die Mitglieder des Fachausschusses regelmäßig über aktuelle Entwicklungen im Bereich von Normen – insbesondere der Zementnormen – unterrichtet. Das betraf namentlich die europäische Normung von Zementen mit hohem Sulfatwiderstand, die Revision der EN 197-1, Details der Überwachungsnorm EN 197-2 und der Fertigstellung von verschiedenen Normen für Spezialzemente und -bindemittel (Sulfat-Hüttzement, hydraulische Tragschichtbinde- etc.).

Von Bedeutung für die Überwachungsgemeinschaft ist auch das aus dem Jahr 1988 stammende EU-Bauproduktengesetz. Die zugrunde liegende Europäische Bauproduktenrichtlinie wird derzeit überarbeitet und in eine rechtsverbindliche Verordnung überführt. Der existierende Verordnungsentwurf stellt besondere Anforderungen an die Unabhängigkeit der notifizierten Stellen. Insbesondere durch die privatrechtliche Akkreditierung und die Einrichtung eines Zertifizierungs-Beirats hat sich die Überwachungsgemeinschaft des VDZ schon frühzeitig auf diese Entwicklung eingestellt.

Zertifizierungs-Beirat FIZ-Zert

Der Zertifizierungs-Beirat fungiert als Lenkungsgremium der 1998 eingerichteten Zertifizierungsstelle für Managementsysteme FIZ-Zert. Im Zusammenhang mit der 2002 durchgeführten privatrechtlichen Akkreditierung der Überwachungsgemeinschaft des VDZ fungiert er ebenfalls als Beirat für die Produktzertifizierung (vgl. Kapitel IV). Der Beirat besteht aus mindestens fünf stimmberechtigten Mitgliedern der interessierten Kreise. Er wird mindestens einmal pro Jahr einberufen.

Ausschuss Betontechnik

Arbeitskreise: Verkehrsbau, Zement und Zusatzmittel, Ad-hoc-Arbeitskreise und Arbeitsgruppen: Europäische Normung, Untersuchungen AKR, Sulfatwiderstand

Der Ausschuss Betontechnik befasst sich mit aktuellen Fragen der Betonherstellung und -anwendung. Hierbei begleitet er die entsprechenden Forschungsarbeiten des Instituts vor dem Hintergrund einer sachgerechten, qualitätsbewussten und kostengünstigen Anwendung von Zement und Beton in der Praxis.

Der Ausschuss begleitete über die Ad-hoc-Gruppe „Europäische Normung“ intensiv die Normungsarbeit, insbesondere die A2-Änderung und die konsolidierte Fassung zur DIN 1045-2 sowie die Diskussionen zur geplanten Überarbeitung der europäischen Betonnorm EN 206. Weiterhin wurden Prüfverfahren zur Bestimmung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton in Bezug auf ihre Eignung und Übertragbarkeit auf die Praxis eingehend erörtert.

Über den Arbeitskreis „Verkehrsbau“ begleitete der Arbeitsausschuss Baumaßnahmen mit CEM III/A-Zementen auf Bundesstraßen und Autobahnen und die Herstellung von Waschbetonoberflächen. Die TU München wurde mit der „Erstellung einer Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnittes“ beauftragt. Mit den Arbeiten wurde im Juli 2008 begonnen. Des Weiteren ließ der Arbeitsausschuss den Sachstand zu den Einsatzmöglichkeiten der Bauweise „Dünne Verschleißschicht aus Asphalt (Dränasphalt- oder Splittmastixasphalt) auf Betonunterlage“ zusammenstellen.

Die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen in Beton und anderen zementgebundenen Baustoffen (z. B. Estrich) bildet nach wie vor einen Schwerpunkt der Arbeiten des Ausschusses. Die Broschüre „CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau“ wurde erarbeitet. In der Broschüre wurden die anwendungstechnischen Eigenschaften von CEM II- und CEM III/A-Zementen, die ökologischen Vorteile ihrer Verwendung sowie eine Vielzahl praktischer Anwendungsgebiete vorgestellt. Gemeinsam mit dem Bundesverband Estrich und Belag e. V. (BEB) und der Bundesfachgruppe Estrich und Belag im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V. (ZDB) wurde eine gemeinsame Erklärung „Hinweise zur Herstellung zementgebundener Estriche“ herausgegeben. Die Erklärung enthält auch Hinweise zur Verwendung von CEM II-Zementen in Estrichen.

Im Hinblick auf die Fortschreibung der Alkali-Richtlinie wurden Performance-Prüfverfahren zur Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Beton begleitet. Hierzu gehören z. B. der 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen und die Klima-Wechselagerung. Des Weiteren wurden Untersuchungen begleitet, mit denen die Alkaliempfindlichkeit von Beton für Fahrbahndecken in Waschbetonbauweise beurteilt werden kann. Die Eignung von Stein-

kohlenflugasche zur Vermeidung einer schädigenden AKR wurde diskutiert und die künftige Definition von Prüfzementen erörtert.

Vom Arbeitskreis „Zement und Zusatzmittel“ im Rahmen des Koordinierungsausschusses Deutsche Bauchemie/VDZ wurde ein Gespräch mit Vorstandsmitgliedern von VDZ und der Deutschen Bauchemie (DBC) vorbereitet. Schwerpunkt war die Erörterung von Maßnahmen zur Herstellung robuster Betone. Vor diesem Hintergrund kommt der Robustheit der Zusatzmittel und den betontechnischen Grundregeln hinsichtlich eines ausreichenden Leimgehalts zu robusten, leistungsfähigen und dauerhaften Betonen Bedeutung zu. In der Projektgruppe „Schnittstellenfragen“ wurden darüber hinaus wichtige zementseitige Parameter und Inhaltsstoffe bauchemischer Produkte benannt, deren Wechselwirkungen die Betoneigenschaften beeinflussen können.

Der Ausschuss hat schließlich die Darstellung der Umweltauswirkungen begleitet, die mit der Herstellung von Zement und Beton verbunden sind. Hierzu wurden aktuelle umweltrelevante Daten für Zement und Beton für Deutschland, sogenannte Baustoffprofile, vorgestellt. Es wird dabei weiterhin von Durchschnittswerten für eine Tonne Zement bzw. einen Kubikmeter Beton ausgegangen. Diese haben sich im Vergleich zu den Daten für das Bezugsjahr 1996 deutlich verbessert. Das ist insbesondere auf den im Mittel gesunkenen Anteil an Portlandzementklinker im Zement zurückzuführen. Auch die Entwicklung einer europäischen Umweltdeklaration für Zement wurde begleitet. Der Ausschuss unterstützt weiterhin die Bestrebungen, Baustoffe immer im Zusammenhang mit ihrer Anwendung zu bewerten. Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ist hierbei wesentlich.

Ausschuss Zementchemie

Arbeitskreise: Analytische Chemie, Leistungsfähigkeit von Zementbestandteilen

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten des Ausschusses neben den Forschungsaktivitäten des Forschungsinstituts auf die Themen Sulfatwiderstand von Beton, Hüttensandreaktivität, Chromatreduktion zementhaltiger Zubereitungen, Kristalline Kieselsäure, Sicherheitsdatenblätter für Zementklinker und Zement, Alkaliaktivität von Prüfsanden, REACH und Geopolymere.

Untersuchungen zum Einfluss der Hüttenandreaktivität/-qualität auf den Sulfatwiderstand hüttenandhaltiger Betone und Mörtel haben ergeben, dass bei CEM III/A- und CEM II/B-S-Zementen ein Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung der Hüttenande und dem Sulfatwiderstand der Mörtel besteht. Entsprechend diesen Untersuchungen sind aluminiumarme, siliziumreiche Hüttenande vorteilhaft, um einen hohen Sulfatwiderstand zu erzielen.

Bei der Hydratation hüttenandhaltiger Zemente mit vergleichsweise geringer Frühfestigkeit können aus dem Hüttenandglas silikatreiche Hydrogele freigesetzt werden. Bei diesen handelt es sich um plastische Phasen, die die Mörtelnormdruckfestigkeit der betreffenden Zemente herabsetzen. Durch die Zugabe von reaktiven Aluminaten kann die Korrosion der Hüttenande während der Hydratation und damit auch das Ausmaß der Hydrogelbildung verringert werden. Als Ursache für die Korrosionshemmung wird die Bildung von Aluminosilikaten angesehen. Dabei kann eine Aluminatzugabe eine vergleichbar geringe Frühfestigkeit durchaus verbessern, zum Teil sogar verdoppeln. Zemente, die bereits eine hohe Frühfestigkeit aufweisen, können in dieser Hinsicht nicht positiv beeinflusst werden, da sie nicht zur Hydrogelbildung neigen.

Zementhaltige Zubereitungen können trotz Verwendung chromatreduzierter Zemente höhere Chromatgehalte aufweisen, da andere Komponenten der Zubereitung, wie z. B. fein gemahlene Calciumcarbonat, das Lösungsverhalten des Chromats beeinflussen können. Weiterhin scheint die Langzeitstabilität von Zinn(II)sulfat als Chromatreduzierer über den bislang angenommenen Zeitraum in manchen Fällen nicht gegeben zu sein. Der Industrieverband WerkMörtel e.V. (IWM), die Deutsche Bauchemie (DBC) und der VDZ haben ihre Mitglieder über den Sachstand entsprechend informiert und die Empfehlung ausgesprochen, bei zementhaltigen Zubereitungen, die trotz chromatreduzierten Zements zu hohe Chromatgehalte zeigen, eigenverantwortlich Chromatreduzierer nachzudosieren.

Im Juni 2008 wurde die 1. Berichtsphase zum europäischen Sozial-Übereinkommen „Kristalline Kieselsäure“ abgeschlossen. Mit diesem Übereinkommen, an dem sich 15 Industriebranchen beteiligen, soll mittels technischer Arbeitsschutzmaßnahmen der Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer

vor Silicose und Lungenkrebs durch alveolengängigen Quarzstaub (Quarzfeinstaub) verbessert werden. Gelingt dies, kann eventuell auf die Einführung eines europäischen Grenzwertes für Quarzfeinstaub verzichtet werden. Die Zementwerke haben sich zu 100 % an der Studie beteiligt. Bei der Zementherstellung treten erfahrungsgemäß keine oder nur sehr geringe Quarzfeinstaubbelastungen auf.

Zur Bewertung der Alkalireaktivität von Gesteinskörnungen sind in den entsprechenden Regelwerken Prüfverfahren beschrieben, die die Verwendung eines „inerten“ Prüfsands in Kombination mit der zu bewertenden Gesteinskörnung vorsehen. Erste Ergebnisse eines Forschungsvorhabens zum Einfluss quarzitischer, ggf. nicht völlig inerte Sandfraktionen auf die Beurteilung der Alkalireaktivität von Gesteinskörnungen (Splitt) deuten an, dass durch keinen der bislang untersuchten Prüfsande eine fehlerhafte Bewertung der verwendeten Gesteinskörnungen hervorgerufen wird.

Die Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) ist zum 1. Juni 2007 in Kraft getreten. Zementklinker wurde im Anhang V der Verordnung aufgenommen und ist damit von der Registrierungspflicht befreit. Zemente sind Zubereitungen und daher ebenfalls nicht registrierungspflichtig. Registrierungsspflichtige Stoffe sind jedoch z. B. Chromatreduzierer und Mahlhilfsmittel (sofern keine Zubereitung).

Vom europäischen Zementverband CEM-BUREAU wurden neue, REACH-konforme Muster-Sicherheitsdatenblätter für Zementklinker und Zement erstellt. Im Forschungsinstitut wurden hierzu entsprechende deutschsprachige Versionen ausgearbeitet.

Vom Forschungsinstitut wurde eine Literaturstudie zu „Geopolymeren“ erstellt. Geopolymere bilden sich bei der alkalischen Anregung reaktiver Ausgangsstoffe, wie z. B. Metakaolin, Flugasche, Hüttenand und natürlichen Puzzolanen. Dabei entstehen durch Polykondensationsreaktionen amorphe bis semikristalline anorganische, aluminosilikatische Polymere. Bislang werden Geopolymere nur für spezielle Anwendungen eingesetzt. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Reaktionsmechanismen und Produkte, der Reaktivitätssteuerung der Ausgangsmaterialien und der Dauerhaftigkeit der Geopolymere.

Der Arbeitskreis „Analytische Chemie“ hat in den letzten Jahren verschiedene Vergleichsversuche zur Bestimmung von Metall-/Halbmetallspurenbestandteilen durchgeführt. Die Analyse an bereits aufgeschlossenen Proben (Bypassstaub, zinnulfathaltiger Zement) ergab erwartungsgemäß eine bessere Übereinstimmung als die vorhergehenden Vergleichsversuche, bei denen die Teilnehmer den Aufschluss selbst durchführten.

Für die Chromatbestimmung sieht der Arbeitskreis vor, einen Standard zur Verfügung zu stellen. Dazu wird ein hydrophobierter Zement in einer Langzeitstudie in etwa halbjährlichem Abstand hinsichtlich seines wasserlöslichen Chromatgehalts untersucht. Im Vergleich zu den beiden ersten Prüfungen wurden bei der dritten Prüfung – nach einer Lagerungsdauer von ca. einem Jahr – etwa um 1 ppm höhere Werte für den Gehalt an wasserlöslichem Chromat ermittelt. Die Versuche werden weiter fortgeführt.

Der Arbeitskreis „Leistungsfähigkeit von Zementbestandteilen“ begleitet Untersuchungen zur Vermeidung einer schädigenden AKR in Beton durch den Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen. Die Zementbestandteile Hüttenand, Flugasche oder Silicastaub binden zu frühen Reaktionszeiten Alkalien. Offen ist, in welchem Maße diese zu einem späteren Zeitpunkt wieder freigesetzt werden können.

Ausschuss Umwelt und Verfahrenstechnik

Arbeitskreise: Arbeitssicherheit, Feuerfeste Materialien, Umweltverträgliche Abbauführung, NO_x-Minderung, Lehrgangsbeirat, Drehofenbrenner sowie die Ad-hoc-Arbeitsgruppe BAT

Die Arbeitsschwerpunkte des Ausschusses Umwelt und Verfahrenstechnik waren erneut den betrieblichen Anforderungen an eine sichere, energie- und kostengünstige sowie umweltfreundliche Zementproduktion gewidmet. Ein großer Teil der Themenpalette wurde am 31. Januar 2008 in einer Vollsitzung des Ausschusses in Düsseldorf zusammengefasst.

Der Arbeitskreis „Arbeitssicherheit“ hat sich im Berichtszeitraum erneut der Arbeitssicherheitssituation in den Mitgliedswerken und der aktuellen Unfallentwicklung gewidmet. Dazu gehörte die Analyse der Unfallstatistik der deutschen Zementwerke, die sich in den vergangenen Jahren

überwiegend positiv entwickelt hat. Änderungen in der Unfallstatistik hat es zum Berichtsjahr 2008 gegeben; danach gilt ein Werk bereits bei einem Ausfalltag nach dem Unfalltag als nicht mehr unfallfrei. Außerdem erfolgt die Erfassung der Daten zukünftig nur noch auf elektronischem Wege. Weitere Schwerpunkte des Arbeitskreises waren Gefährdungsbeurteilungen, die CE-Konformitätserklärung, die Aktualisierung des Merkblattes „Umgang mit Heißmehl“, die Unterweisungsmatrix, die „Seminarreihe der Steinbruchsberufsgenossenschaft für Meister und Vorarbeiter in der Zementindustrie“, die „Neufassung der Maschinenrichtlinie“ sowie „neue technische Regeln für den Umgang mit Gefahrstoffen (TRGS)“. Zusammen mit der StBG wurde ein Symposium zum Thema „Sicheres Arbeiten im Heißbereich von Zementwerken“ durchgeführt (Göttingen, 24. April 2008). Zur Vorbereitung der neuen Seminarreihe für Meister und Vorarbeiter in der Zementindustrie fand ein Referententreffen statt (Fulda, 17. September 2008), bei dem die Inhalte der neuen Seminarreihe geplant wurden.

Der Arbeitskreis „Feuerfeste Materialien“ hat seine Arbeit in einem Merkblatt zusammengefasst. Hierzu wurde vornehmlich eine Umfrage unter den im Arbeitskreis vertretenen Unternehmen ausgewertet, um deren Betriebserfahrungen und Feuerfestverbräuche zu erfassen. Im Merkblatt wird auf Zustellmethoden, Arbeitssicherheit bei Feuerfestarbeiten, Trocknungs- und Aufheizprozeduren und Eingangskontrollen für Feuerfestmaterialien eingegangen. Weitere Schwerpunkte bilden Ursachen für Schäden am Feuerfestmaterial, Vermessung und Einstellung des Drehofens sowie Einfluss der Einsatzbedingungen auf den Verbrauch feuerfester Materialien. Auch in Zukunft soll der Feuerfestverbrauch der Mitgliedsunternehmen regelmäßig abgefragt werden. Der Ausschuss will hierüber nach Fertigstellung des Merkblattes entscheiden. Die Arbeiten des Arbeitskreises werden voraussichtlich bis Mitte 2009 abgeschlossen sein.

Der Arbeitskreis „Umweltverträgliche Abbauführung“ hat die Ergebnisse seiner Arbeit in einem Leitfaden für die umweltverträgliche Rohstoffgewinnung zusammengefasst und wurde anschließend aufgelöst. Das Merkblatt ist mit einer Auflagenstärke von 2500 Exemplaren gedruckt und den VDZ-Mitgliedern im August 2008 zur Verfügung gestellt worden.

Im Arbeitskreis „NO_x-Minderung“ wurden die verschiedenen Betriebsversuche erör-

tert, mit denen das Minderungspotenzial des SNCR-Verfahrens ausgelotet wurde. In Deutschland und Österreich sind darüber hinaus SCR-Projekte angelaufen, die vom Arbeitskreis in enger Zusammenarbeit mit der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie begleitet wurden. Hierzu wurden die Kontakte zu den SCR-Anlagenbaufirmen und Katalysatorherstellern ausgeweitet. In einem Workshop zum „Stand der NO_x-Minderung in der Zementindustrie“ wurden von Referenten aus der Zementindustrie und dem VDZ sowie aus den Bereichen Anlagenbau, Hochschule und Umweltverwaltung die aktuellen und zukünftigen Anforderungen an die NO_x-Minderungsverfahren in der Zementindustrie zusammengefasst.

Unter Verantwortung des „Lehrgangsbeirates“ werden derzeit die sogenannten Lehrbriefe im Rahmen eines Forschungsvorhabens überarbeitet und auf der neuen e-learning Plattform des VDZ zur Verfügung gestellt. Die ersten 15 Lehrbriefe sind hier bereits verfügbar und werden durch fünf Pilotwerke getestet. Nach der Testphase sollen die übrigen Lehrbriefe durch den VDZ und die AG Lehrbriefe überarbeitet und ebenfalls implementiert werden. Die Plattform soll Anfang 2010 allen VDZ Mitgliedswerken zur Verfügung stehen.

Im Berichtszeitraum wurden der 23. Industriemeister-Lehrgang im März 2009 und der 14. Produktionssteuerer-Lehrgang im September 2008 erfolgreich abgeschlossen.

Der Arbeitskreis „Drehofenbrenner“ hat seine Arbeit erfolgreich aufgenommen. In den 1990er Jahren wurden die Drehofenanlagen mit sogenannten Low-NO_x-Brennern ausgerüstet, um mit geringen Primärluftmengen und der Einstellung eines sauerstoffarmen Flammenkerns eine vergleichsweise NO_x-arme Ofenfahrweise zu erreichen. Der heute übliche hohe Sekundärbrennstoffeinsatz erfordert jedoch höhere Primärluftmengen und Luftüberschüsse für eine schnelle Zündung und gute Verbrennung der Sekundärbrennstoffe. Insofern ermöglicht eine neue Brennergeneration mit einem modifizierten Brennerdesign den Sekundärbrennstoffeinsatz auch bei hohen Substitutionsraten. Im Hinblick auf ein optimales Brennerdesign oder eine optimale Betriebsweise für hohen Sekundärbrennstoffeinsatz ergibt sich jedoch derzeit noch kein geschlossenes Bild. Insofern wird der Arbeitskreis in besonderem Maße Erfahrungen aus den Werken zusammentragen mit folgenden Schwerpunkten: Betriebserfahrungen mit neuen

und modifizierten Drehofenbrennern, Auswirkungen auf Klinkerqualität, Sekundärbrennstoffeinsatz, Verschleiß, Ausbrand, CO- und NO_x-Bildung sowie Ofenbetrieb. Ein entsprechendes Forschungsvorhaben des Forschungsinstitutes wird begleitet.

Die Ad-hoc-Gruppe „BAT“ hat im Berichtszeitraum die Entwürfe des BREF-Dokumentes (Best-Available-Technique-Reference Document) für Zement diskutiert und die wesentlichen Änderungswünsche für den Revisionsprozess miterarbeitet. Die Arbeit der sogenannten Technical Working Group in Sevilla ist mittlerweile nahezu abgeschlossen. Zu folgenden aus Sicht der Zementindustrie wichtigen Punkten wurden bei der Überarbeitung des BREF-Papiers deutliche Verbesserungen erreicht: Energieeffizienz, spezifischer Energieverbrauch für neue/moderne Öfen mit Zyklonvorwärmer bzw. Calcinator, Staubemissionen und NO_x-Emissionen.

Rechtsausschuss

Der Rechtsausschuss hat die ersten Erfahrungen mit der neuen EU-Umwelthaftungsrichtlinie verfolgt, die jeweils in nationales Recht umzusetzen ist. Die Richtlinie führt erstmals ein öffentlich-rechtliches Haftungsregime für sogenannte Biodiversitätsschäden ein. Für die Zementindustrie können die Haftungsrisiken insbesondere beim Betrieb der Steinbrüche, aber auch bei den Emissionen im Zusammenhang mit der Klinker- und Zementherstellung sowie beim Umgang mit Gefahrstoffen liegen.

VDZ-Kommission Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Im Jahre 2000 setzten der Arbeitsausschuss Betontechnik und die Kommission AKR den Ad-hoc-Arbeitskreis „Untersuchungen AKR“ mit der Zielstellung ein, Ergebnisse von Untersuchungen in den Werken zusammenzutragen und weitere Versuchsprogramme untereinander abzustimmen, um so die Forschung auf dem Gebiet der AKR voranzutreiben. Im Vordergrund der Tätigkeit standen:

- Organisation und Auswertung von Ringversuchen,
- Modifikation des Prüfverfahrens nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie und ggf. Entwicklung neuer Prüfverfahren (Schnelltest) für Gesteinskörnungsprüfungen,
- Erarbeitung regionaler Lösungen zur Vermeidung einer schädigenden AKR, um diese in den Kontaktarbeitskreis mit der Gesteinskörnungsindustrie und in

den Unterausschuss „Alkalireaktion im Beton“ des DAfStb einzubringen.

Im Hinblick auf die Fortschreibung der Alkali-Richtlinie hat die Kommission über den Ad-hoc-Arbeitskreis in Abstimmung mit dem Ausschuss Betontechnik Performance-Prüfverfahren zur Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Beton begleitet. Hierzu gehören z. B. der 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen und die Klima-Wechselagerung. Des Weiteren werden Untersuchungen begleitet, mit denen die Alkaliempfindlichkeit von Beton für Fahrbahndecken in Waschbetonbauweise beurteilt werden kann. Die Eignung von Steinkohlenflugasche zur Vermeidung einer schädigenden AKR wurde diskutiert und die künftige Definition von Prüfzementen erörtert.

VDZ/BDZ-Kommission Emissionshandel

Mit der Revision der EU-Emissionshandelsrichtlinie werden die Rahmenbedingungen für den CO₂-Emissionshandel für die Zeit nach 2012 festgelegt. Hierzu hat die EU-Kommission Anfang 2008 einen Entwurf mit folgenden Zielen vorgelegt: Versteigerung als generelle Methode der Zuteilung von Emissionsrechten, stufenweise Einführung der Versteigerung als Zuteilungsmethode für die Industrie, Minderungsziel von 30 % bis 2020 für die EU insgesamt, Minderungsziel von 21 % für den Emissionshandelssektor bis zum Jahr 2020 (Basis 2005). Die Kommission „Emissionshandel“ hat hierzu unterschiedliche Analysen erarbeitet, mit denen insbesondere die freie Zuteilung von Emissionsrechten für die energieintensive Industrie, basierend auf Benchmarks, ermöglicht wird. Ein wesentlicher Bestandteil war hierbei eine Studie von McKinsey&Company, die die Betroffenheit der Zementindustrie im Hinblick auf das sogenannte „Carbon Leakage“ herausgearbeitet hat. Im Dezember 2008 haben das Europäische Parlament und der EU-Rat die Arbeit an der Richtlinie abgeschlossen und der Betroffenheit CO₂-intensiver Industrien Rechnung getragen. Unter bestimmten Voraussetzungen erfolgt die Zuteilung an betroffene Sektoren nicht durch eine Versteigerung, sondern auf Basis von Benchmarks. Insofern kommt nun der Ausgestaltung der Benchmarks auf europäischer Ebene eine besondere Bedeutung zu. Das Forschungsinstitut ist über seine Mitarbeit im CEMBUREAU in die entsprechenden Gespräche eingebunden.

Im Hinblick auf die Selbstverpflichtung der Zementindustrie zur CO₂-Minderung wur-

de das CO₂-Monitoring auch im Berichtszeitraum weiter fortgesetzt und die Brennstoff- und Produktionsdaten der Zementunternehmen abgefragt und zusammengestellt.

VDZ-Kommission Transportbeton

Die Kommission Transportbeton hat sich im Berichtszeitraum mit der Revision der Europäischen Betonnorm EN 206-1, dem Zusammenwirken von Zementen und Zusatzmitteln in Transportbeton sowie den zukünftig anfallenden Mengen an Steinkohlenflugasche beschäftigt.

In den Task Groups TG 5 und TG 17 des CEN/TC 104/SC1 standen die Verwendung und Anrechnung von Betonzusatzstoffen bzw. das Konzept der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit im Mittelpunkt. Dabei liegen unterschiedliche Erfahrungen und Regelungen in den Ländern vor, die an der Ausarbeitung der europäischen Betonnorm beteiligt sind. So können zum Teil Kombinationen von Zementen und Zusatzstoffen aufgrund von Einzelfallnachweisen verwendet werden, in anderen Ländern hat sich das deskriptive k-Wert-Konzept über viele Jahre hinweg etabliert und bewährt.

Das Zusammenwirken von Zementen und Zusatzmitteln in Transportbeton ist in modernen Betonen von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. Eine Optimierung von Zementen auf einzelne Fließmittel ist nicht möglich, da Zemente mit teilweise sehr unterschiedlichen Fließmitteln kombinierbar sein müssen. Um Schwierigkeiten bei der Verwendung von Fließmitteln zu vermeiden, sind außerdem weitere beton-technologische Aspekte zu berücksichtigen, insbesondere ein ausreichender Leimgehalt.

Die Menge an Steinkohlenflugasche (SFA) wird durch den Bau von neuen Kohlekraftwerken in den nächsten Jahren voraussichtlich deutlich ansteigen. Insofern kommt den verbleibenden Potenzialen, Steinkohlenflugasche in Zement und Beton einzusetzen, große Bedeutung zu. Dieses gilt vor allen Dingen vor dem Hintergrund der Qualität von Steinkohlenflugasche, die für die Dauerhaftigkeit von Betonen von entscheidender Bedeutung ist.

Die Kommission erörtert darüber hinaus die Anforderungen an Betone für Brückenkappen, die Zusammenstellung umweltrelevanter Daten für Beton (Umweltdatenblatt) sowie Aspekte der Fremdüberwachung von Beton.

Zusammenarbeit mit anderen Organisationen ■

Der VDZ und sein Forschungsinstitut arbeiten auf zahlreichen Gebieten mit Behörden, Hochschulen, Materialprüfämtern und einer Reihe von Fachverbänden, Normenausschüssen sowie Organisationen verwandter Industrien auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene eng zusammen. Meist erfolgt diese Zusammenarbeit im Rahmen einer Mitgliedschaft von Mitarbeitern des Instituts oder von Mitgliedsunternehmen in den Gremien dieser Organisationen. Auch im Berichtszeitraum hat diese Zusammenarbeit in vielen Fragen zu sehr guten Ergebnissen geführt.

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie

Der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (BDZ) ist der wirtschaftspolitische Zusammenschluss der deutschen Zementhersteller. Er ist die Nachfolgeorganisation der 1911 aus dem „Verein Deutscher Cement-Fabrikanten“ hervorgegangenen „Centralstelle zur Förderung der Deutschen Portland-Cementindustrie“.

Der BDZ vertritt 21 Zement produzierende Unternehmen bzw. Unternehmensgruppen mit 49 Zementwerken. Ein Aufgabenschwerpunkt des Verbands besteht in der Wahrnehmung der wirtschaftspolitischen Interessen seiner Mitglieder gegenüber Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit in der Bundesrepublik Deutschland. Auf internationaler Ebene ist der BDZ Mitglied im CEMBUREAU, der Vereinigung der europäischen Zementhersteller. Auf nationaler Ebene wirkt er im Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden sowie im Bundesverband der Deutschen Industrie mit.

Mit der Abteilung Betoninformationen hat der BDZ im Berichtszeitraum überregionale Aufgaben der ehemaligen Bauberatung Zement wahrgenommen. Zur Bündelung ihrer Marketingaktivitäten arbeiten der BDZ, der Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteileindustrie und der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie in der BetonMarketing Deutschland GmbH als gemeinsame Gesellschafter zusammen.

Zwei Tochtergesellschaften des BDZ, das Informationszentrum Beton (IZB) und der Verlag Bau+Technik, nehmen Teilbereiche der Gemeinschaftsaufgabe zur Imageförderung des Baustoffs Beton wahr.

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF)

Die AiF, zu deren Gründungsmitgliedern der VDZ gehört, fördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft die industrielle Gemeinschaftsforschung, insbesondere die der mittelständischen Industrie. Voraussetzung für die Förderung ist unter anderem, dass die Forschungsvereinigungen zusätzlich zur jeweiligen Fördersumme Eigenmittel in gleicher Höhe zur Verfügung stellen.

In den vergangenen Jahren erhielt der VDZ abermals Fördermittel der AiF für mehrere große Forschungsvorhaben. Hierfür sei der AiF und dem Bundeswirtschaftsministerium auch an dieser Stelle gedankt.

Der VDZ ist durch den Hauptgeschäftsführer im wissenschaftlichen Rat der AiF und durch mehrere Mitarbeiter in verschiedenen Gutachterausschüssen vertreten.

Zementherstellung und Umweltschutz

Im Bereich der Zementherstellung wie auch des Umweltschutzes besteht ein enger fachlicher Kontakt mit dem Bundesverband der Deutschen Industrie und dem Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden. Darüber hinaus arbeitet der VDZ aufgrund der breiten Palette seiner fachlichen Tätigkeitsfelder mit einer Reihe anderer Organisationen zusammen. Hierzu zählen der Verein Deutscher Ingenieure (VDI), die Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung (DVV), die Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB PowerTech), der Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), das FEhS – Institut für Baustoff-Forschung, die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK), die Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs (DVGW), die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) und die German Construction Technology Platform (GCTP). Die Zusammenarbeit mit dem Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie und dessen Forschungsgemeinschaft betrifft vor allem die gemeinschaftlich betriebene Aus- und Weiterbildung der Industriemeister der Fachrichtung Kalk und Zement, die vielfältigen Tätigkeiten auf den Gebieten des Umwelt- und Gesundheitsschutzes sowie der Arbeitssicherheit. Mit vielen Ministerien der Bundesländer und des Bundes steht der VDZ in Fragen des umweltverträglichen Einsatzes von Sekundärstoffen und der CO₂-Minderung bzw. des Handels mit Emissionszertifikaten in regem Austausch. Vertreter des VDZ sind darüber hinaus aktiv in verschiedenen Gre-

mien des Deutschen Instituts für Normung (DIN). Hier sind in erster Linie die Normenausschüsse Bau (NABau) zu nennen. Sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene kooperiert der VDZ sehr eng mit der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen.

Zementanwendung

Der VDZ ist im Vorstand und in den Lenkungsgruppen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) sowie im Beirat und in verschiedenen Arbeitsausschüssen der Normenausschüsse Bauwesen, in Gremien des Normenausschusses Materialprüfung sowie in der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) vertreten. Daneben gehören Mitarbeiter des Forschungsinstituts verschiedenen Gremien und Sachverständigenausschüssen des Instituts für Bautechnik an. Die Mitarbeit in den externen Gremien erstreckt sich insbesondere auf die Beratung, Koordination und Beurteilung von Forschungsvorhaben, auf die Ausarbeitung von Normen, Richtlinien und Merkblättern sowie auf die Beratung zur Erteilung bauaufsichtlicher Zulassungen.

Traditionsgemäß besteht eine enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den technisch-wissenschaftlichen Vereinen und Verbänden der Zementverbraucher, insbesondere mit dem Deutschen Beton- und Bautechnik Verein (DBV), dem Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB) sowie dem Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie (BDB). Zudem erfolgt ein enger fachlicher Austausch mit den Herstellern und Erzeugern weiterer Ausgangsstoffe für zementgebundene Baustoffe, wie der Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB PowerTech), der Deutschen Bauchemie sowie dem Bundesverband der Deutschen Kies- und Sandindustrie.

Für Anwendungen zementgebundener Baustoffe im Bereich Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung bestehen fachliche Kontakte mit der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs (DVGW), dem DIN-Normenausschuss Wasser (NAW) sowie der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV). Enge fachliche Kontakte bestehen auch zum Verband Deutscher Betoningenieure (VDB). Schon seit vielen Jahren werden in einem Kontaktausschuss mit dem Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB) die Fragen der Anwendung von Zementen in Transportbeton beraten und zu übergeordneten Fragestellungen wird eine gemeinsame Basis gesucht. Bereits im Jahr

1990 wurde der Koordinierungsausschuss Betonzusatzmittel mit dem Deutschen Bauchemie e. V. gegründet und im Jahr 2000 ein Kontaktarbeitskreis mit der Kies- und Sandindustrie ins Leben gerufen.

Gemeinschaftsarbeitskreis Beton

Der Gemeinschaftsarbeitskreis Beton (GAK) sieht eine seiner Hauptaufgaben in der Vorbereitung gemeinsamer Initiativen im Bereich der Normung – mit dem strategischen Ziel, die Betonbauweise zu fördern. Im Gemeinschaftsarbeitskreis sind der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB), der Deutsche Beton- und Bautechnikverein (DBV) und der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) vertreten. Die Leitung des GAK wechselt jährlich und lag im Berichtszeitraum bei VDZ und BTB.

Im Berichtszeitraum wurden gemeinsam initiierte Forschungsprojekte z. B. zu den Themen Sichtbeton und Sulfatwiderstand von den Verbänden – z. T. unterstützt durch öffentliche Geldgeber – finanziert und eingehend begleitet. Im Bereich Normung galt es, zu einer Reihe von Auslegungsanfragen zu den neuen Betonnormen Stellung zu nehmen. In den kommenden Jahren wird der GAK insbesondere weitere Normungsaktivitäten auf europäischer Ebene zu verfolgen haben.

Koordinierungsausschuss VDZ/ Deutsche Bauchemie

Der Koordinierungsausschuss, dem Fachleute aus der Zement- und Zusatzmittelindustrie angehören, wird zur Zeit von der Deutschen Bauchemie e. V. geleitet. Die Obmannschaft wechselt alle zwei Jahre.

Der Ausschuss befasst sich intensiv mit Fragen zum Zusammenwirken von Zement und Betonzusatzmitteln. Im Vordergrund standen im Berichtszeitraum die Chromatreduktion in zementhaltigen Zubereitungen, die Wirkungsweise von natürlichen und synthetischen Luftporenbildnern sowie die Wechselwirkungen zwischen Luftporenbildnern und Fließmitteln auf der Basis von Polycarboxylatether (PCE).

In der Projektgruppe „Schnittstellenfragen“ wurde eingehend über die Wechselwirkungen zwischen Zementen und Inhaltsstoffen bauchemischer Produkte diskutiert. Ziel ist es, zement- und zusatzmitteleitige Parameter herauszuarbeiten, die für das robuste Zusammenwirken von Zementen und Zusatzmitteln in Bauprodukten von Bedeutung sind.



Klaus Dyckerhoff übergibt auf der Mitgliederversammlung 2007 eine Forschungsförderung an den VDZ zur Unterstützung junger Wissenschaftler am Forschungsinstitut

Hochschulen

Die Förderung der Hochschultätigkeit auf dem Gebiet der Bauforschung und der Bautechnik ist seit jeher ein Anliegen des VDZ. Auch im Berichtszeitraum stellte er wieder Mittel für Forschungsarbeiten an Hochschulinstituten zur Verfügung. Er ist gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie an einer Stiftungsprofessur an der Technischen Universität Clausthal beteiligt und fördert so den dortigen Lehrstuhl „Bindemittel und Baustoffe“. Ferner nehmen Mitarbeiter des Forschungsinstituts Lehraufträge an technischen Universitäten wahr.

Internationale Zusammenarbeit

CEMBUREAU ist der europäische Dachverband, in dem 26 nationale Zementverbände länderübergreifend zusammenarbeiten. Der VDZ bringt sich seit vielen Jahren mit seiner technisch-wissenschaftlichen Expertise in diese Gemeinschaftsarbeit ein. Im Berichtszeitraum standen in besonderem Maße Themen des Umweltschutzes und der CO₂-Minderung im Vordergrund. So stellt der europaweite Handel mit Emissionszertifikaten seit Beginn des Jahres 2005 die europäische Zementindustrie vor enorme Herausforderungen. Das gilt insbesondere für die Fortschreibung des Emissionshandels in die dritte Handelsperiode ab dem Jahr 2012. Zu den weiteren Schwerpunkten der gemeinsamen europäischen Arbeit zählten das BAT Referenzdokument für die Zementherstellung und die Überarbeitung der IVU/IPPC Richtlinie (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung/Integrated Pollution Prevention and Control).

In die europäische Normungsarbeit ist der VDZ seit vielen Jahren intensiv eingebunden. Im Vordergrund stehen dabei die Arbeiten des CEN/TC 51 (Zementnormung)

und des CEN/TC 104 (Betonnormung). Im Normungskomitee CEN/TC 350 werden Anforderungen an die Nachhaltigkeit im Bauwesen (engl. sustainability of construction work) erarbeitet. Das Normungsgremium CEN/TC 351 erörtert harmonisierte Testverfahren, mit denen die Freisetzung von Inhaltsstoffen aus Bauprodukten untersucht werden können. Hintergrund ist die Diskussion über Stoffe, die gegebenenfalls für die Umwelt – und hier stehen Boden und Grundwasser im Vordergrund – von Bedeutung sein können.

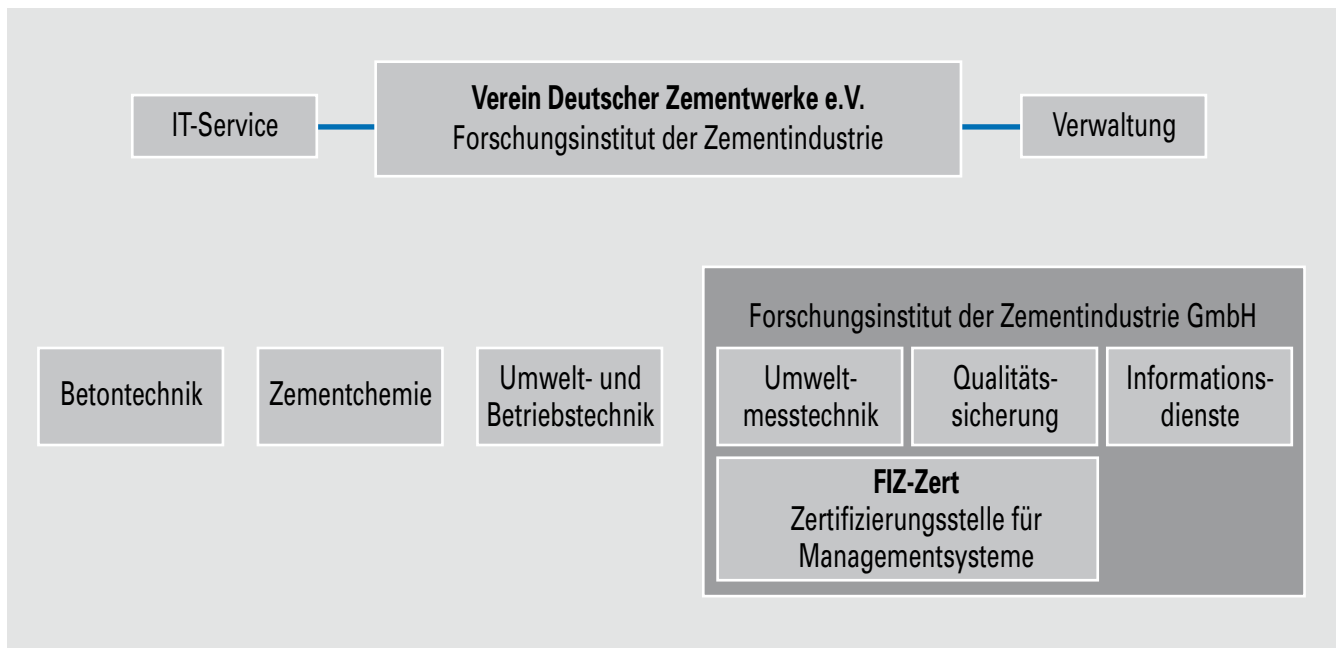
Der europäische Dachverband der Baustoffhersteller (CEPMC) ist nach wie vor auch für die Zementindustrie eine wichtige Plattform, um europäische Entwicklungen frühzeitig erkennen zu können. Insbesondere in Fragen der Umweltauswirkungen von Baustoffen ergeben sich für alle Baustoffhersteller gemeinsame Interessen. Gleiches gilt für die energetischen Anforderungen an Gebäude. Gemeinsam mit dem deutschen Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden arbeitet der VDZ daran, deutsche Positionen für die Diskussion in Brüssel zu entwickeln.

Nach wie vor ist der VDZ eingebunden in wissenschaftliche Projekte, in denen sich Synergien durch eine länderübergreifende Zusammenarbeit ergeben. Im europäischen Forschungs- und Ausbildungskonsortium NANOCEM arbeitet der VDZ seit dessen Gründung mit. NANOCEM besteht aus 30 Partnerorganisationen. Hierzu zählen Universitäten, nationale Forschungseinrichtungen und industrielle Partner. Mehr als 120 Forscher arbeiten in NANOCEM zusammen. Ziel ist es, die Kenntnisse über die Nano- und Mikrostrukturen des Zementsteins zu verbessern, um makroskopische Eigenschaften zementgebundener Baustoffe besser zu verstehen.

Über die Zusammenarbeit mit den zuvor genannten internationalen Organisationen hinaus pflegen der VDZ und sein Forschungsinstitut Kontakte zu weiteren europäischen und internationalen Organisationen. Hierzu gehören die befreundeten Verbände der Zementindustrie und ihre technisch-wissenschaftlichen Organisationen im nahen europäischen Ausland. Die Zusammenarbeit erfolgt auf vielfältige Weise, insbesondere in den Gremien der Europäischen Normungsorganisation CEN und des europäischen Zementverbands CEMBUREAU. Eine stetige Zusammenarbeit besteht mit dem indischen National Council for Cement and Building Materials (NCB), der China Building Materials Industry Association (CBMIA), dem koreanischen Zementverband (KCIA), dem ungarischen Zementforschungsinstitut CEMKUT und der Technischen Universität im indonesischen Bandung. Mit der US-amerikanischen Portland Cement Association (PCA) fand im Berichtszeitraum zu verschiedenen Themen erneut ein reger Austausch statt. Im Vordergrund stehen Fragen des Umweltschutzes, der Dauerhaftigkeit von Beton sowie der CO₂-Minderung. Weitere Kontakte unterhält der VDZ zum Internationalen Normenausschuss (ISO), zur Fédération Internationale du Béton (fib) und zur Internationalen Vereinigung der Versuchs- und Forschungslaboratorien (RILEM), zum Internationalen Institut für Flammenforschung (IFRF), zum Amerikanischen Betoninstitut (ACI) und zur Amerikanischen Gesellschaft für Prüfung und Werkstoffe (ASTM). Darüber hinaus bestehen Kontakte zu vielen Forschungseinrichtungen weltweit.

European Cement Research Academy (ECRA)

Die European Cement Research Academy kann im Berichtszeitraum erneut auf eine erfolgreiche Arbeit zurückblicken. Zu den etwa 40 Mitgliedern gehören Zementhersteller und Zementverbände, die auf der ECRA-Ebene mitarbeiten, sei es in gezielten Weiterbildungsmaßnahmen oder in Forschungsprojekten zu ausgewählten Themen. Im Vordergrund standen erneut Fragen der Zementherstellung und der Zementanwendung, erstmalig wurden dabei zwei größere Forschungsarbeiten initiiert. Der Frage der CO₂-Abscheidung für eine anschließende Speicherung wird in einem Forschungsverbund nachgegangen, in dem neben den ECRA-Mitgliedern auch Anlagenhersteller mitarbeiten. Die Bestimmung des biogenen CO₂-Gehaltes in Abgasen von Drehofenanlagen mithilfe der ¹⁴C-Methode wird gemeinsam mit Forschungsinstituten und Hochschulen entwickelt. Darüber



hinaus wurde die ECRA eingebunden in Arbeiten zum Brandschutz im Bauwesen, zu Umweltdatenblättern sowie zur Recarbonatisierung von Beton. Auf der internationalen ECRA-Konferenz in Prag wurde über verschiedene Themen berichtet, die für die Zementindustrie von übergeordneter Bedeutung sind. Hierzu gehören z. B. die nachhaltige Betonherstellung mithilfe innovativer Zemente oder die Minderung von CO₂-Emissionen durch den sachgerechten Einsatz von alternativen Brennstoffen. Die ECRA wird von einem Technical Advisory Board geleitet, in dem führende Zementhersteller vertreten sind. Hierzu gehören die Unternehmen Buzzi, Cemex, CRH, HeidelbergCement, Holcim, Italcementi, Schwenk, Titan Cement, Vicat und Aalborg.

Vermittlung der Erkenntnisse ■

Die zahlreichen Arbeitsergebnisse der Ausschüsse, Arbeitskreise und Kommissionen sowie der Forschungstätigkeit des Instituts werden sowohl den Mitgliedern als auch der interessierten Fachwelt in zahlreichen Veröffentlichungen, Kolloquien, Seminaren, Vortragsveranstaltungen und Tagungen zugänglich gemacht. Diese Publikationen werden dabei überwiegend in elektronischer Form auf den Internet-Seiten des VDZ zur Verfügung gestellt. Ferner können sie über die VDZ-Seiten oder den gemeinsam mit dem BDZ und der BetonMarketing Deutschland GmbH im Internet betriebenen Beton-Shop unter www.bdz-vdz.betonshop.de online bestellt werden.

Veröffentlichungen

Erneut erschien 2007 eine aktuelle Ausgabe der „Umweltdaten der deutschen Zementindustrie“, mit denen eine umfassende, laufend aktualisierte Dokumentation umweltrelevanter Daten der deutschen Zementindustrie vorliegt. Ebenso fortgesetzt wurde der CO₂-Monitoring-Report.

In den dreimal jährlich erscheinenden VDZ-Mitteilungen wurde gewohnt zeitnah über die Tätigkeiten des VDZ und seines Forschungsinstituts informiert. Zahlreiche Beiträge waren im Berichtszeitraum u. a. den Entwicklungen auf dem Gebiet des CO₂-Emissionshandels, REACH, der AKR sowie den Ausarbeitungen zum Stand der Technik der Zementherstellung (BAT) gewidmet. Darüber hinaus wurde wie üblich über aktuelle Forschungsarbeiten im FIZ berichtet und über Ergebnisse aus anderen Forschungseinrichtungen informiert.

Zusätzlich zu den VDZ-Mitteilungen erschienen wiederum zahlreiche Sicherheitsmerkmale und -prüflisten, die wichtige Themen der Arbeitssicherheit aufgreifen und Möglichkeiten der Gefahrenprävention vorstellen.

Im Berichtszeitraum sind erneut eine Vielzahl von Forschungsthemen bearbeitet und veröffentlicht worden. Einige davon waren die Grundlage für erfolgreiche Dissertationen, die im Forschungsinstitut betreut wurden. So haben sich Christian Schneider und Vera Tigges aus unterschiedlichen Blickwinkeln mit den Eigenschaften und der Charakterisierung von Hüttensanden beschäftigt. Stefan Seemann hat die Ergeb-

nisse seiner Arbeit zum Einfluss der Mahlatmosphäre auf die Eigenschaften von hüttensandhaltigen Zementen zusammengefasst. In einer betontechnischen Arbeit hat Eberhard Eickschen umfassende Ergebnisse zu den Wirkungsmechanismen von Luftporen bildenden Zusatzmitteln erarbeitet. Neben diesen Arbeiten konnte das Forschungsinstitut die Möglichkeit für eine Vielzahl von Diplom- und Studienarbeiten bieten, die sich mit den unterschiedlichsten Themen der Zementherstellung und -anwendung befassen.

Aus- und Weiterbildung

Die Aus- und Weiterbildung und der Wissenstransfer gehören zu den wichtigsten Aufgaben des VDZ. Mit seinem Weiterbildungswerk bietet er Schulungen in technischen Grundlagen der Zementherstellung, die vertiefte Vermittlung von speziellem Fachwissen und langfristige Weiterbildungskurse für Führungskräfte an. Hierzu gehören die Lehrgänge zum Industriemeister und Produktionssteuerer, aber auch Seminare zu den Themen Qualitätssicherung, Umweltschutz und Zementanwendung.

Der Industriemeisterlehrgang „Kalk/Zement“ wird nunmehr seit fast fünf Jahrzehnten gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie durchgeführt. Die Lehrgänge, die in eine theoretische und eine praktische Ausbildung untergliedert sind, dauern 18 Monate und schließen mit einer Prüfung vor der Industrie- und Handelskammer Düsseldorf ab. Im Oktober 2007 startete der erste Internatsabschnitt des 23. Industriemeisterlehrgangs. Die Teilnehmer aus der Kalk- und

Zementindustrie wurden in den folgenden 18 Monaten auf die Abschlussprüfung vorbereitet, die am 11. März 2009 in Düsseldorf stattfand. Erstmals wurde der Kurs in der neuen Schulungsstätte in Hilden durchgeführt. Nicht zuletzt die sehr guten Rahmenbedingungen, die die neue Schulungsstätte bietet, haben zu der erfolgreichen Durchführung des Kurses beigetragen.

Neben der Aus- und Weiterbildung der Meister werden im Rahmen des VDZ Bildungswerks auch die Leitstandsfahrer gezielt geschult. Die Weiterbildung sieht einen siebenwöchigen theoretischen Weiterbildungsabschnitt beim VDZ und einen praktischen Teil in den jeweiligen Werken vor. Während des Kurses werden den Teilnehmern die Grundlagen der Betriebs-, Brenn-, Aufbereitungs-, Mess- und Regeltechnik sowie der Umwelttechnik vermittelt.

Wissenschaftsstiftungen

Die am 2. Juli 1995 ins Leben gerufene „Gerd-Wischers-Stiftung“ fördert die Aus- und Weiterbildung wissenschaftlicher Nachwuchskräfte. Die Stiftung verfügt über ein Vermögen von € 1 533 875. Von den Zinserträgen können jeweils vier bis fünf Stipendien parallel vergeben werden. In der Berichtszeit wurden zwei Dissertationen zu den Themen Herstellung und Steuerung der Verarbeitungseigenschaften selbstverdichtender Betone sowie zur Alkalität der Porenlösung erfolgreich abgeschlossen. Eine laufende Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Betontechnik befasst sich mit der Wirkungsweise von Schwindreduzierern. Darüber hinaus konnten verschiedene Stipendien mit einer kürzeren Laufzeit für Diplomarbeiten auf dem Gebiet der Betontechnik und Forschungsarbeiten zur Emissionserfassung vergeben werden.

Die Dyckerhoff-Stiftung unterstützt seit vielen Jahren Arbeiten junger Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen im Forschungsinstitut. So wurden beispielsweise im Berichtszeitraum Arbeiten zum Verhalten der Flugasche im Zement sowie zur Modellierung der Zementhydratation gefördert.

Forschungsinstitut der Zementindustrie ■

Zur Durchführung seiner Aufgaben unterhält der VDZ das Forschungsinstitut der Zementindustrie. Die Institutsleitung legt die Aufgaben im Einzelnen in Abstimmung

mit dem Technisch-Wissenschaftlichen Beirat und mit Zustimmung des Vorstandes fest. Mit seinem Forschungsinstitut verfügt der VDZ über eine renommierte und international anerkannte wissenschaftliche Einrichtung. Diese deckt alle Bereiche der Zementherstellung und -anwendung ab. Das Institut verfügt über einen modernen Gerätepark und ist auch für anspruchsvolle Grundlagenuntersuchungen optimal ausgestattet. Das Forschungsinstitut kann auch für Dritte tätig werden, z. B. indem es öffentlich-rechtliche Aufgaben als amtlich bekannt gegebene Emissionsmessstelle oder als amtlich anerkannte Prüfanstalt wahrnimmt. Darüber hinaus bietet das Forschungsinstitut in zunehmendem Maße gutachterliche und beratende Unterstützung in fachlichen Angelegenheiten im Rahmen des Vereinszwecks an. Fachlich gliedert sich das Institut in fünf Fachabteilungen.

Die Abteilung „Zementchemie“ des Forschungsinstituts befasst sich mit dem gesamten Lebensweg von Zement, angefangen mit der Herstellung über die Verwendung bis hin zum Recycling zementgebundener Baustoffe. Die Charakterisierung der Roh- und Brennstoffe sowie die Reaktionen beim Brennen von Zementklinker stehen ebenso im Fokus wie die Vorgänge beim Erstarren und Erhärten der Zemente. Auch die Wechselwirkungen verschiedener Zementhauptbestandteile untereinander oder mit Zusatzstoffen/-mitteln sowie betonschädigende Reaktionen werden intensiv untersucht. In diesem weiten Arbeitsgebiet hat neben der klassischen anwendungsbezogenen Forschung in den letzten Jahren der Dienstleistungsbereich zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Die Herstellung von Zement beginnt mit dem Abbau des Rohmaterials im Steinbruch und dem anschließenden Klinkerbrenn- und Mahlprozess im Zementwerk. Hier setzen die Arbeits- und Forschungsschwerpunkte der Abteilung „Umwelt- und Betriebstechnik“ an. Entsprechend der Komplexität und Vielfalt der umwelt- und verfahrenstechnischen Aspekte, die bei einer umweltfreundlichen, energetisch effizienten und zugleich wirtschaftlichen Herstellung von Zement zu berücksichtigen sind, ist die Abteilung Umwelt- und Betriebstechnik aus Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen zusammengesetzt, unterstützt von Technikern und Laboranten mit langjähriger Theorie- und Praxiserfahrung. Sowohl ein Umwelt- als auch ein verfahrenstechnisches Labor und moderne Messausrüstungen für Untersuchungen und

Optimierungen in Zementwerken bilden die Basis zur Durchführung umfangreicher Forschungen. Darüber hinaus bietet die Abteilung ein breit gefächertes Dienstleistungsspektrum im Bereich der Umweltgutachten, Umweltberatung und Weiterbildung an.

Die Abteilung „Umweltmesstechnik“ ist als unabhängige Messstelle bekannt gegeben. Auf Grundlage dieser Bekanntgabe können Arbeiten auch im gesetzlich geregelten Bereich durchgeführt werden. Dadurch ist die Umweltmessstelle beispielsweise auch befugt, gesetzlich geforderte Abnahmemessungen durchzuführen. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Internationalisierung der Zementindustrie werden die Leistungen der Umweltmessstelle in der jüngeren Vergangenheit auch verstärkt aus dem Ausland angefragt. Die Umweltmessstelle besteht aus einem interdisziplinären Team von Ingenieuren, Naturwissenschaftlern sowie Laboranten und Technikern mit langjähriger Praxiserfahrung. Auf dieser Grundlage werden Dienstleistungen in allen umweltrelevanten Bereichen angeboten. Hierzu gehören vor allen Dingen sämtliche Emissionsmessungen, die sich aus den entsprechenden Regelwerken ergeben.

Die Abteilung „Qualitätssicherung“ führt Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsdienstleistungen durch. Sie arbeitet als anerkannte Stelle überwiegend im gesetzlich geregelten Bereich. Güteüberwachung und Qualitätssicherung von Zement und zementhaltigen Bindemitteln durch die Überwachungsgemeinschaft gehören zu den traditionellen Kernkompetenzen des Vereins Deutscher Zementwerke. Die Abteilung übernimmt hier die Aufgaben der VDZ-Überwachungsgemeinschaft als gesetzlich anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für Bauprodukte.

Die Abteilung „Betontechnik“ befasst sich mit aktuellen Fragestellungen auf den Gebieten der Betonausgangsstoffe sowie der Betontechnologie und -anwendung. Basierend auf den umfangreichen Erkenntnissen aus diversen Forschungsvorhaben werden in zunehmendem Maße spezielle Entwicklungen und Optimierungen von Beton- und Mörtelmischungen für den jeweiligen Anwendungsbereich der Kunden vorgenommen. Ein eher klassisches Dienstleistungsangebot im Bereich Betontechnik stellt die Durchführung von Bauzustandsanalysen und die anschließende Bewertung dar. Sofern sich hieraus Instandsetzungsmaßnahmen ergeben, kann die notwendige Beratungsleistung angeboten werden. Auf-

grund der führenden Rolle des FIZ bei Fragestellungen zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion werden in großem Umfang Gutachten erstellt und Bewertungen von Gesteinskörnungen vorgenommen. Die Bewertung von chemischen Angriffen auf Beton wird zum einen von der Beton- und Stahlbetonindustrie abgefragt, zum anderen wurden u. a. Gutachten zu Abwasserkanälen oder Kläranlagen erstellt.

Die allgemeinen Dienste im Forschungsinstitut umfassen die Bereiche Verwaltung, Information und Datenverarbeitung mit Rechenzentrum, Bibliothek, Dokumentations- und Verlagsaufgaben sowie die mechanische und elektronische Werkstatt. Die Laboratorien des Forschungsinstituts sind akkreditiert, gleichzeitig verfügt das Institut über ein zertifiziertes Qualitäts- und Umweltmanagementsystem. Das Organigramm auf Seite 15 zeigt die Struktur des Instituts mit den einzelnen Abteilungen und der Zertifizierungsstelle für Managementsysteme, FIZ-Zert.

Zum Zeitpunkt der Berichterstattung sind rund 160 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Forschungsinstitut beschäftigt. Das Institut stellt zurzeit insgesamt sieben Ausbildungsplätze in unterschiedlichen Bereichen zur Verfügung. Im Berichtszeitraum haben zwei Auszubildende zum Chemielaboranten ihre Lehre im Institut erfolgreich abgeschlossen.

Datenverarbeitung/EDV

In den Jahren 2007 und 2008 wurde die Konsolidierung der IT zum größten Teil abgeschlossen. Die Anbindung der Standorte Berlin (BDZ) und Erkrath (BMD) wurde durch zusätzliche DSL-Leitungen optimiert.

Softwaretechnisch wird auf Client-Seite das Betriebssystem Microsoft Windows XP und Office 2003 eingesetzt. Auf Server-Seite kommt Windows Server 2003 zum Einsatz. Spezialsoftware, die hauptsächlich im Rahmen der Messdatenerfassung oder allgemein im wissenschaftlichen Bereich eingesetzt wird, rundet das Spektrum ab. Darüber hinaus werden individuelle Systeme z. B. für das Labormanagement und das Laborcontrolling eingesetzt. Eine Umstellung des Client-Betriebssystems (z. B. auf Windows Vista) ist kurzfristig nicht vorgesehen.

Insgesamt werden 16 Server und 170 Arbeitsplätze an drei Standorten betreut. Hauptprojekte im Berichtszeitraum waren u. a. die Einführung eines neuen Storage-Systems, die Ablösung von lokalen Ar-

beitsplatzdruckern durch zentrale Drucksysteme und die Erweiterung der Backupkapazitäten durch LTO3 Bandspeicher sowie Online-Festplattenspeicher.

Die Installation der im Haus verfügbaren AccessPoints wurde erweitert, sodass alle Besprechungsräume sowie der Eingangsbereich mit einem Wireless LAN Zugang ausgestattet sind.

Geplant ist die Einführung eines Dokumentenmanagementsystems mit Workflow-Komponente. Das System wird im Moment getestet, ein Pilotprojekt ist für das II. Quartal 2009 vorgesehen. In einem weiteren Pilotprojekt wird die Nutzung von Thin-Clients erprobt.

Informationsstelle – Bibliothek

Die Informationsstelle stellt den Mitarbeitern des Forschungsinstituts eine umfangreiche Literatursammlung zur Verfügung, die von Außenstehenden nach Absprache benutzt werden kann. Der Bestand umfasst gegenwärtig rund 40 000 Bände (Stand: Ende März 2009). Darin sind etwa 14 000 Monographien, 21 000 Serienbände, 5 000 Normen sowie zahlreiche Forschungsberichte, Jahresberichte und Sonderdrucke enthalten. Etwa 160 laufende Zeitschriften, die der aktuellen Informationsversorgung dienen, werden zurzeit gehalten. Die wissenschaftlichen Mitarbeiter werten die Zeitschriften aus und erschließen relevante Aufsätze inhaltlich. Im Rahmen dieser Auswertung werden alle als wichtig erachteten Aufsätze in die Literaturdatenbank übernommen. Diese umfasst derzeit rund 63 000 Datensätze. Die Datensätze beinhalten eine bibliographische Beschreibung der enthaltenen Literaturhinweise und eine inhaltliche Erschließung mittels Deskriptoren eines kontrollierten Vokabulars (Thesaurus). In den kommenden Jahren wird die Literaturdatenbank bei der laufenden Nacherfassung des Zettelkatalogs, der Literaturnachweise vor 1985 verzeichnet, einen bedeutenden Datenzuwachs erhalten. Für die Systematisierung und Aufstellung der Medien wird die ZKG-Systematik verwendet, mit der Monographien klassifiziert und thematisch geordnet aufgestellt werden können. Die Informationsstelle ist bei der Herstellung, Herausgabe und dem Versand von Veröffentlichungen des VDZ beteiligt. Neben dem Vertrieb über den gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Zementindustrie und der BetonMarketing Deutschland GmbH im Internet betriebenen Beton-Shop (www.bdz-vdz.betonshop.de) unterhält die Informationsstelle einen umfangreichen und regen Schriftentausch mit in- und aus-

ländischen Forschungsstellen. Auf diese Weise wird der Zugriff auch auf ansonsten schwer zugängliche Literatur aus den Sammelgebieten Betontechnik, Zementchemie, Verfahrenstechnik und Umweltschutz ermöglicht.

Zentrale Aufgabe der Informationsstelle ist es, Informationen für die Mitarbeiter und die Mitglieder des VDZ zeitnah und umfassend zur Verfügung zu stellen. Insofern kommt der Verfügbarkeit von Informationen und Dokumenten in elektronischer Form zunehmend Bedeutung zu. So wird seit dem Jahr 2009 die Literaturdatenbank mit eingescannten Inhaltsverzeichnissen von Büchern und Zeitschriften angereichert. Damit wird ein direkter Zugriff auf zusätzliche Informationen zu den gefundenen Literaturstellen sowie ein zusätzlicher Rechercheeinstieg durch die Volltextsuche in den Inhaltsverzeichnissen ermöglicht. Darüber hinaus leisten konventionelle und elektronische Dokumentenlieferdienste, über die im Haus nicht vorhandene Literatur beschafft wird, einen wichtigen Beitrag zur Informationsversorgung des Hauses.

Seit 2006 wird in der Informationsstelle das Datenbank- und Retrievalsystem FAUST eingesetzt. Durch die hohe Flexibilität dieses Systems werden in Zukunft eine hohe Integration der einzelnen Datenbankanwendungen und die Entwicklung sowie der Aufbau neuer Datenbankanwendungen als weitere Dienstleistungen möglich werden.

Akkreditierung/Zertifizierung

In den vergangenen Jahren haben sich die Aufgabenschwerpunkte des Forschungsinstituts weiter verschoben. So wurde im Berichtszeitraum neben den Forschungsaktivitäten insbesondere das Dienstleistungsangebot in allen Fragen der Zement- und Betonherstellung weiter verstärkt. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf eine hohe Effizienz sowohl im Institut als auch bei den jeweiligen Tätigkeiten vor Ort gelegt. Die Abläufe werden dabei maßgeblich durch ein integriertes Qualitäts- und Umweltmanagementsystem auf der Grundlage der Normen DIN EN ISO 9001 bzw. DIN EN ISO 14001 geregelt. Beide Managementsysteme wurden im Jahr 2008 bereits zum zweiten Mal erfolgreich durch unabhängige Sachverständige zertifiziert. Daneben sind das Forschungsinstitut sowie die Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH auf Grundlage der internationalen Norm DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Diese Akkreditierung der Laboratorien umfasst insgesamt etwa 300



Der Führungskreis (v. l.):
 Klaus Meyer,
 Stefan Schäfer,
 Silvan Baetzner,
 Christoph Müller,
 Martin Schneider,
 Martin Oerter,
 Volker Hoenig,
 Jörg Rickert

Prüfmerkmale. Zudem werden die Anforderungen an unabhängige Mess- und Prüfinstitute zur Erfassung von Emissionen und Immissionen im vollen Umfang erfüllt. Hinzu kommt, dass die Überwachungsgemeinschaft des VDZ die Kompetenz nach DIN EN 45011 zur Zertifizierung von Produkten besitzt. Auch dieser Kompetenznachweis konnte in einem entsprechenden Akkreditierungsverfahren nachgewiesen werden. Damit werden sämtliche Anforderungen erfüllt, die von nationalen und internationalen Auftraggebern an qualifizierte Mess- und Prüfinstitute gestellt werden. Vor diesem Hintergrund ist es nur eine logische Konsequenz, dass die verschiedenen Bereiche und Labore in den vergangenen Jahren vermehrt auch international als Dienstleister auftreten konnten. Dies gilt insbesondere auch für Tätigkeiten im baurechtlich bzw. immissionsschutzrechtlich geregelten Bereich. Speziell für diese Aufgaben stellt die Akkreditierung ein wertvolles Qualifikationskriterium dar, welches nach wie vor eine hohe Akzeptanz am Markt findet.

Dienstleistungen ■

Das Forschungsinstitut kann auch für Dritte tätig werden, indem es gutachterliche oder beratende Dienstleistungen in fachlichen Angelegenheiten im Rahmen des Vereinszwecks erbringt. Hierzu gehört auch die Wahrnehmung öffentlich-rechtlicher oder privatrechtlicher Aufgaben, z. B. durch die Arbeit der Überwachungsgemeinschaft als Prüf-, Überwachungsgemeinschaft als Prüf-, Überwachungsgemeinschaft und Zertifizierungsstelle für Managementsysteme (Umwelt und Qualität). Die Dienstleistungen werden getrennt von den ideellen Arbeiten der Gemeinschaftsforschung des VDZ erbracht. Die einzelnen Projekte werden separat abgerechnet und unterliegen nach innen wie nach außen strengen Vertraulichkeitsanforderungen. Beratungsdienstleistungen werden auf der Grundlage feststehender Tagessätze angeboten und in Rechnung gestellt. Standar-

dierte Tätigkeiten werden als Festpreisdienstleistungen erbracht.

Mörtel und Beton

Forschung und Dienstleistungen in den Bereichen Mörtel und Beton umfassen aktuelle und wichtige Fragestellungen auf den Gebieten der Betonausgangsstoffe, der Bonteknologie und Betonanwendung. Zu dem Dienstleistungsangebot gehört die Optimierung und Verwendung von Hochofen- und Portlandkompositzementen. Auch wurden Projekte zur Verbesserung des Säure- und des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstands bearbeitet. Weitere Arbeiten wurden auf dem Gebiet der schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktionen und des Sulfatwiderstandes durchgeführt. Insgesamt umfasst das Dienstleistungsangebot die folgenden Auftragsuntersuchungen:

- Entwicklung optimierter Beton- und Mörtelmischungen für den jeweiligen Anwendungsbereich des Kunden
- Prüfung von Frisch- und Festbeton bzw. Frisch- und Festmörtel
- Untersuchung der Dauerhaftigkeit:
 - Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand nach dem CF-, CIF-, CDF-, Würfel-, Platten- und Balken-Verfahren
 - Alkali-Kieselsäure-Reaktion in der 40 °C-Nebelkammer und mit dem 60 °C-Test (Performance-Verfahren)
 - Chloridmigrationsprüfung
 - Eindringverhalten wassergefährdender Stoffe
 - Schleifverschleiß
 - Ermittlung der Luftporenkennwerte am Festbeton
- Untersuchung der Porenstruktur, u. a. mit der Quecksilberintrusionsmessung, der Permeabilitätsmessung und der Messung der Wasseraufnahme (15 MPa)
- Rheologische Untersuchungen mit dem Viskomat
- Hydratationswärmebestimmung (isotherm und teiladiabatisch)
- Auspressen von Porenlösung aus Beton zur Bestimmung von pH-Wert und Leitfähigkeit

- Bestimmung des Zeta-Potenzials mit der elektroakustischen Messmethode
- Prüfung von Zusatzmitteln
- Erstprüfung nach DIN EN 934-2
- Elektrochemische Korrosionsprüfung nach DIN V 18998
- Untersuchung von Gesteinskörnung
- Prüfung von Einpressmörtel

Chemie und Mineralogie

Das Verständnis der chemisch-mineralogischen Vorgänge bei der Zementherstellung und -anwendung ist eine wesentliche Voraussetzung für die Optimierung des Klinkerbrennprozesses und der Produkteigenschaften. Die Arbeiten im Bereich der Zementchemie orientieren sich an aktuellen Fragestellungen und umfassen sowohl die Beurteilung und Optimierung von Zementhauptbestandteilen als auch die Entwicklung von Prüfverfahren und Messmethoden. Hierzu verfügt das Institut über ein leistungsstarkes analytisches Labor mit einer umfangreichen technischen Ausstattung. Das Labor ist akkreditiert nach ISO/IEC 17025. Aufgrund seiner langjährigen Zusammenarbeit mit Zementherstellern und Betonanwendern besitzt das Forschungsinstitut große Erfahrung bei der Beratung, Analyse und Methodenentwicklung im Bereich chemisch-mineralogischer Prüfungen an Rohstoffen, Zementen und daraus hergestellten Produkten. Das Dienstleistungsangebot umfasst die nachfolgenden Auftragsuntersuchungen:

- Charakterisierung von Portlandzementklinkern
- Quantitative Phasenanalyse mittels Rietveld-Verfeinerung
- Referenzuntersuchungen an Zementen und Betonausgangsstoffen nach den gültigen Normen
- Bestimmung der Hydratationswärme
- Sulfatoptimierung von Zementen
- Heiz- und Brennwertbestimmungen
- Gefügeanalyse an zementären Systemen
- Umweltanalytik, z. B. Spurenanalyse der Metalle und Halbmetalle
- Bestimmung des wasserlöslichen Chromats nach TRGS 613 bzw. EN 196-10
- Emissionsprognosen bei Einsatz unterschiedlicher Roh- und Brennstoffe

Umweltgutachten

Der hohe Stellenwert, den der Umweltschutz in der Zementindustrie hat, spiegelt sich in den zahlreichen Aktivitäten des Forschungsinstitutes wider. Aufgrund der umfassenden Erfahrungen bei Anlagenbegutachtung und im Genehmigungsmanagement ergeben sich gerade im Be-

reich der Umweltverträglichkeitsuntersuchungen nutzbare Synergieeffekte, da auch für komplexe Vorhaben alle notwendigen Dienstleistungen aus einer Hand erbracht werden. Unsere Mitarbeiter werden kontinuierlich geschult. Ihre Einbindung in aktuelle Forschungsthemen trägt darüber hinaus dazu bei, dass für die Erstellung der Gutachten immer auf den neuesten Stand der Wissenschaft zurückgegriffen werden kann. Das Dienstleistungsangebot umfasst die nachfolgenden Auftragsuntersuchungen:

- Emissions- und Immissionsprognosen
- Ableitbedingungen von Emissionen/ Berechnung der Schornsteinhöhe
- Empfehlung von Maßnahmen zur Verbesserung der Emissions- bzw. Immissions-situation
- Umweltverträglichkeitsstudien
- Anlagentechnische Betrachtungen (Stand der Technik/bestverfügbare Technik)
- Komplexe Ausbreitungsrechnungen
- Bodenuntersuchungen
- Schallgutachten

Verfahrenstechnische Untersuchungen

Die Kunden des Instituts profitieren von dessen langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der thermischen und mechanischen Verfahrenstechnik. Diese Erfahrungen wurden bei Beratungen zur Optimierung von Anlagen im nationalen und internationalen Umfeld gesammelt. Gemeinsam mit den Kunden entwickeln die Mitarbeiter des Institutes innovative Verfahren, die eine kostengünstige Minderung von Emissionen in Zementwerken ermöglichen. Hierfür verfügt das Institut über einen umfassenden Pool an Fachleuten und neueste Messtechnik kann die vollständige Planung und Organisation aller verfahrenstechnischen Untersuchungen im Zementwerk übernehmen. Die Versuchsabwicklung und die Auswertung liegen in einer Hand. Das Leistungsprofil umfasst sowohl die thermische als auch die mechanische Verfahrenstechnik einschließlich der Bearbeitung komplexer umwelttechnischer Fragestellungen. Das Dienstleistungsangebot umfasst die nachfolgenden Auftragsuntersuchungen:

- Technische Beratung
- Stoff- und Energiebilanzen, Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs
- Prozessmessungen an Ofen- und Mahlanlagen

- Primäre und sekundäre Maßnahmen zur Emissionsminderung
- Optimierung des Betriebs von Ofen- und Mahlanlagen
- Untersuchung von Stoffkreisläufen und deren Begrenzung
- Verfahrenstechnische Modellierung des Klinkerbrennprozesses
- Parameterstudien und Entwicklung von Optimierungsmaßnahmen

Umweltmessungen

Das Forschungsinstitut der Zementindustrie verfügt über eine nach der internationalen Norm ISO/IEC 17025 akkreditierte Umweltmessstelle, die darüber hinaus von den deutschen Umweltbehörden als unabhängiges Prüfinstitut zugelassen und anerkannt ist. Ein interdisziplinäres Team von Ingenieuren, Naturwissenschaftlern und Laboranten mit langjähriger Praxiserfahrung bietet Dienstleistungen in allen umweltrelevanten Bereichen an, hierzu gehören vor allen Dingen sämtliche Emissionsmessungen, die sich aus den entsprechenden nationalen und internationalen Regelwerken ergeben. Neben staub- und gasförmigen Emissionen untersucht die Umweltmessstelle auch Immissionen in der Umgebung von Zementwerken. Messungen und Prognosen von Lärm und Erschütterungen runden das Leistungsprofil ab. Das Dienstleistungsangebot umfasst die nachfolgenden Auftragsuntersuchungen:

- Planung und kompetente Durchführung von Emissionsmessungen an industriellen Anlagen
- Erarbeitung von Messplänen unter Berücksichtigung der einschlägigen Richtlinien
- Emissionsmessungen und Probenahmen von luftgetragenen Schadstoffen (z. B. Stickstoffoxide, Spurenelemente, Stäube, organische Kohlenwasserstoffe, PCDD/F etc.)
- Ermittlung von Geräuschemissionen und -immissionen
- Ausarbeitung von Lärminderungskonzepten und Werklärmkarten
- Ermittlung von Emissionen und Immissionen durch Sprengerschütterungen
- Überprüfung des ordnungsgemäßen Einbaus und der Funktion sowie der Kalibrierung von kontinuierlich arbeitenden Messgeräten
- Begutachtung von Messstellen
- Durchführung von Immissionsmessungen

Produktzertifizierung

Güteüberwachung und Qualitätssicherung von Zement und zementhaltigen Bindemitteln durch die Überwachungsgemeinschaft gehören zu den traditionellen Kernkompetenzen des VDZ. 560 Zemente aus 60 Werken werden nach nationalen und europäischen gesetzlichen Vorgaben geprüft und überwacht. Aufgrund bestehender Vereinbarungen mit ausländischen Stellen kann die Überwachung zusätzlich nach privatrechtlichen Regelwerken durchgeführt werden. Die nationale und europäische Anerkennung als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle durch die zuständigen Bauaufsichtsbehörden erstreckt sich auf:

- Zement und zementartige Bindemittel
- Betonzusatzstoffe
- Betonzusatzmittel
- Mörtel und Beton
- zementhaltige Zubereitungen

Zusätzlich sind die Überwachungsgemeinschaft des VDZ und die zugehörigen Laboratorien nach EN 45011 bzw. ISO/IEC 17025 privatrechtlich akkreditiert.

Systemzertifizierung

Die Zertifizierungsstelle FIZ-Zert zertifiziert und überwacht Managementsysteme (Qualität, Umwelt). FIZ-Zert ist hierfür entsprechend EN 45012 akkreditiert. Zertifiziert werden insbesondere Unternehmen aus der Steine-Erden-Industrie oder vergleichbaren Industrien, die sich mit der Herstellung und Anwendung von Baustoffen beschäftigen (vor allem Zement, Bindemittel, Beton, Betonwaren und -fertigteile). Grundlagen sind die Normen ISO 9001 und ISO 14001. Die Zertifizierung kann auch in Kombination mit der gesetzlich geregelten und verpflichtenden Produktzertifizierung (z. B. nach EN 197) durchgeführt werden.

Verifizierung von CO₂-Emissionen

In den letzten Jahren hat FIZ-Zert im Zusammenhang mit dem europäischen Emissionsrechtehandel wiederkehrend CO₂-Emissionen verifiziert. Die Kunden konnten dabei sowohl von der hohen technischen Kompetenz als auch von den umfassenden rechtlichen Kenntnissen unserer Gutachter profitieren. Diese exklusiv für FIZ-Zert tätigen Personen verfügen entweder über eine entsprechende Zulassung als geprüfte Sachverständige oder sind als EMAS-Verifizierer bekannt gegeben. Damit ist gewährleistet, dass die von FIZ-Zert vorgenommenen Begutachtungen von Monitoring-Konzepten sowie die Prüfungen von Emissionsberichten höchsten Ansprüchen genügen.

I

Verfahrenstechnik der Zementherstellung



Kontrolle der Austragswand einer Kugelmühle

Anlagenbetrieb ■

Einfluss der Primärluftführung auf die Drehofenflamme

Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in Drehofenfeuerungen verdrängen die LowNO_x-Brenner mit ihren extrem niedrigen Primärluftmengen und erfordern speziell für den hohen Sekundärbrennstoffeinsatz angepasste Brenner. Die Minderung der Stickstoffoxidemission erfolgt dann nach Bedarf, z. B. mit einer nachgeschalteten SNCR-Anlage. Moderne Drehofenbrenner können heute durch eine Vielzahl an Ringspalten, Rohren und Lanzen flexibel unterschiedliche Sekundärbrennstoffe mit verschiedenen Verbrennungscharakteristika verbrennen. Sekundärbrennstoffe verändern aufgrund ihrer anderen Brenneigenschaften gegenüber traditionellen Regelbrennstoffen die Wärmefreisetzung in der Flamme, wodurch die maximale Flammentemperatur sinkt, das Temperaturprofil im Drehofen flacher wird und die Ofeneinlaufstemperatur steigt. Eine an die Sekundärbrennstoffe angepasste Primärluftführung kann den negativen Auswirkungen der Sekundärbrennstoffe auf die Flamme und den Klinkerbrand entgegen wirken.

In einem von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen geförderten Projekt untersucht das Forschungsinstitut der Zementindustrie im Berichtszeitraum die Möglichkeit der Flammengestaltung und Beeinflussung der Verbrennung mithilfe der Primärluftführung. An zwei Ofenanlagen wurde die Flammengestaltung untersucht und die Schadstoffentwicklung durch eine Ofeneinlaufmessung erfasst. Bei einem Brenner liegt die Zuführung der fein aufbereiteten Brennstoffe zwischen der Axial- und der Drallluft. Durch die konzentrische Anordnung aller Rohre und die kompakte Bauweise des Brenners konnte eine wirksame Einmischung der heißen Sekundärluft in den Brennstoffstrahl erreicht werden. Bei einem mäßigen Sekundärbrennstoffbeitrag an der Feuerungswärmeleistung der Drehofenfeuerungen von lediglich 36 % konnte im Vergleich zu anderen Brennertypen eine ähnliche Schadstoffentwicklung an Stickstoffoxiden bei deutlich geringeren Flammenverdrallungen festgestellt werden. Wie **Bild I-1** zeigt, sinkt bei einer Steigerung der Substitutionsrate auf über 40 % die Stickstoffoxidbildung leicht. Bei höheren Gesamtaxialimpulsströmen G_{ax} ist das Stickstoffoxidniveau im Ofeneinlauf niedriger sowie die Streubreite geringer als bei schwachen Impulsströmen. Bei den Versuchen lagen die Freikalkgehalte der produzierten Zementklinker zwischen 0,8 und 1,2 M.-% und damit in

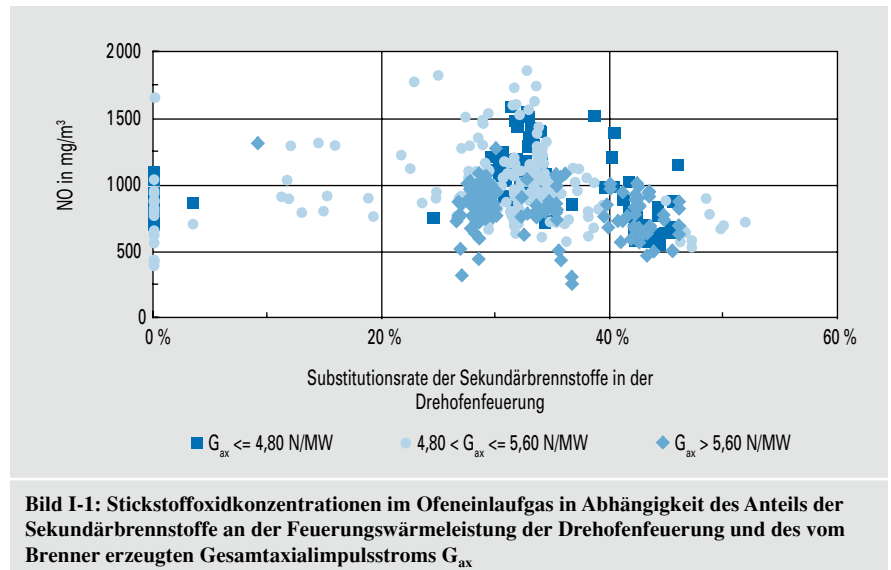


Bild I-1: Stickstoffoxidkonzentrationen im Ofeneinlaufgas in Abhängigkeit des Anteils der Sekundärbrennstoffe an der Feuerungswärmeleistung der Drehofenfeuerungen und des vom Brenner erzeugten Gesamtaxialimpulsstroms G_{ax}

einem üblichen Streuband. Eine Abhängigkeit des Klinkerbrands zur Brennereinstellung oder zur Substitutionsrate war nicht feststellbar. Die Klinkerphasenzusammensetzung unterlag gemäß der Ofenmehlzusammensetzung den üblichen Schwankungen.

Im Berichtszeitraum fand zum Jahresende ein weiterer Ofenversuch statt. Diese Zementofenanlage erhielt in der Winterwartung einen neuen Brenner. Ein älterer Niederdruckbrenner wurde gegen einen neuen Hochdruckbrenner ausgetauscht. Nach Inbetriebnahme ist ein weiterer Betriebsversuch geplant, sodass ein Vergleich zwischen zwei Brennern alter und neuer Generation an einer Ofenanlage möglich ist.

Die Ergebnisse wurden in Vorträgen bei der VDI-Fachtagung „Deutscher Flammentag“ im Jahr 2007 in Berlin sowie auf der Internationalen Wissenschaftlichen Konferenz zu „Energie und Umwelt in Bau-, Keramik- Glas- und Feuerfesttechnologien“ im Jahr 2008 in Karpacz, Polen, vorgestellt.

Der VDZ-Ausschuss Umwelt und Verfahrenstechnik hat im Jahr 2008 mit dem Ziel, die industrielle Anwendung neuer Brennergenerationen zu verfolgen, einen Arbeitskreis Drehofenbrenner eingesetzt. Seine Aufgaben sind:

- Austausch und Diskussion der Betriebserfahrungen mit neuen oder modifizierten Drehofenbrennern
- Auswirkungen des Drehofenbrenners auf die Klinkerqualität, Sekundärbrennstoffeinsatz, Verschleißschutz, Ausbrand/Kohlenstoffmonoxidbildung, Stickstoffoxidemissionen und Ofenbetrieb

- Diskussion mit Brennerherstellern zum „optimalen“ Brennerdesign und -betrieb
- Erarbeitung allgemeingültiger Regeln für einen optimalen Sekundärbrennstoffeinsatz in der Hauptfeuerungen
- Begleitung des Forschungsvorhabens „Optimierung der Hauptfeuerungen bei maximalem Sekundärbrennstoffeinsatz“

In seiner aktuellen Tätigkeit beschäftigt sich der Arbeitskreis mit einer Bestandsaufnahme der derzeitigen Brennergenerationen in den deutschen Zementwerken sowie mit dem aktuellen Stand der Technik. Hierzu bezieht er die Brennerhersteller mit ein. Für eine Gesprächsrunde mit den Brennerherstellern hat der Arbeitskreis ein Lastenheft für Drehofenbrenner erarbeitet. Anhand einer beispielhaften Auslegung von Drehofenbrennern durch die Brennerhersteller sollen die Betriebserfahrungen mit den Betreibern von Brennern ausgetauscht werden. Das Ergebnis der Arbeitskreistätigkeit soll ein verfahrenstechnisches Merkblatt mit Handlungsempfehlungen für den Betrieb von Drehofenbrennern für den Sekundärbrennstoffeinsatz sein.

Modellierung der Strömungsverhältnisse im Calcinator

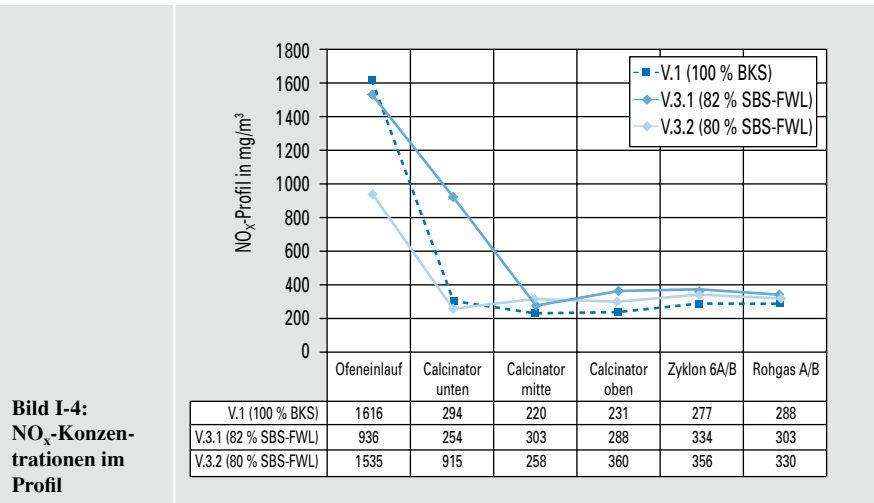
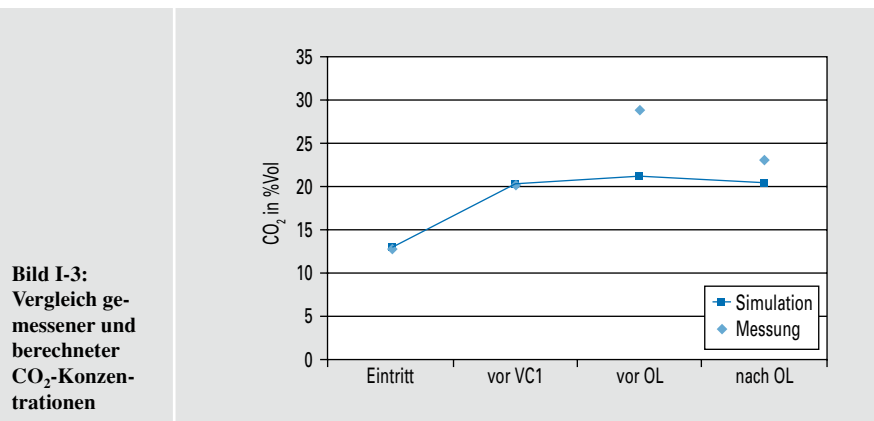
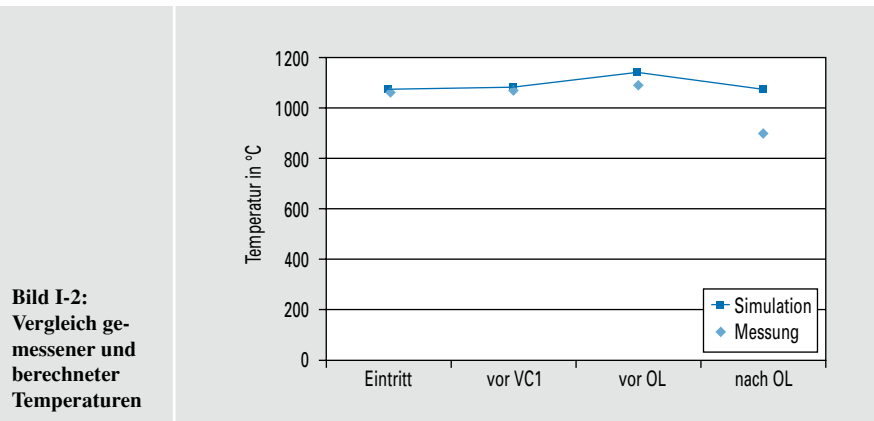
Die Möglichkeit einer weitgehend abgesicherten numerischen CFD-Simulation der Vorgänge im Calcinator vereinfacht die gezielte betriebliche Optimierung und kann den Anteil zeit- und kostenintensiver Experimente an laufenden Ofenanlagen verringern. Darüber hinaus lassen sich leichter fundierte Aussagen über die technische Umsetzung gestufter Calcinatorfeuerungen zur Schadstoffminderung an vorhandenen Bestandsanlagen treffen. Weitere Einsatzgebiete der numerischen Simulation sind

in diesem Zusammenhang die Untersuchung von Schadensfällen und Konzeptstudien zur Auslegung, zur energetischen Optimierung und zur flexiblen Verwendung von Sekundärbrennstoffen.

Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Energieanlagen- und Energieprozesstechnik (LEAT) der Ruhr-Universität Bochum und dem Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik (LUAT) der Universität Essen/Duisburg hat das FIZ ein von der AiF gefördertes Forschungsprojekt erarbeitet. Ziel dieses Projektes war es, die betriebstechnische Optimierung von Vorcalciniernanlagen hinsichtlich Schadstoffbildung sowie Maßnahmen zur NO_x-Reduktion durch numerische Simulation zu unterstützen.

Die Einzelprozesse Brennstoffabbrand, Bildung und Abbau von NO_x, Entsäuerungs- und Calciniervorgang, Turbulenzmodulation und Strahlungsbeeinflussung wurden unter ausschließlicher Betrachtung von Kohle als Brennstoff erfolgreich modelliert und durch Messergebnisse des Forschungsinstituts der Zementindustrie von realen Zementanlagen validiert. Unter Berücksichtigung der Komplexität des Zementherstellungsprozesses und der Schwierigkeit der messtechnischen Erfassung lokaler Größen im Calcinator konnte dabei z. T. eine sehr gute Übereinstimmung der errechneten Größen mit experimentellen Werten erreicht werden (**Bild I-2** und **Bild I-3**). Insgesamt konnte das Verhalten des Prozesses in der Simulation richtig abgebildet und die Einflüsse der verschiedenen Randbedingungen auf den Betrieb verdeutlicht werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieses AIF-Projekts wird derzeit in einem Folgeprojekt der Ersatz von Kohle durch Sekundärbrennstoffe mittels CFD-Methoden an einem Calcinator anderer Bauart untersucht. Ziel ist es, die Möglichkeiten zur Verwendung von Sekundärbrennstoffen in Vorcalciniernanlagen zu erweitern und damit einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Konkurrenzfähigkeit der deutschen Zementindustrie zu leisten. Weiterhin sollen die Betreiber von Vorcalciniernanlagen in die Lage versetzt werden, die Sekundärbrennstoffe gezielt zur NO_x-Minderung bei z. B. gestufter Verbrennung einzusetzen und damit Kosten für sekundäre Minderungsmaßnahmen herabzusetzen. **Bild I-4** stellt das NO_x-Profil im Calcinator und dessen Systemgrenzen aus dem Referenzversuch V. 1 mit ausschließlich Braunkohlenstaub als Brennstoff und den beiden Versuchen V. 3.1 und V. 3.2 bei hohen



Fluff-Substitutionsraten um etwa 80 % bezogen auf die Feuerungswärmeleistung im Calcinator dar. Dabei ist die Messstelle im Ofeneinlauf sowohl eintretende Systemgrenze als auch Randbedingung mit Startparameter für die Simulation der Prozesse im Calcinator. Das NO_x-Profil aus Versuch V. 1 dient als Referenz für die beiden Versuche V. 3.1 und V. 3.2 mit hohen Substitutionsraten. Weiterhin kann dieser Referenzversuch bei einer ersten CFD-Simulation mit dem Brennstoff Kohle für eine ausreichend abgesicherte qualitative Beurteilung bei der Validierung der Modell-ergebnisse verwendet werden. Insgesamt

stellten sich in diesen beiden Versuchen ab der Messebene Calcinator Mitte bis Zyklon 6A/B höhere NO_x-Werte ein. Dieser Effekt ist auf eine Verschiebung der Ausbrandzone durch den höheren Fluffeinsatz sowie dessen größere Kornverteilung zurück zu führen. Diese Vermutung wird durch höhere Temperaturen sowohl im Calcinator als auch an der Außenwand des Calcinator an diesen Messstellen bestätigt. Die vorhandenen Messdaten aus Bild I-4 werden als Validierungsdaten für die Plausibilität der bisher noch nicht vorhandenen Ergebnisse der CFD-Simulation herangezogen.

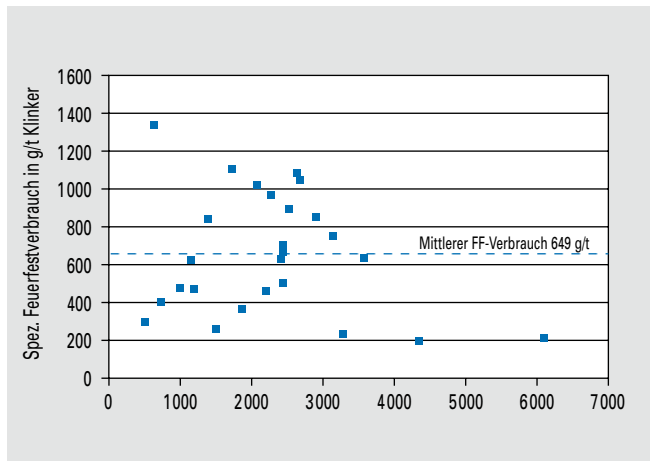


Bild I-5: Mittlerer Feuerfestverbrauch

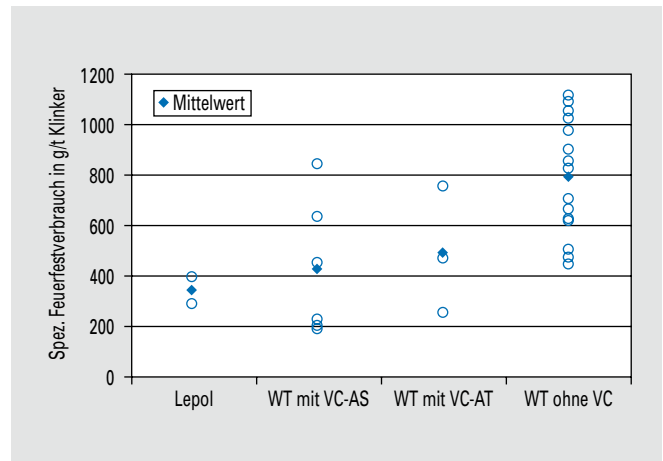


Bild I-6: Feuerfestverbrauch nach Anlagentyp

Feuerfeste Materialien

In den vergangenen Jahren ist das in den Zementwerken verfügbare Know-how bezüglich des Einsatzes feuerfester Materialien zunehmend zurück gegangen. Deshalb wurde der Arbeitskreis „Feuerfeste Materialien“ gegründet, um den aktuellen Kenntnisstand auf diesem Gebiet in einem Merkblatt zusammenzufassen.

Seit Beginn der Neunziger Jahre haben sich die Einsatzbedingungen feuerfester Materialien in Drehofenanlagen der Zementindustrie massiv gewandelt. Der wesentliche Grund hierfür ist der veränderte Ofenbetrieb mit jährlich gestiegenen Substitutionsraten durch den Einsatz von Sekundärbrennstoffen. Bis dato ersetzen Sekundärbrennstoffe in deutschen Drehofenanlagen etwa 54 % der herkömmlichen fossilen Brennstoffe. Unter diesen Betriebsbedingungen mit hohen Sekundärbrennstoffraten werden wesentlich längere Sinterzonen mit bis zum 9-fachen des Ofendurchmessers beobachtet. Darüber hinaus weist diese Zone häufig wechselnde Ansätze auf. Noch vor zehn Jahren betrug die Länge der Sinterzone etwa das 5- bis 6-fache des Ofendurchmessers. Dieser veränderten Betriebsweise wird heute durch den Einsatz von hochfeuerfesten, magnesitischen Steinen über einen verlängerten Bereich der Sinterzone begegnet.

Einige Sekundärbrennstoffe weisen höhere Schwefel- oder Chlorgehalte auf als die substituierten Regelbrennstoffe. Schwefel und Chlor reagieren mit Alkalien zu Alkalisulfaten bzw. -chloriden, die im Bereich von Ofeneinlauf und Calcinator zur Kreislaufbildung neigen und damit zu Anreicherungen dampfförmiger Alkaliverbindungen in der Ofenatmosphäre führen. In dieser Atmosphäre werden die feuerfesten Materialien im Wesentlichen durch die

Infiltration dieser Alkaliverbindungen geschädigt. Aus diesem Grund werden diese Zonen mit sauren Steinen bestückt, die aus speziellen Hochtoneerdequalitäten entwickelt wurden und gegen das so genannte Alkalibursting resistenter sind. Durch den Einsatz eines Chlorbypasses im Bereich des Ofeneinlaufs können diese Anreicherungen begrenzt und dadurch die Standzeit des Futters indirekt verlängert werden. Der Chlorbypass entlastet das Ofensystem, indem das mit Alkalichloriden und -sulfaten angereicherte Ofenabgas zum Teil aus dem inneren Kreislauf abgezogen wird.

Der Arbeitskreis hat mittels Fragebogen die Erfahrungen der Betreiber über den Feuerfestverbrauch in Drehofenanlagen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Anlagen- und Betriebsparameter abgefragt und ausgewertet. Die Auswertung dieser Umfrage ergab einen mittleren Feuerfestverbrauch in deutschen Drehofenanlagen von etwa 650 g/t Klinker (Bild I-5). Dieser Wert bezieht sich auf einen über drei bis fünf Jahre gemittelten Verbrauch von feuerfesten Steinen und Massen. Je nach Ofenanlage streuen die Verbrauchswerte relativ stark. Der geringste Verbrauch an feuerfesten Materialien liegt bei 200 g/t Klinker, wohingegen die Verbräuche einiger Werke 1 000 g/t Klinker übersteigen. Eine Abhängigkeit des Feuerfestverbrauches von der Klinkerleistung der Ofenanlage wurde nicht festgestellt.

Bei den anlagenbedingten Einflussgrößen ist der Vorwärmertyp entscheidend (Bild I-6). Der Feuerfestverbrauch von Anlagen mit Vorcalcinator und Tertiärluftleitung liegt verhältnismäßig niedrig bei durchschnittlich etwa 420 g/t Klinker. Konventionelle Anlagen mit Zyklonvorwärmer verbrauchen mit ca. 800 g/t Klinker nahe-

zu die doppelte Menge wie Anlagen mit Vorcalcinerung. Der geringe Feuerfestverbrauch von Vorcalcineranlagen kann darauf zurückgeführt werden, dass einerseits die Verbrennung im Vorcalcinator bei Temperaturen von 800 bis 1 100 °C zu einer thermischen Entlastung des Drehofens und somit zu einer Verringerung des Verbrauches von Feuerfestmaterial führt. Andererseits wirkt sich die kleinere Dimensionierung der Drehöfen, wie sie üblicherweise in Verbindung mit Vorcalcinator ausgelegt werden, offenbar günstig auf den Verbrauch von feuerfesten Materialien aus. Eine weitere thermische Entlastung stellt sich im Ofenrohr ein, wenn die Verbrennungsluft für die Calcinatorfeuerung durch die Tertiärluftleitung geführt wird.

Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Klärschlamm als Sekundärstoff in der Zementindustrie

In Zeiten steigender Brennstoffkosten und stark gesteigener Anforderungen hinsichtlich der Vermeidung von klimaschädlichen CO₂-Emissionen erweist sich der Einsatz biogener Brennstoffe in der Zementindustrie als zunehmend attraktiv, sowohl ökologisch als auch ökonomisch. Klärschlamm ist dabei vor allen Dingen auch aufgrund seiner Einstufung als biogener Brennstoff (CO₂-neutral) eine interessante Alternative zu fossilen Regelbrennstoffen. Nicht zuletzt leistet die Zementindustrie mit der Verwertung einen signifikanten Beitrag zur Entsorgungssicherheit. Durch ein von der AiF gefördertes Forschungsvorhaben bestätigt das Forschungsinstitut durch Betriebs- und Produktuntersuchungen sowie durch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, dass Klärschlamm wirtschaftlich, umwelt- und produktverträglich verwertet werden kann.



Bild I-7: Trockenklärschlammgranulat (Trockensubstanz 90 %)

Betriebs- und Produktuntersuchungen

Es wurden systematische Untersuchungen an drei Ofenanlagen durchgeführt, um Aussagen zu den Auswirkungen des Klärschlammeneinsatzes auf den Ofenbetrieb, auf Quecksilberemissionen sowie auf die Produktqualität zu treffen. Des Weiteren wurden Möglichkeiten zur Brenneroptimierung betrachtet. Untersucht wurde der Einsatz von mechanisch entwässertem Klärschlamm (MEKS) sowie von gemahlenem und granuliertem Trockenklärschlamm (TKS) (Bild I-7) im Vergleich zum Betrieb ohne Klärschlamm. Die Einsatzmengen lagen zwischen 5 und 11 % der Feuerungswärmeleistung.

Die durchgeführten Energiebilanzen zeigten bei TKS-Einsatz einen klinkerspezifischen Brennstoffenergieeinsatz von ca. 3 600 kJ/kg Klinker. Der Einsatz von MEKS führte dagegen zu einem um ca. 250 kJ/kg Klinker höheren thermischen Energiebedarf, was insbesondere auf den erhöhten Wassergehalt zurückzuführen war. Die während der Ofenversuche erstellten Quecksilberbilanzen ergaben für den äußeren und inneren Bilanzraum grundsätzlich geringfügig höhere Quecksilbereinträge, jedoch keine emissionsseitige Überschreitung des Quecksilber-Grenzwertes von $0,03 \text{ mg/m}^3$ (Tagesmittelwert). Die Quecksilberkreisläufe wurden durch die Betriebsweise der Ofenanlagen effektiv entlastet. Einflüsse auf die Emission von Stickstoffoxiden und Kohlenstoffmonoxid wurden ebenfalls nicht festgestellt.

Die Untersuchungen der hergestellten Zementklinker zeigten an allen Bilanztagen mit Klärschlammeneinsatz einen leicht verringerten Alit- und erhöhten Belitanteil. Dies führte bei den daraus ermahlenden Zementen zu geringfügig verminderten

Druckfestigkeiten nach 28 Tagen, die nach 90 Tagen weitgehend wieder ausgeglichen waren. Ebenso wurden nur leicht erhöhte Phosphateinträge im Klinker ermittelt.

Bei den Optimierungsversuchen der Brenneinstellung bei Mitverbrennung von granuliertem Klärschlamm ergaben sich lediglich geringe Möglichkeiten zur Einflussnahme auf die Drehofenfeuerung durch den Brenner. Der untersuchte Bereich der Primärluftmenge ließ keine Intensivierung der Verbrennung zu. Die Erwartung, bei zündträgen Brennstoffen, die zu einer Verlängerung der Aufheiz- und Zündstrecke führen, mit einer Erhöhung der Brennerluftmenge den Zündpunkt und damit auch die Flamme wieder näher an den Brennermund heranzuholen, wurde unter den gegebenen Bedingungen nicht bestätigt. Des Weiteren lag bei Klärschlammeneinsatz im Bereich von 10 % der Feuerungswärmeleistung keine signifikante Beeinträchtigung des Temperaturprofils in der Sinterzone vor.

Zusammenfassend wurden für alle durchgeführten Ofenversuche mit TKS keine signifikanten Einflüsse des Klärschlammeneinsatzes auf den Ofenbetrieb, die Emissionen sowie die Produkte festgestellt. Klärschlamm ist bei unterschiedlichen Einsatzqualitäten und Möglichkeiten als alternativer Sekundärstoff sehr gut geeignet und kann zu Recht als umweltverträgliche Verwertungsmöglichkeit eingestuft werden.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ziel der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung war der Vergleich und die Bewertung der Einsatzbedingungen von Trockenklärschlamm sowohl bei Trocknung mit Abwärme im Zementwerk als auch bei einer dezentralen Trocknung in der Kläranlage. Untersucht wurden drei Konzepte (Bild I-8), in denen die Energieträger Stein-

kohle, Braunkohle und Tiermehl durch Klärschlamm substituiert wurden.

Die Untersuchung zeigt, dass sich die Nutzung von Klärschlamm in der Zementindustrie hauptsächlich im Aufwand für die Investitionen und den jeweiligen Transport für die Anlieferung unterscheiden. Für die Wirtschaftlichkeit des Klärschlammeneinsatzes ist letztendlich die Art der Trocknung, der zu substituierende Brennstoff und die erwerbende Klärschlammmenge sowie deren Preis entscheidend. Aus durchgeführten Sensibilitätsanalysen resultieren als größte Risikofaktoren die verfügbare Klärschlammmenge, die jeweilige Auslastung der zu errichtenden Anlagen sowie das Annahmeentgelt für den Klärschlamm.

Modellierung der Mahlkörperbewegung in Kugelmöhlen

Der Elektroenergieaufwand für die Zementherstellung beträgt in Deutschland im Mittel ca. $100 \text{ kWh/t}_{\text{Zement}}$, wobei allein 30 % auf das Vermahlen von Klinker und Zuzugstoffen zu Zement verwendet werden. Zur Zementmahlung werden überwiegend Kugelmöhlen, z.T. in Kombination mit vorgeschalteter Gutbettwalzenmühle, eingesetzt. Trotz ihres vergleichsweise schlechteren Wirkungsgrades zeichnen diese sich neben hoher Betriebssicherheit vor allem durch eine breitere Korngrößenverteilung der ermahlenden Zemente aus. Aus diesem Grund ist für die Zementmahlung auch langfristig nicht mit einer vollständigen Substitution der Kugelmöhlen durch andere Mahlverfahren zu rechnen. Es ist zweckmäßig, sämtliche vorhandenen Optimierungspotenziale vollständig zu nutzen. Das Zusammenwirken der unterschiedlichen Betriebsparameter und ihr Einfluss auf die Mühlenfüllung können jedoch nur schwer abgeschätzt werden, da insbesondere das

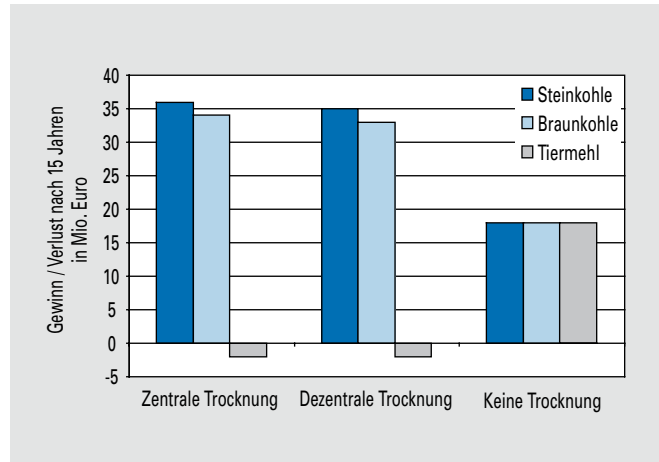


Bild I-8: Vergleich der Konzepte

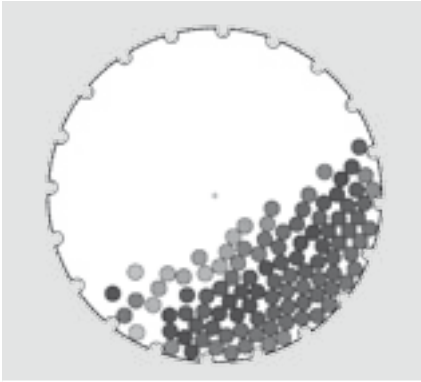


Bild I-9: Momentaufnahme der simulierten Mahlkörperbewegung bei 28 U/min. Erkennbar ist eine Kaskadenbewegung.

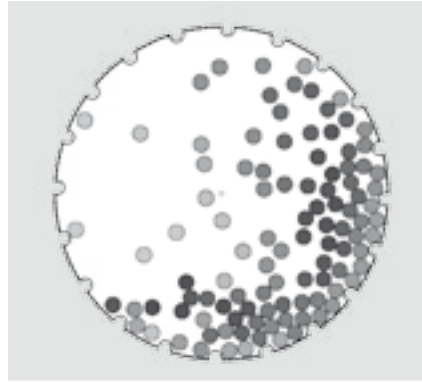


Bild I-10: Momentaufnahme der simulierten Mahlkörperbewegung bei 69 U/min. Erkennbar ist eine Kataraktbewegung.

Mühleninnere messtechnisch nicht zugänglich ist. Die direkte Partikelsimulation stellt jedoch ein vielversprechendes Werkzeug zur energetischen Optimierung der Zementmahlung in Kugelmühlen dar.

Seit Ende der 90er Jahre existieren effiziente Methoden zur Berechnung und Visualisierung von Schüttgütern. Zudem ermöglicht der Stand der Rechentechnik mittlerweile, teilchenmechanische Simulationen dieser Stoffe – und nicht nur einzelner Partikel – auch über relevante Zeiträume hinweg auszuführen. Umfangreiche Anwendungen finden derartige Simulationen vor allem in der Schüttgut-Fördertechnik. Diese Methoden werden zu einem großen Teil unter dem Oberbegriff der „Diskrete Elemente Methode“ (kurz: DEM) zusammengefasst. Grundsätzlich werden die Bewegungsgleichungen aller in einem System enthaltenen Partikel über die betrachtete Zeit hinweg gelöst. Kommt es zu einer Kollision zwischen den Partikeln, so werden die resultierenden Kräfte durch geeignete Kontaktmodelle approximiert und in den Bewegungsgleichungen berücksichtigt. Die Struktur und Parametrisierung dieser Modelle muss sorgsam an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Auf diese Weise lassen sich komplexe Schüttungen wie die Füllung einer Kugelmühle effektiv simulieren.

Um die Prozesse im Innern von Kugelmühlen eingehend untersuchen zu können, wird am FIZ ein zweidimensionales Modell eingesetzt, dass der theoretischen Physik entlehnt ist. Dieses wird als „Molekulardynamik“ bezeichnet und ermöglicht die Simulation von Partikelsystemen auf die oben beschriebene Weise. Dabei werden die Mahlkörper und die umgebende Mahlkammer durch Kreisscheiben approximiert. Die Simulation ermöglicht die Ermittlung von Größen, die in der Realität messtechnisch

nicht erfasst werden können. Von besonderem Interesse sind dabei Geschwindigkeits- und Druckverteilungen, von denen später auf den Zerkleinerungsvorgang geschlossen werden kann.

Simulationen erlauben zwar theoretisch den Zugang zu messtechnisch nicht erfassbaren Systemen, stellen aber immer eine Vereinfachung der Realität dar. Die Vorhersagequalität hängt daher entscheidend von der exakten Validierung der verwendeten Modelle ab. Daher werden die Simulationsberechnungen (numerische Experimente) stets in Kombination mit umfangreichen Versuchen an der halbertechnischen Umlaufmahlanlage des FIZ durchgeführt. Die **Bilder I-9** und **I-10** zeigen Momentaufnahmen der simulierten Kugelfüllung dieser Mahlanlage bei unterschiedlichen Drehzahlen. Erkennbar ist in Bild I-9 eine typische Kaskadenbewegung bei niedriger Drehzahl, während Bild I-10 die für hohe Drehzahlen typische Kataraktbewegung zeigt. Mittels umfangreich entwickelter Algorithmen zur Auswertung lassen sich zudem Animationen der Mahlkörperbewegung erstellen, die wesentliche Erkenntnisse auch über die rein mathematische Ebene hinaus liefern können. Die Simulationsergebnisse wurden durch vergleichende Leistungsmessungen validiert.

Auf Basis dieser simulationstechnischen Voraussetzungen ist zukünftig eine effektivere Optimierung der Zementmahlung in Kugelmühlen möglich. Von besonderem Interesse ist dabei die Zusammensetzung der Gattierung, die bisher nur durch rein empirische Regeln bestimmt wird. Bei einer Optimierung werden hier signifikante Energieeinsparungen erwartet. Die größte Schwierigkeit stellt die Gewährleistung der Betriebssicherheit der Mühlen durch geeignete Randbedingungen dar. Nur durch eine angemessene Berücksichtigung von

realen Betriebszuständen kann sichergestellt werden, dass die Ergebnisse einer mathematischen Optimierung auch erfolgreich auf bestehende Zementmühlen übertragen werden können. Aus diesem Grund werden auch weitergehende Ansätze zur Kopplung der Molekulardynamik mit bestehenden verfahrenstechnischen Modellen zur ganzheitlichen Beschreibung des Zerkleinerungsprozesses angestrebt.

Energiebedarf ■

Ofenanlagen

Die genehmigte Ofenkapazität der deutschen Zementindustrie hat sich im Berichtszeitraum von 110720 t/d (2006) auf 111400 t/d im Jahr 2008 geringfügig erhöht. Die Betriebsgenehmigungen von drei Ofenanlagen sind ausgelaufen. Die Gesamtzahl der genehmigten Ofenanlagen sank dadurch von 60 auf 57 Anlagen. In Deutschland werden heute fast nur noch Ofenanlagen betrieben, die nach dem Trocken- bzw. Halbtrockenverfahren arbeiten. Darüber hinaus bestehen Genehmigungen für acht Schachtöfen. Der durchschnittliche Ofendurchsatz stieg von 2106 t/d in 2006 auf 2249 t/d in 2008. **Tafel I-1** gibt einen Überblick über den Stand der verfügbaren Ofenanlagen. Demnach entfallen 98,9 % der genehmigten Gesamtkapazität auf Anlagen mit Zyklon- bzw. Rostvorwärmern. Der Anteil der Zyklonvorwärmanlagen hat mit 93,1 % im Jahr 2008 (bezogen auf die Kapazität) weiter zugenommen. Die Anzahl der Vorcalcineranlagen ist von elf auf zwölf gestiegen. Hiervon verfügen neun Anlagen über eine Tertiärluftleitung. Aufgrund der im Vergleich größeren Ofenleistungen repräsentieren die Vorcalcineranlagen mehr als ein Viertel der installierten genehmigten Klinkerkapazität der deutschen Zementwerke.

Die Auslastung der Ofenanlagen stieg zunächst von 70 % in 2006 auf 77 % in 2008, was vor allem auf verstärkte Zementexporte zurückzuführen war. Im Jahr 2008 sank die Auslastung mit 71 % beinahe wieder auf das Vorjahresniveau ab. Den Angaben zur Auslastung liegt eine angenommene Verfügbarkeit der Ofenanlagen von 320 Tagen pro Jahr zugrunde.

Brennstoffenergiebedarf

Brennstoffenergie wird bei der Zementherstellung im Wesentlichen für das Brennen des Zementklinkers aufgewendet. Im geringeren Umfang wird thermische Energie für die Trocknung von weiteren Zementhauptbestandteilen, wie z. B. Hüttensand, eingesetzt. Für die Herstellung von Zementklinker mit seinen charakteristischen Eigen-

schaften werden die Rohstoffe, vor allem Kalksteinmergel und Ton, bei Temperaturen von 1 400 bis 1 450 °C gebrannt. Aufgrund der Produkthanforderungen und des dafür notwendigen Hochtemperaturprozesses gehört die Zementindustrie zu den energieintensiven Branchen in der Bundesrepublik. Aus diesem Grund ist die Zementindustrie seit jeher bemüht, ihren Energieverbrauch und damit die Brennstoffenergiekosten zu senken. **Bild I-11** zeigt die Entwicklung des spezifischen thermischen Energieverbrauchs der Zementindustrie von 1950 bis 2005. Ab dem Jahr 1987 sind darin auch die neuen Bundesländer enthalten. Wie das Bild verdeutlicht, ist der Brennprozess in den deutschen Zementwerken heute soweit optimiert, dass verfahrenstechnische Maßnahmen keine nennenswerten weiteren Minderungen mehr erwarten lassen.

Erste Selbstverpflichtung zum Klimaschutz erfüllt

Im Jahr 1995 hat sich die deutsche Zementindustrie gemeinsam mit anderen energieintensiven Industriebranchen verpflichtet, einen Beitrag zur Verminderung der CO₂-Emissionen in Deutschland zu leisten. Die Selbstverpflichtung der Zementindustrie umfasste eine Minderung des spezifischen Energiebedarfes im Zeitraum von 1987 bis 2008 um 20 %. Mit 2 825 kJ/kg Zement hatte die Zementindustrie ihr Ziel im Jahr 2005 erreicht.

Das Forschungsinstitut erhebt seit 1995 die Produktions- und Energieverbrauchsdaten der deutschen Zementindustrie. Diese werden in zusammengefasster und anonymisierter Form dem Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) zur Plausibilitätsprüfung übergeben.

Die deutsche Zementindustrie hat in den vergangenen Jahrzehnten ihren spezifischen Brennstoffenergieverbrauch durch Modernisierung ihrer Ofen- und Mahlanlagen stetig verbessert. Dieses Bestreben erhielt nach der deutschen Wiedervereinigung einen besonderen Schub, da die Anlagen der ostdeutschen Zementwerke innerhalb weniger Jahre auf den modernsten Stand der Technik gebracht wurden. Aber auch in den alten Bundesländern wurden einige Altanlagen durch neue Anlagen ersetzt. Eine weitere wichtige Maßnahme zur Senkung des Brennstoffenergiebedarfs je Tonne Zement besteht in der verstärkten Produktion von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen.

Aufgrund der im betrachteten Zeitraum stark zurückgegangenen Zementproduktion sank der absolute Brennstoffenergie-

Tafel I-1: Anzahl und Kapazität der Öfen mit Betriebsgenehmigung in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 2006 bis 2008

	Stand: 01.01.2007			Stand: 01.01.2008			Stand: 01.01.2009		
	Anzahl	Kapazität		Anzahl	Kapazität		Anzahl	Kapazität	
		t/d	%		t/d	%		t/d	%
Öfen mit Zyklonvorwärmer	41	100 550	90,8	41	101 000	92	41	103 700	93,1
Öfen mit Rostvorwärmer	11	8 970	8,1	9	7 500	6,8	8	6 500	5,8
Schachtofen	8	1 200	1,1	8	1 200	1,1	8	1 200	1,1
Summe	60	110 720	100	58	109 700	100	57	111 400	100
mittlere Ofenkapazität in t/d	Drehöfen	2 106		2 170		2 249			
	Schachtofen	150		150		150			
Klinkerproduktion ¹⁾ (Jahr)	(2006)			(2007)			(2008)		
in Mio. t/a	24,9			27,0			25,4		
Auslastung ²⁾ in %	70			77			71		

¹⁾ nach CO₂-Monitoring
²⁾ angenommene Verfügbarkeit 320 d/a

Bild I-11: Spezifischer Brennstoffenergieverbrauch der deutschen Zementwerke (bis 1987 alte Bundesländer, danach gesamte Bundesrepublik)

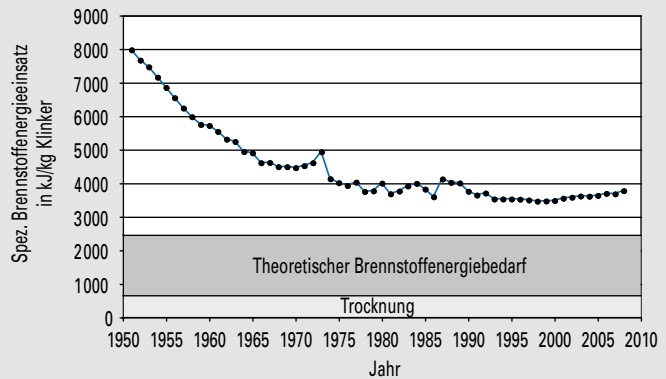
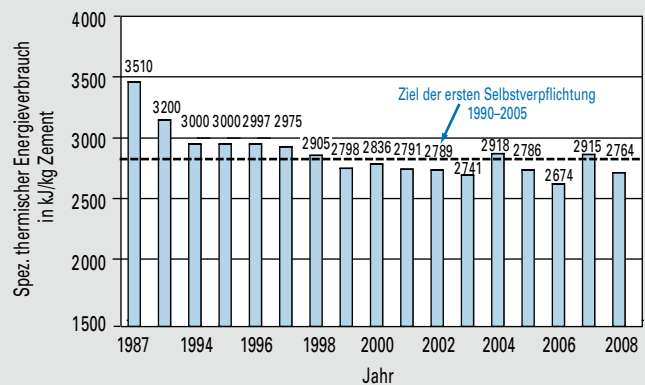


Bild I-12: Spezifischer thermischer Energieverbrauch gemäß Selbstverpflichtung zum Klimaschutz



bedarf der deutschen Zementindustrie von 1987 bis 2008 um etwa ein Fünftel. Diese starke Verminderung war auch auf die Reduzierung des auf die Tonne bezogenen spezifischen thermischen Energiebedarfs um ca. 20 % im betrachteten Zeitraum zu-

rückzuführen (**Bild I-12**). Während der spezifische thermische Energiebedarf der Drehofenanlagen in 1987 noch bei über 3 500 kJ/kg Zement lag, betrug er im vergangenen Jahr nur noch 2 764 kJ/kg Zement. Hierzu trug vor allem die Verminde-

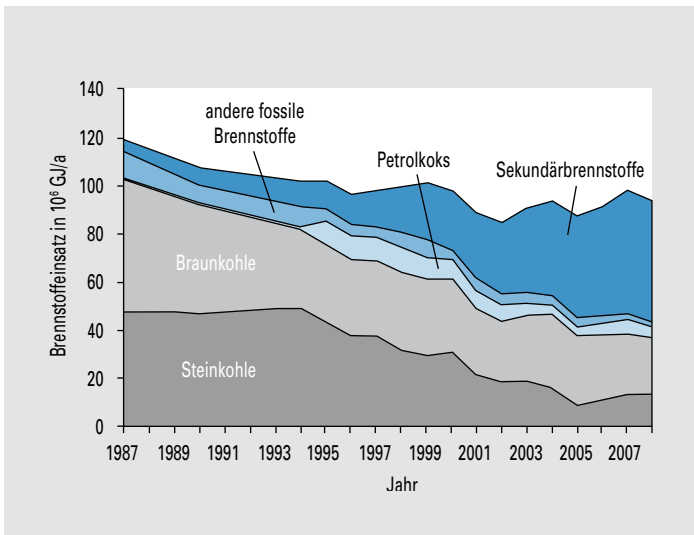


Bild I-13:
Brennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie seit 1987

rung des Klinker/Zement-Faktors bei. Dieser betrug im Jahr 1987 86 % und wurde bis zum Jahr 2008 auf 73 % vermindert. Damit hat die deutsche Zementindustrie ihre erste Zusage zum Klimaschutz erfüllt.

Brennstoffmix

Die Struktur der in der deutschen Zementindustrie eingesetzten Brennstoffe hat sich in den vergangenen Jahren weiter stetig verändert. Der gesamte Brennstoffeinsatz ist von 1987 bis 2008 u.a. wegen des starken Produktionsrückgangs von 119,9 auf 95,8 Mio. GJ/a im Jahr 2005 gesunken. Dies entspricht einer absoluten Verminderung um 20,1 %. Der Anteil der Sekundärbrennstoffe stieg, wie aus **Bild I-13** hervorgeht, im Berichtszeitraum weiter an und betrug im Jahr 2008 nunmehr 54,4 % gegenüber 23,0 % im Jahr 1999. Durch den verstärkten Einsatz von Sekundärbrennstoffen wurde im Berichtszeitraum vorwiegend Braunkohle substituiert. Die Verbräuche der Brennstoffe Heizöl EL, Heizöl S und Erdgas liegen weiterhin auf sehr niedrigem Niveau. Sie werden vorwiegend zum Anfahren der Ofenanlagen verwendet.

Tafel I-2: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der deutschen Zementindustrie

Sekundärbrennstoff	2006 1 000 t/a	2008 1 000 t/a
Reifen	265	266
Altöl	69	80
Fractionen aus Industrie-/Gewerbeabfällen, davon:	1 370	1 548
Zellstoff, Papier und Pappe	244	150
Kunststoff	363	460
Verpackungen	0	0
Abfälle aus der Textilindustrie	9	2
Sonstige	754	936
Tiermehl und -fette	317	231
Aufbereitete Fractionen aus Siedlungsabfällen	212	220
Altholz	14	12
Lösungsmittel	93	102
Bleicherde	4	0
Klärschlamm	238	267
Sonstige wie: Ölschlamm Organische Destillationsrückstände	32	175

Die Aufschlüsselung der Sekundärbrennstoffe für die Jahre 2006 und 2008 zeigt, dass die Rolle der traditionellen Sekundärbrennstoffe Altreifen und Altöl relativ zu anderen Sekundärbrennstoffen weiter abgenommen hat. Wie **Tafel I-2** zeigt, lag der Einsatz von Altreifen bei knapp 270 000 t/a, während die eingesetzte Altölmenge von 69 000 t/a im Jahr 2006 auf 80 000 t/a im Jahr 2008 leicht anstieg. Deutlich gesteigert wurde der Einsatz von Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen von 1 370 000 t/a (2006) auf 1 547 000 t/a (2008). Auch der Einsatz aufbereiteter Fraktionen aus Siedlungsabfall lag mit mehr als 210 000 t/a auf gleichbleibend hohem Niveau. Der Einsatz von Tiermehlen und -fetten begann im Jahr 2000 nach der BSE-Krise und wurde zunächst auf 452 000 t/a in 2003 gesteigert. Da diese Stoffe inzwischen verstärkt auch in anderen Mitverbrennungsanlagen wie z. B. Kraftwerken verwertet werden, ging deren Einsatz in der Zementindustrie inzwischen auf 231 000 t (2008) zurück.

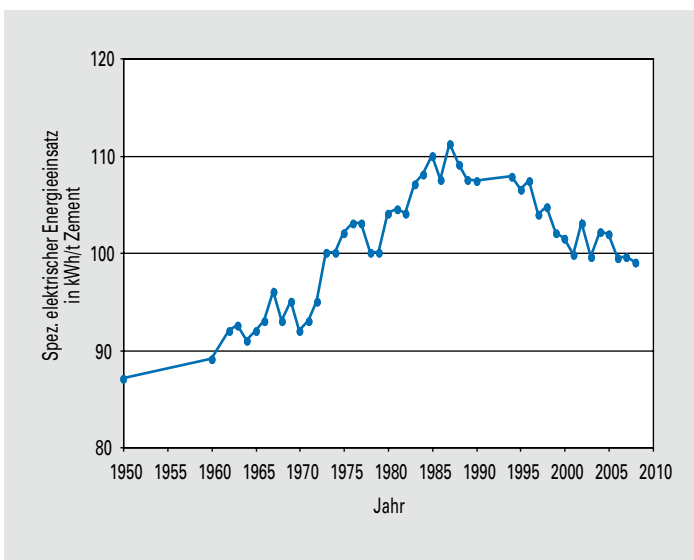


Bild I-14:
Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der deutschen Zementwerke (bis 1987 alte Bundesländer, danach gesamte Bundesrepublik)

Elektrischer Energieverbrauch

Elektrische Energie wird bei der Zementherstellung vor allem für die Rohmaterialaufbereitung (etwa 35 %), zum Brennen und Kühlen des Klinkers (ca. 22 %) und für die Zementmahlung (rd. 38 %) aufgewendet. **Bild I-14** zeigt die Entwicklung des elektrischen Energieverbrauchs der deutschen Zementwerke im Zeitraum 1950 bis 2005. Der langjährige Anstieg des elek-

trischen Energieverbrauchs konnte nach der Wiedervereinigung Deutschlands gestoppt werden. In den Folgejahren stabilisierte er sich zwischen 100 und 102 kWh/t Zement und liegt nun bei knapp unter 100 kWh/t Zement.

Zemente mit weiteren Hauptbestandteilen neben Klinker, wie Hüttensand oder Kalkstein, erfordern einen höheren Mahlergieaufwand, da sie bei gleicher Qualität

feiner aufgemahlen werden müssen. Andererseits wird der entsprechende elektrische Energiebedarf für die Herstellung des substituierten Klinkers (Rohmaterialaufbereitung, Brennprozess) eingespart. Der Einsatz energieeffizienter Mühlentypen – wie die Gutbett-Walzenmühle – hat sich in der Zementindustrie weitgehend durchgesetzt. Da die Gebrauchseigenschaften der Zemente aus diesen Mühlen jedoch nicht denen aus herkömmlichen Kugelmühlen ent-

sprechen, ist in der Regel nach wie vor eine Nachmahlung in Kugelmühlen erforderlich. Somit kann das Potenzial der Energieeinsparung weiterhin nicht in vollem Umfang nutzbar gemacht werden. Auch eine getrennte Aufmahlung der verschiedenen Hauptbestandteile und deren anschließende Mischung in Mischanlagen scheint im Rahmen der betriebsüblichen Möglichkeiten keine signifikanten Minderrungen zu erlauben.

II

Umweltschutz bei der Zementherstellung



Teile der Abgasreinigung eines Klinkerofens

Gesetzgebung ■

Revision des BAT-Papiers für die Zement- und Kalkindustrie

Die europäische Richtlinie zur integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) ist ein wesentliches Dokument im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Industrieanlagen in Europa. Auf Grundlage dieser europäischen Richtlinie ist für bestimmte Industrien in regelmäßigen Abständen der Stand der Technik europaweit festzulegen und zu beschreiben. Dies geschieht über so genannte BAT-Referenzdokumente (BREF-Dokumente), deren Erstellung zentral von einem Büro der europäischen Kommission in Sevilla koordiniert wird. Das derzeit noch gültige BAT-Papier für die Zement- und Kalkindustrie aus dem Jahr 2001 ist eines der ersten entsprechenden Dokumente, das nun einer Revision unterzogen wurde. Dieser Prozess hat sich über fast drei Jahre hingezogen und konnte im April 2009 mit der abschließenden Sitzung des „Information Exchange Forums“ (IEF) in Brüssel zu einem Abschluss gebracht werden. Mit dem nun vorliegenden abschließenden Entwurf ist es gelungen, in sämtlichen Punkten eine einvernehmliche Meinung zwischen der EU Kommission, den beteiligten Ländern sowie der Industrie zu erzielen. Die so genannten „Split Views“ (abweichende Einschätzungen zwischen Behörden und Industrievertretern) konnten diesmal vollständig vermieden werden. Gemeinsam mit den technischen Aspekten der Zement- und Kalkindustrie enthält das revidierte Dokument nun auch entsprechende Beschreibungen für die Herstellung von Magnesiumoxid. Dies geschah auf Wunsch der betroffenen Industrie.

Aus Sicht der Zementindustrie sind insbesondere die im Folgenden aufgeführten Punkte im revidierten BREF-Dokument hervorzuheben:

1. Spezifischer Energieverbrauch für moderne Zyklonvorwärmeröfen (mit/ohne Calcinator): Für den spezifischen Energieverbrauch dieser modernen Öfen wird ein Bereich von 2900 bis 3300 MJ/t Klinker angegeben. Darüber hinaus enthält das BREF-Dokument den Hinweis, dass dieser Wert aufgrund der üblichen Schwankungen, z. B. durch An- und Abfahrvorgänge, im Jahresmittel zwischen 160 bis 320 MJ/t Klinker höher liegen kann. Diese Festlegung trägt den möglichen Schwankungen im Ofenbetrieb Rechnung.

Tafel II-1: BAT associated emission levels (BAT-AEL) for NO_x from the flue-gases of kiln firing and/or preheating/precalcining processes in the cement industry

Kiln Type	Unit	BAT-AEL (daily average value)
Preheater kilns	mg/Nm ³	< 200–450 ¹⁾²⁾
Lepol and long rotary kilns	mg/Nm ³	400–800 ³⁾

¹⁾ BAT-AEL is 500 mg/Nm³, where after primary measures/techniques the initial NO_x level is > 1000 mg/Nm³

²⁾ Existing kiln system design, fuel mix properties including waste, raw material burnability can influence the ability to be in the range. Levels below 350 mg/Nm³ are achieved at kiln with favourable conditions. The lower value of 200 mg/Nm³ has only been reported as monthly average for three plants (easy burning mix used)

³⁾ Depending on initial levels and ammonia slip

2. Einsatz von Abfällen: Der Einsatz geeigneter Abfälle im Klinker- bzw. Zementherstellungsprozess wird ausdrücklich als beste verfügbare Technik (BAT) anerkannt. Dieses Ergebnis konnte maßgeblich auch dadurch erzielt werden, dass es der europäischen Zementindustrie in den vergangenen Jahren gelungen ist, den Nachweis zu führen, dass die Abfallverwertung in ihren Werken umweltverträglich und schadlos erfolgt.
3. Staubemissionen: Für Staubemissionen wird eine BAT-Emissionsniveau von < 10 bis 20 mg/Nm³ festgelegt. Elektro- sowie Gewebefilter werden gleichberechtigt zum Stand der Technik gezählt. Falls Gewebefilter oder neue bzw. erweiterte Elektrofilter zum Einsatz kommen, soll das untere Level des BAT-Emissionsniveaus angestrebt werden.
4. Stickoxidemissionen: Die Festlegung des aktuellen Standes der Technik im Zusammenhang mit der Reduktion von Stickoxidemissionen wurde während des Revisionsprozesses intensiv diskutiert. Für Vorwärmeröfen wird nun ein dem Stand der Technik entsprechendes Emissionsniveau von < 200 bis 450 mg/Nm³ angegeben. Falls das NO_x-Ausgangsniveau oberhalb von 1000 mg/Nm³ liegt, erweitert sich das zugehörige BAT-Emissionsniveau auf einen Wert von bis zu 500 mg/Nm³. **Tafel II-1** zeigt im Original die genauen Vorgaben im Zusammenhang mit der Festlegung eines BAT-Emissionsniveaus für NO_x. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass die selektive katalytische Reduktion (SCR-Verfahren) erst dann als BAT anzusehen ist, wenn die Verfahrensentwicklung innerhalb der Zementindustrie weiter fortgeschritten ist sowie geeignete Katalysatoren zur Verfügung stehen. Demgegenüber wird die selektive nicht-katalytische Reduktion (SNCR-Verfahren) als BAT festgelegt. Der zusätzliche Ammoniakschlupf darf bei Anwendung des SNCR-Verfahrens bis zu 50 mg/Nm³ betragen.

Insgesamt stellt das überarbeitete BREF-Dokument anspruchsvolle Vorgaben an die weitere Entwicklung des Umweltschutzes innerhalb der Zementindustrie. Dies gilt unabhängig von der Tatsache, dass die in dem Dokument festgelegten BAT-Emissionsniveaus ausdrücklich keine Emissionsgrenzwerte darstellen. Vielmehr handelt es sich dabei um Konzentrationsbereiche, die unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen in den einzelnen Anlagen mit der Anwendung einer bestimmten Technik erreicht werden können. Emissionsgrenzwerte müssen naturgemäß oberhalb dieser zugeordneten BAT-Emissionsniveaus liegen.

Der abschließende Entwurf des revidierten BAT-Referenzdokumentes ist auf der Homepage des europäischen Büros in Sevilla einzusehen. Mit einer endgültigen Freigabe und Veröffentlichung des fertig gestellten Dokumentes ist nicht vor der zweiten Hälfte des Jahres 2009 zu rechnen.

Ersatzbrennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie

Die in Deutschland tätigen Zementhersteller verfügen mittlerweile über eine langjährige Erfahrung mit der ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung geeigneter Abfälle im Klinkerbrennprozess. Auf Grundlage dieser Erfahrungen konnte die durch geeignete Ersatzbrennstoffe erzielte Substitutionsrate beim Brennstoffenergieverbrauch im Jahr 2008 auf über 54 % gesteigert werden (**Bild II-1**). Dies ist umso bemerkenswerter, als dass es sich bei dieser Zahl um einen Durchschnittswert handelt. Einzelne der in Deutschland betriebenen Zementdrehofenanlagen erreichten im Jahr 2008 tatsächliche Substitutionsraten von mehr als 80 % der benötigten Brennstoffenergie.

Der Hauptteil der verwerteten Abfälle stammt weiterhin aus dem Bereich der aufbereiteten Industrie- und Gewerbeabfälle (**Bild II-2**). Aus dieser Stoffgruppe stammen seit Jahren die meisten in den deutschen Zementwerken energetisch verwerteten Abfälle. Seit dem Jahr 2002 wer-

den in den deutschen Zementwerken auch vermehrt kommunale Klärschlämme verwertet. Dieser ökologisch sinnvolle Weg der Klärschlammnutzung war zuvor politisch nicht gewollt. Von daher war es in der Vergangenheit ausgesprochen schwierig, entsprechende Genehmigungen zu erhalten.

Durch den Einsatz geeigneter Ersatzbrennstoffe ist es der deutschen Zementindustrie gelungen, mehr als 1,7 Mio. t Steinkohleeinheiten an Primärenergie einzusparen. Dies ist zum einen ein maßgeblicher Beitrag zum Schutz natürlicher Ressourcen. Außerdem werden so die brennstoffbedingten fossilen CO₂-Emissionen des Klinkerbrennprozesses deutlich reduziert. Hinzu kommt, dass insbesondere die Stoffgruppe der aufbereiteten Industrie- und Gewerbeabfälle einen hohen Anteil an biogenem Kohlenstoff enthalten können. Aufgrund vorliegender Untersuchungen kann dieser Biomasseanteil zwischen 20 und 50 % des jeweils in den Brennstoffen enthaltenen Kohlenstoffs betragen. Von daher stellt der Sekundärbrennstoffeinsatz in den deutschen Zementwerken ein maßgebliches Potenzial zur Minderung der brennstoffbedingten CO₂-Emissionen des Klinkerherstellprozesses dar.

Start der PRTR-Berichterstattung

Das bisher geltende Europäische EPER-System zur Umweltberichterstattung wurde von dem so genannten European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR) abgelöst. Erstmals im Jahr 2008 haben die Betreiber der relevanten Anlagen die Freisetzung und Verbringung von Schadstoffen für das neue Schadstoffregister an die zuständigen Behörden gemeldet. Im Sommer bzw. Herbst 2009 werden die Daten ins Internet gestellt und damit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Grundlage für dieses Schadstoffregister ist die Europäische PRTR-Verordnung, die mit dem PRTR-Gesetz (SchadRegProtAG) in nationales Recht umgesetzt wurde. Die berichtspflichtigen Tätigkeiten sind im Anhang der PRTR-Verordnung aufgelistet. Innerhalb der „Mineralverarbeitenden Industrie“ sind u. a. „Anlagen zur Herstellung von Zementklinker“ ab einer Kapazität > 500 t/d betroffen; alle in Deutschland vorhandenen Ofenanlagen überschreiten diesen Kapazitätsschwellenwert. Eine Berichterstattung ist aber nur dann erforderlich, wenn die Frachten der freigesetzten Schadstoffe bestimmte Schwellenwerte überschreiten.

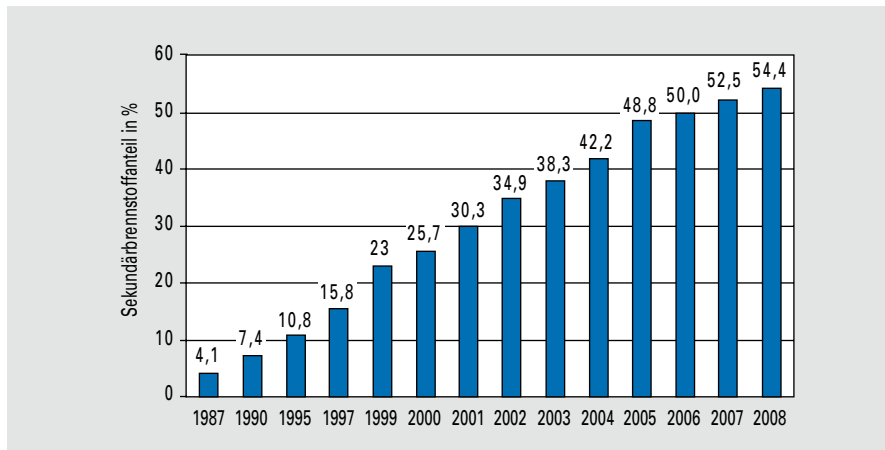


Bild II-1: Entwicklung des Ersatzbrennstoffeinsatzes in der deutschen Zementindustrie

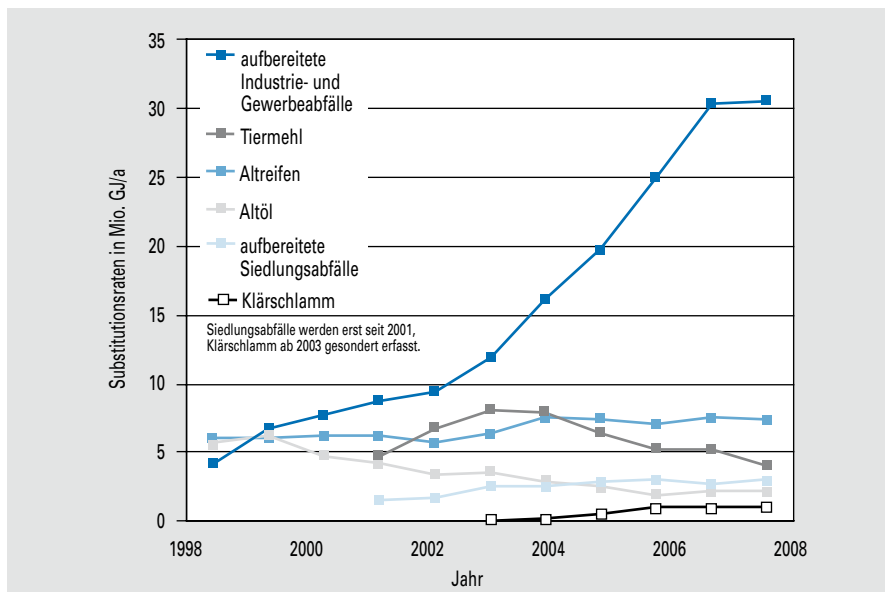


Bild II-2: Entwicklung der Substitutionsraten für ausgewählte Stoffe

Als Neuerung im Vergleich zum vorherigen EPER-System ist nun eine Meldepflicht auch für Tagebaue und Steinbrüche gegeben, wenn die „aktive Fläche“ eine Größe von 25 ha überschreitet. Als relevanter Schadstoff ist dabei in erster Linie die Komponente Feinstaub (PM10) anzusehen, wenn der entsprechende Schwellenwert von 50 000 kg/a überschritten wird. Grundsätzlich bestehen Probleme, diese überwiegend diffusen Feinstaubfreisetzungen zu ermitteln, da zahlreiche betriebliche und meteorologische Faktoren die Höhe der Emissionen beeinflussen. Über die Anwendung einfacher Emissionsfaktoren lassen sich die emittierten Frachten allenfalls größenordnungsmäßig abschätzen. Für die nächste Berichterstattung wären von Seiten der Umweltbehörden genauere Vorgaben erforderlich, wie die Feinstaubfreisetzungen von Tagebauen und Steinbrüchen zu ermitteln sind.

Solche und andere spezielle Fragen bezüglich der Berichterstattung von Zementwerken wurden in einer Arbeitsgruppe des VDZ besprochen. Dabei wurden die verfügbaren PRTR-Leitfäden herangezogen und auch Kontakt zu den vom deutschen Umweltbundesamt beauftragten Stellen aufgenommen.

Für die Berichterstattung in Deutschland wurde eine bundeseinheitliche Erfassungsoftware entwickelt (BUBE-Online), mit der die Daten des PRTR und auch der 11. BImSchV über das Internet erhoben werden können. Nach einer Plausibilitätsprüfung durch die zuständigen Landesbehörden bzw. das Umweltbundesamt werden die Daten in das nationale Schadstoffregister eingestellt sowie anschließend an die Europäische Kommission weitergeleitet und in das Europäische Register übertragen.

Tafel II-2: CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie in den Jahren 2005 bis 2008

	Absolute CO ₂ -Emissionen in 10 ⁶ t/a				Spezifische CO ₂ -Emissionen in t CO ₂ /t Zement			
	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
thermisch bedingt ¹⁾	4,18	4,25	4,38	4,05	0,132	0,123	0,128	0,117
elektrisch bedingt	2,17	2,29	2,28	2,30	0,068	0,067	0,067	0,066
rohstoffbedingt	12,92	13,21	14,31	13,44	0,406	0,383	0,419	0,388
energiebedingt	6,35	6,54	6,65	6,35	0,200	0,189	0,195	0,183
gesamt	19,27	19,75	20,97	19,79	0,606	0,573	0,614	0,571

¹⁾ ohne Sekundärbrennstoffe

Tafel II-3: Spezifische CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie (in t CO₂/t Zement)

Jahr	Emissionen aus thermischem Energieverbrauch ¹⁾	Emissionen aus elektrischem Energieverbrauch	Emissionen aus der Kalksteinsäuerung	Gesamt
1990 ²⁾	0,280	0,072	0,450	0,802
1994	0,252	0,072	0,450	0,775
1995	0,254	0,071	0,451	0,776
1996	0,245	0,072	0,451	0,768
1997	0,231	0,070	0,453	0,754
1998	0,218	0,070	0,444	0,732
1999	0,199	0,068	0,427	0,694
2000	0,195	0,068	0,431	0,694
2001	0,179	0,067	0,415	0,661
2002	0,168	0,069	0,413	0,650
2003	0,156	0,067	0,401	0,624
2004	0,155	0,068	0,428	0,651
2005	0,132	0,068	0,406	0,606
2006	0,123	0,067	0,383	0,573
2007	0,128	0,067	0,419	0,614
2008	0,117	0,066	0,388	0,571

¹⁾ ohne Sekundärbrennstoffe

²⁾ Basisjahr der freiwilligen Vereinbarung von 2000

Anders als bei der EPER-Berichterstattung, die im Abstand von drei Jahren erfolgte, ist beim PRTR-System eine jährliche Meldung erforderlich. Im Zuge der gesetzlichen Änderungen durch die Einführung des PRTR wurde der Turnus für die Abgabe einer Emissionserklärung gemäß 11. BImSchV auf vier Jahre verlängert.

Klimaschutz ■

Entwicklung der CO₂-Emissionen Brennstoffbedingte CO₂-Emissionen

Das Treibhauspotenzial der Emissionen der Zementindustrie wird praktisch ausschließlich durch Kohlendioxid bewirkt. Andere Treibhausgase, so auch die im Kyoto-Protokoll genannten, treten bei der Zementherstellung nicht oder nur in extrem geringen Mengen auf. Beim Klinkerbrennprozess entstehen CO₂-Emissionen durch die Umsetzung von Brennstoffenergie zur Erzeugung von Prozesswärme. Darüber hinaus wird Brennstoffenergie für Trocknungsprozesse für andere Hauptbestandteile des Zements, wie z. B. Hüttensand, aufgewendet. Die spezifischen brennstoffbedingten CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie sanken im Zeitraum 2005 bis 2008 von 0,132 auf 0,117 t CO₂/t Zement. In abso-

luten Zahlen bedeutete dies eine Verminderung von 4,18 auf 4,05 Mio. t CO₂/a. Hierin sind die CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen – der Systematik der Selbstverpflichtung folgend – nicht berücksichtigt, da sie fossile Brennstoffe vollständig substituieren. Da die Abfälle ansonsten an anderer Stelle ihren Kohlenstoffgehalt zu CO₂ oder anderen Treibhausgasen freisetzen würden, führt der Einsatz von Sekundärbrennstoffen insgesamt zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen.

In dieser Berücksichtigung der Sekundärbrennstoffe besteht ein wesentlicher Unterschied zur Berichterstattung im Rahmen des Emissionshandels. Der Emissionshandel umfasst alle fossilen Brennstoffe sowie die fossilen Anteile der Abfallbrennstoffe. Nur die biogenen Anteile der Brennstoffe werden mit einem Emissionsfaktor von 0 gerechnet. Eine Substitution der traditionellen fossilen Brennstoffe Braun- und Steinkohle durch andere Brennstoffe mit niedrigeren spezifischen CO₂-Emissionen, wie z. B. Erdgas, ist aus Kostengründen nicht möglich. Da die Brennstoffkosten maßgeblich die Herstellkosten des Zements beeinflussen, gehen die Bestrebungen der

Zementindustrie auch weiterhin dahin, fossile Brennstoffe verstärkt durch Abfallbrennstoffe zu ersetzen. Dabei spielt der Einsatz biogener Abfallbrennstoffe bzw. solcher Brennstoffe mit biogenen Anteilen eine zunehmend größere Rolle.

Die im Rahmen der Selbstverpflichtung vereinbarten und verwendeten Emissionsfaktoren unterscheiden sich ebenfalls von den im Emissionshandel vorgeschriebenen Werten. Quantitativ weichen die Werte zwar nur geringfügig ab, allerdings ist die Differenzierung beim Emissionshandel deutlich stärker. Der elektrische Energieverbrauch macht etwa 10 % des gesamten Energieverbrauchs der Zementwerke aus. Als Primärenergie gerechnet ist der Anteil des elektrischen Energieverbrauchs – und damit der CO₂-Emissionen, die sich aus deren Einsatz ergeben – jedoch größer. Die durch den Stromverbrauch bedingte CO₂-Emission betrug in den Jahren von 2005 bis 2008 zwischen 0,066 und 0,068 t CO₂/t Zement. In absoluten Zahlen blieben sie mit ca. 2,2 Mio. t nahezu konstant. Eine Eigenstromerzeugung findet in der deutschen Zementindustrie nur in sehr geringem Maße statt.

Rohstoffbedingte CO₂-Emissionen

Bei der Entsäuerung des wichtigsten Rohstoffs Kalkstein (chemisch CaO₃) wird CO₂ freigesetzt. Die je Tonne produzierten Klinkers erzeugte rohstoffbedingte CO₂-Emission hängt von der Rohstoffrezeptur ab, variiert aber nur in geringem Maße. Sie beträgt in Deutschland ca. 0,53 t CO₂/t Klinker bzw. im Zeitraum von 2005 bis 2008 zwischen 0,383 und 0,419 t CO₂/t Zement. Die gesamte rohstoffbedingte CO₂-Emission der deutschen Zementindustrie stieg aufgrund der zunehmenden Exporte zunächst von 12,9 (2005) auf 14,3 Mio. t CO₂/Jahr in 2007, um dann wieder auf 13,4 Mio. t CO₂/Jahr in 2008 abzusinken. Damit ergeben sich für den Berichtszeitraum die in **Tafel II-2** dargestellten spezifischen bzw. absoluten CO₂-Emissionen. Eine Verminderung der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen ist – bezogen auf die Tonne Zement – nur in begrenz-



Bild II-3: Anwendung des selektiven Lösens am Beispiel eines Zuckerwürfels

tem Maße durch die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen möglich. Bezogen auf die Tonne Klinker ist eine Reduzierung praktisch nicht möglich.

Zusammenfassend ergeben sich damit die in **Tafel II-3** zusammengestellten spezifischen CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie für den Zeitraum 1987 bis 2008. Das Basisjahr für die auf die spezifischen energiebedingten CO₂-Emissionen umgestellte Selbstverpflichtung der Zementindustrie ist das Jahr 1990. Die Daten von 1987 werden zur Information mit angegeben.

Bestimmung von biogenem Kohlenstoff in Ersatzbrennstoffen

Durch den CO₂-Emissionshandel hat die Bestimmung des biogenen Anteils von Ersatzbrennstoffen eine zunehmende Bedeutung erlangt. Je nach Herkunft bzw. Zusammensetzung der Proben gibt es derzeit unterschiedliche Bestimmungsverfahren, die angewendet werden können.

Mangels geeigneter Alternativen hat sich in der jüngeren Vergangenheit in Deutschland und Europa die Methode des selektiven Lösens durchgesetzt. Grundlage hierfür ist die technische Spezifikation CEN/TS 15440, die unter der Federführung einer europäischen Normungsgruppe CEN/TC 343 erarbeitet wurde. In Anhang E dieser technischen Spezifikation wird die für die Zementindustrie relevante Methode zur Bestimmung des biogenen Kohlenstoffgehalts in einer Brennstoffprobe beschrieben. Wichtig ist dabei, dass der biogene Kohlenstoffgehalt auf den Gesamtkohlenstoffgehalt der Probe (TC) bezogen werden muss. Grundlage dieses nasschemischen Verfahrens ist zunächst die Behandlung der Probe mit konzentrierter Schwefelsäure. Diese ist in der Lage, aus den organischen Bestandteilen biogenen Ursprungs das dort angelagerte Wasser auszutreiben. Der zu-

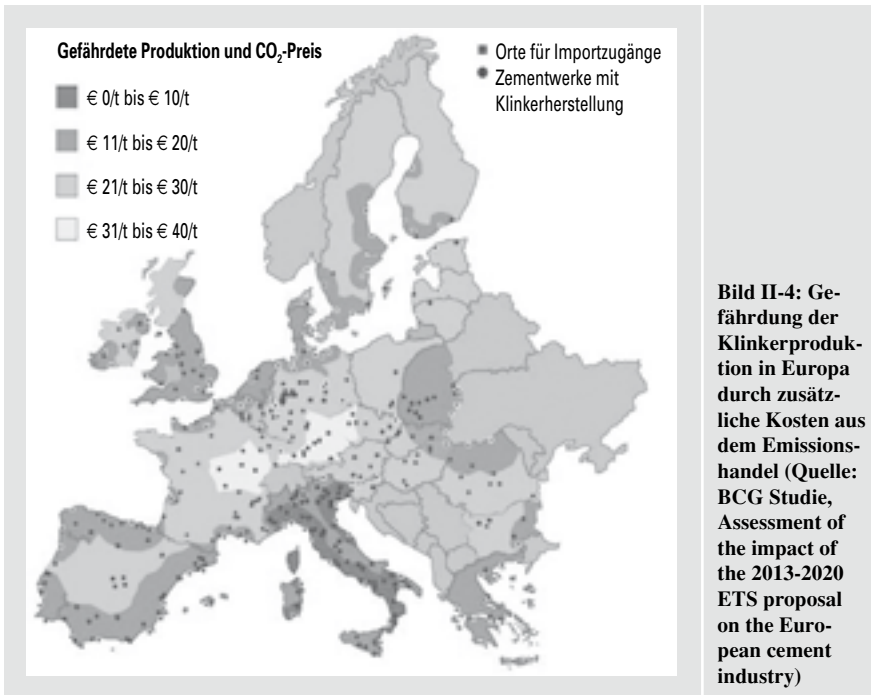
rückbleibende biogene Kohlenstoff wird dann in einem zweiten Schritt mit einem starken Oxidationsmittel behandelt und gasförmig aus der Probe ausgetrieben. Im Idealfall bleiben lediglich der inerte Anteil sowie der entsprechende Teil an anorganischem Kohlenstoff zurück, welche durch Trocknung und anschließende Wägung bestimmt werden können. Über eine zusätzliche Bestimmung des Gesamtkohlenstoffanteils in den unbehandelten Proben sowie im nicht biogenen Anteil kann dann abschließend der Gehalt an Biomasse rechnerisch ermittelt werden. **Bild II-3** zeigt am Beispiel eines Zuckerwürfels die Vorgänge bei der Anwendung des selektiven Lösens auf ein biogenes Material. Durch das Austreiben des Wassers verfärbt sich der Zuckerwürfel durch den verbleibenden Kohlenstoff zunächst schwarz. Nach Zugabe des Oxidationsmittels Wasserstoffperoxid kommt es dann zu einer starken Gasentwicklung, die durch das Austreiben des Kohlenstoffs hervorgerufen wird.

Ein Vorteil des selektiven Lösens besteht darin, dass qualifizierte Laboratorien ohne großen apparativen Aufbau diese Methode durchführen können. Ein Nachteil ist, dass viele Einzelanalysen erforderlich sind, die alle in die entsprechenden Berechnungen einfließen. Als besonders kritisch hat sich weiterhin die genaue Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehaltes erwiesen. Bei den häufig eingesetzten Analysatoren können nur wenige Milligramm der Probe eingewogen werden. Aufgrund von Inhomogenitäten kann bereits dieser Schritt zu erheblichen Fehlern führen. Durch sorgfältiges Arbeiten sowie durch ausreichend durchgeführte Wiederholungen der Analysen kann dieser Fehlereinfluss jedoch kompensiert werden. Für viele im Bereich der Zementindustrie eingesetzte Sekundärbrennstoffe kann das selektive Lösen von daher als vergleichsweise preiswerte Analyse-methode zur Bestimmung des biogenen Anteils herangezogen werden.

Allerdings gibt es auch Materialien, die aufgrund ihrer stofflichen Beschaffenheit nicht für das selektive Lösen geeignet sind. Hierunter fallen beispielsweise sämtliche Brennstoffgemische, die bereits mit fossilem Kohlenstoff (z. B. Braunkohlestaub) zusätzlich beaufschlagt sind. In diesen Fällen liefert das selektive Lösen zu hohe Werte für den biogenen Anteil. Die technische Spezifikation CEN/TS 15440 enthält entsprechende Ausschlusskriterien.

Solche Materialien können grundsätzlich mit der ¹⁴C-Methode untersucht werden. Auch für die Anwendung dieses Verfahrens existiert derzeit der Entwurf einer technischen Spezifikation (prCEN/TS 15747). Dieses Verfahren, das aus der Archäometrie bereits seit langen Jahren bekannt ist, macht sich den Umstand zunutze, dass ein geringer Anteil des in der natürlichen Atmosphäre vorkommenden Kohlenstoffs aus dem radioaktiven Isotop mit der Atommasse 14 besteht. Dieses Kohlenstoffisotop hat eine Halbwertszeit von ca. 5 500 Jahren. Fossile Energieträger, die mehrere hunderttausend Jahre alt sind, weisen demnach keine ¹⁴C-Kohlenstoffisotope mehr auf. Demgegenüber entspricht deren Gehalt in biogenen Brennstoffen praktisch noch der Konzentration in der natürlichen Atmosphäre. Auf dieser Grundlage kann unter Zuhilfenahme bekannter Analysemethoden (Flüssigszintillationszähler, Betazählrohre bzw. hoch auflösende Massenspektrometer) dann gleichfalls der biogene Kohlenstoffgehalt in einer Probe bestimmt werden. Ein Vorteil dieser Methode liegt darin, dass sie grundsätzlich auf sämtliche Proben angewendet werden kann. Nachteilig sind derzeit die durch die aufwendige Messtechnik hervorgerufenen vergleichsweise hohen Kosten.

Zusätzlich bietet die Analytik auf Grundlage der ¹⁴C-Methode auch die Möglichkeit, entsprechende Untersuchungen direkt an Rauchgasproben durchzuführen.



Instrument für die Industrie bleibt der CO₂-Emissionshandel. Aber auch die anderen Richtlinien werden direkte oder indirekte Auswirkungen für die Industrie haben.

Emissionshandel

Nach intensiven Verhandlungen zwischen Europäischem Rat und Parlament berücksichtigt die vom EU-Parlament angenommene Änderung der Emissionshandelsrichtlinie (EU-ETS-Richtlinie) neben ökologischen Aspekten in stärkerem Maße auch ökonomische Belange. Hiernach gelten als besonders stark durch Produktionsverlagerung gefährdete Sektoren unter anderem solche, in denen die zusätzlichen CO₂-Kosten bei Vollversteigerung und Zertifikatspreisen von 30 €/t CO₂ einen Anteil von 30 % an der jeweiligen Bruttowertschöpfung übersteigen. Für die Zementindustrie ist dieser Wert mit über 60 % deutlich überschritten. Die gefährdeten Sektoren sind von der Vollversteigerung ausgenommen und sollen weiterhin eine kostenfreie Zuteilung auf der Grundlage produktspezifischer Benchmarks erhalten.

Die Auswirkungen der ursprünglich geplanten Versteigerung auf die Zementindustrie wurden im Vorfeld der Verhandlungen auf Brüsseler Ebene eindrucksvoll durch die Studie unterstrichen, die das Beratungsunternehmen McKinsey im Auftrag von VDZ und BDZ im vergangenen Herbst erarbeitet hatte. Boston Consulting Group (BCG) hatte für das CEMBUREAU eine ähnliche Studie auf europäischer Ebene durchgeführt. Beide kamen zu dem Ergebnis, dass die zusätzlichen Kosten einer Versteigerung von Emissionszertifikaten zu einer erheblichen Bedrohung der Zementindustrie durch Produktionsverlagerung führen würden. Im Falle einer Vollversteigerung wäre im Jahr 2020 eine Verlagerung von mehr als 80 % der Klinkerproduktion nach außerhalb Europas zu erwarten (Bild II-4). Durch die großen Transportentfernungen würden hierdurch die globalen CO₂-Emissionen jährlich um sieben bis 38 Millionen t steigen.

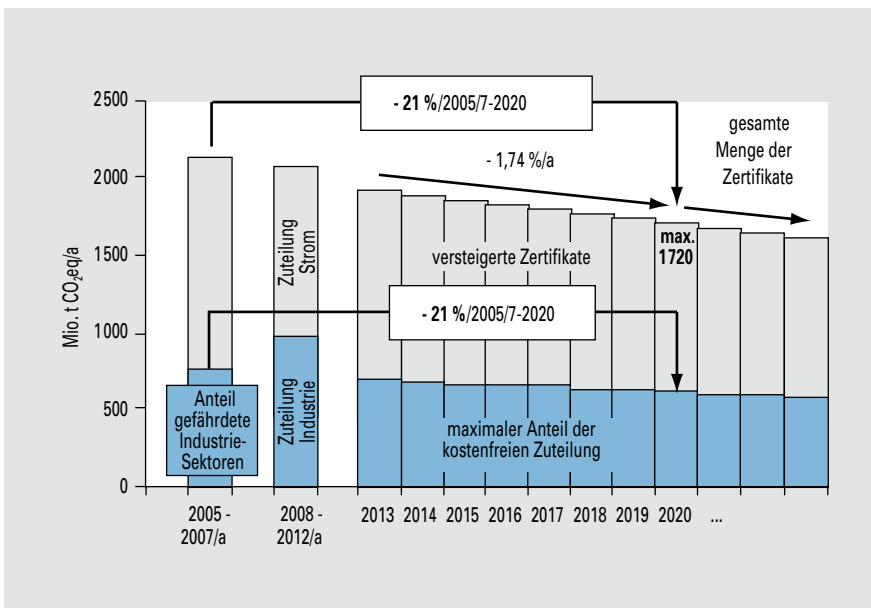


Bild II-5: Zielvorgaben für den EU-Emissionshandelssektor und zusätzliche anteilige Kürzung zur Festlegung der maximalen kostenfreien Zuteilung

Das Forschungsinstitut der Zementindustrie arbeitet seit mehreren Jahren auf diesem Gebiet gemeinsam mit der ECRA an der weiteren Entwicklung eines entsprechenden Verfahrens. In zwei großtechnischen Feldversuchen konnte dabei der Nachweis erbracht werden, dass diese Methode grundsätzlich auf Drehofenanlagen der Zementindustrie angewendet werden kann. Die weiteren Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich derzeit insbesondere auf die Suche nach einer geeigneten Probenahmeeinrichtung bzw. einem geeigneten Medium, das in der Lage ist, eine ausreichend große CO₂-Menge zu speichern.

Europäische Klimapolitik

Am 17.12.2008 hat das Europäische Parlament ein Maßnahmenpaket verabschiedet, mit dem die europäische Klimapolitik nach dem Jahr 2012 festgelegt wird. Das Klimapaket umfasst neben der geänderten Richtlinie zum Emissionshandel drei weitere Richtlinien zur so genannten Lastenverteilung, zur geologischen Speicherung von Kohlendioxid sowie zur Förderung erneuerbarer Energieträger. Die Parlamentsbeschlüsse werden deutliche Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen der EU-Mitgliedsstaaten und insbesondere auch für die energieintensive Industrie haben. Das wesentliche

Für die kostenfreie Zuteilung für die gefährdeten Sektoren müssen nun produktspezifische Benchmarks entwickelt werden. Die EU-Kommission und die EU-Mitgliedstaaten haben Anfang 2009 die entsprechenden Arbeitsgruppen ins Leben gerufen. Der Ausgangspunkt bei der Festlegung der Benchmarks ist in der Emissionshandelsrichtlinie festgelegt als die durchschnittlichen spezifischen Emissionen der 10 % effizientesten Anlagen eines Sektors. Zusätzlich ist die kostenfreie Zu-

teilung in der EU-ETS Richtlinie anteilig begrenzt. Hierdurch ergibt sich für die betroffenen Sektoren insgesamt die gleiche Minderungsverpflichtung für das Jahr 2020 von -21 % gegenüber dem Jahr 2005 (**Bild II-5**). Bei der Zuteilung kommt deshalb voraussichtlich neben der Produktionsmenge und dem jeweiligen Benchmark zusätzlich eine anteilige Kürzung zur Anwendung, um das Minderungsziel insgesamt einzuhalten.

Die EU-ETS Richtlinie sieht weiterhin Regelungen für die finanzielle Kompensation der indirekten Kostenbelastung gefährdeter Sektoren durch höhere Strompreise vor. Die genauere Ausgestaltung dieses Instruments liegt in der Verantwortung der einzelnen Mitgliedsstaaten und ist Gegenstand von Beratungen zwischen der Bundesregierung und der EU-Kommission unter Beteiligung der Industrieverbände.

Weitere Richtlinien im Klimapaket

In der Richtlinie zum so genannten „Effort Sharing“ werden Minderungsvorgaben für diejenigen gesellschaftlichen Bereiche der EU-Mitgliedsstaaten getroffen, die nicht dem CO₂-Emissionshandel unterliegen. Dazu gehören im Wesentlichen der Verkehr, Haushalte sowie Teile der Industrie und Gewerbe. Die EU hat sich verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2020 um mindestens 20 % zu senken. Sollte ein Kyoto-Folgeabkommen beschlossen werden, das vergleichbare Minderungsverpflichtungen für die wichtigsten Industrie- und Schwellenländer beinhaltet, würde die EU dieses Ziel auf 30 % steigern. Mit den Beschlüssen vom Dezember 2008 wird dieses Minderungsziel auf die EU-Mitgliedsstaaten verteilt. Für Deutschland ergibt sich eine zusätzliche Verpflichtung bis 2020 um 14 %, basierend auf dem Jahr 2005. Die Minderungsvorgabe für Deutschland liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie die für andere größere EU-Mitgliedsstaaten wie Frankreich (14 %), Italien (13 %) oder Großbritannien (16 %).

Für jeden Mitgliedsstaat wird eine absolute Obergrenze („Cap“) festgelegt, die beginnend mit dem Jahr 2013 linear bis zum Jahr 2020 sinkt. Um eine gewisse Flexibilität zu ermöglichen, ist sowohl Banking als auch Borrowing (Vorziehen von Emissionsberechtigungen in ein früheres Jahr) in gewissen Grenzen zulässig. Darüber hinaus können Staaten, die besser als ihr Cap sind, Emissionsrechte an andere Mitgliedsstaaten übertragen.

Die EU hat sich weiterhin verpflichtet, den Anteil der Energienutzung aus erneuer-

baren Quellen europaweit auf 20 % im Jahr 2020 zu erhöhen. Mit der Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energieträger wird diese Minderungsverpflichtung ebenfalls auf die Mitgliedsstaaten aufgeteilt. Deutschland hatte im Jahr 2005 einen Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Energienutzung von 5,8 % und muss diesen bis zum Jahr 2020 auf 18 % erhöhen. Vergleichbare Zahlen für andere Mitgliedsstaaten sind: Frankreich (23 %), Italien (17 %), Großbritannien (15 %). Länder, die bereits heute über einen hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern in der Energieumwandlung verfügen, erhalten entsprechend höhere Vorgaben. Darüber hinaus soll der Anteil erneuerbarer Energieträger im Verkehr auf 10 % in 2020 in allen Mitgliedsstaaten erhöht werden.

Biobrennstoffe dürfen zukünftig nur angerechnet werden, wenn sie festgelegte Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. Es ist zu erwarten, dass die Nachfrage nach Biomasse und auch nach Abfällen mit biogenen Anteilen in anderen Sektoren wie vor allem der Stromerzeugung deutlich steigen wird.

Mit der Richtlinie über die geologische Speicherung von CO₂ hat die EU-Kommission harmonisierte Anforderungen an die Auswahl, die Genehmigung, den Betrieb, die Überwachung sowie die Stilllegung von CO₂-Speichern festgelegt. Die CO₂-Speicherung gilt in Verbindung mit der CO₂-Abscheidung an großen Industrieanlagen und dem CO₂-Transport („Carbon Capture and Storage – CCS“) als entscheidende Technologie, mit der über einen Zeitraum von drei bis fünf Jahrzehnten die anthropogenen CO₂-Emissionen in die Atmosphäre drastisch gesenkt werden können. Weiterhin legt die Richtlinie die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten für CO₂-Speicher fest. Sie regelt außerdem den freien bzw. fairen Zugang zur Transportnetzen und Speichern für alle Interessenten. Nicht zuletzt werden Vorgaben über die Vorsorge für Haftungsfälle gemacht.

Über den Ort der CO₂-Speicher entscheiden die Mitgliedsstaaten. Da abgeschiedenes CO₂ nicht als Abfall gilt, unterliegt es nicht dem Abfallrecht und kann problemlos grenzüberschreitend transportiert werden. Während die Speicherung in der Wassersäule, d. h. in größeren Tiefen im Meer, nicht erlaubt ist, gilt die Speicherung in ehemaligen Gas- bzw. Ölkavernen unter der Nordsee als am aussichtsreichsten. Bei diesen Speichern bietet sich die Kombination der CO₂-Speicherung mit der Technologie der verstärkten Gas- bzw. Öl-

förderung an, bei der das CO₂ zum Auspressen von Öl und Gas aus dem Speicher verwendet wird, das sonst kaum noch förderbar wäre.

CO₂-Speicher müssen vor Inbetriebnahme, während des Betriebs sowie mindestens 30 Jahre nach Schließung der Speicherstätte messtechnisch überwacht werden, um ggf. auftretende Leckagen festzustellen. Die Verantwortung für den Speicher liegt beim Betreiber. Nach Schließung des Speichers bleibt der Betreiber für mindestens 20 Jahre in der Verantwortung, bevor diese auf den Staat übertragen wird.

Nach Inkrafttreten der Richtlinie dürfen fossil befeuerte Kraftwerke nicht mehr neu genehmigt werden, ohne dass der Platz für CO₂-Abscheideanlagen vorgesehen wird. Entsprechende Vorgaben sind für Industrieanlagen vorerst nicht vorgesehen.

CO₂ Capture and Storage

Das Thema „Klimaschutz“ hat in den letzten Jahren eine starke Bedeutung gewonnen. Politischer Konsens ist heute, dass ein Portfolio von Maßnahmen erforderlich ist, um den Temperaturanstieg der Atmosphäre in den nächsten Jahren auf maximal 2 °C zu begrenzen. Eine dieser Maßnahmen ist die Abscheidung von CO₂ aus Kraftwerken und anderen großen Feuerungsanlagen und die anschließende Speicherung in unterirdischen Lagerstätten. Entsprechend der englischen Bezeichnung „Carbon Capture and Storage“ wird in der Literatur meist die Kurzbezeichnung CCS verwendet. Nach heutigem Kenntnisstand sind die Technologien durchweg extrem teuer und energieaufwändig. Sie erfordern weiterhin ein Netz von CO₂-Pipelines für den Transport zu den Speicherstätten. Nicht zuletzt ist die Langzeitsicherheit der Speicherung von außerordentlicher Bedeutung. Aus diesen Gründen ist die Anwendung der CCS-Technologien nicht unumstritten.

Das Forschungsinstitut der Zementindustrie ist über ein ECRA-Projekt mit der potenziellen Anwendung von CCS-Maßnahmen beim Klinkerbrennprozess beschäftigt. Dieses Forschungsprojekt ist in mehrere Phasen unterteilt. In Phase I wurde eine Literaturstudie durchgeführt, in die alle grundsätzlich möglichen Abscheidemaßnahmen einbezogen wurden. Dabei hatte sich herausgestellt, dass insbesondere der Oxyfuel-Prozess in Verbindung mit chemischen Absorptionsverfahren („Aminwäsche“) für eine Anwendung an Zementofenanlagen vom Grundsatz her in Frage kommen könnte. In der nachfolgenden Phase II des Projekts wurden für diese Min-

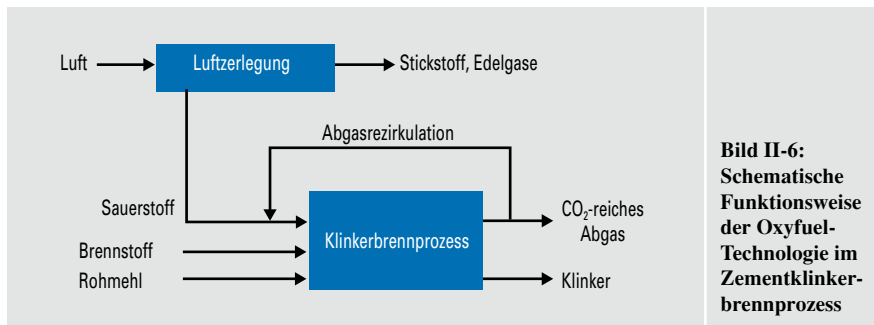


Bild II-6:
Schematische Funktionsweise der Oxyfuel-Technologie im Zementklinkerbrennprozess

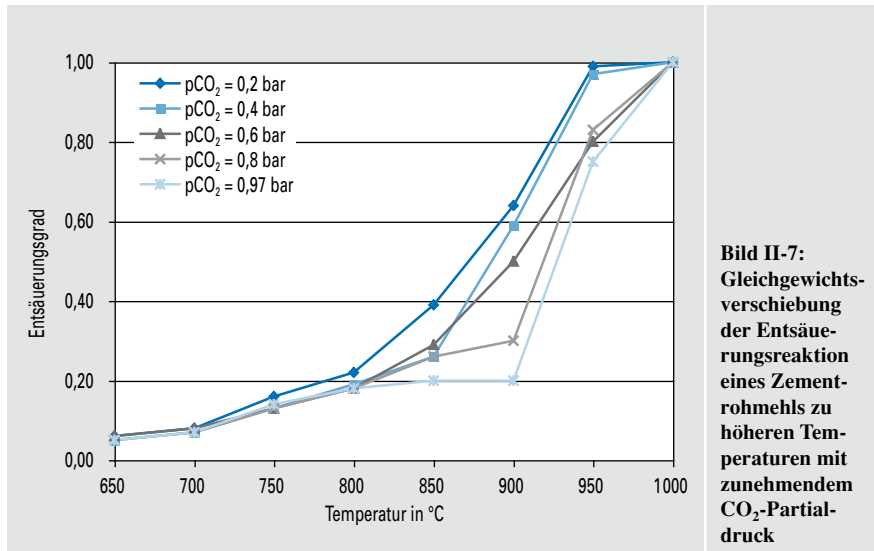


Bild II-7:
Gleichgewichtsverschiebung der Entsäuerungsreaktion eines Zementrohmeihls zu höheren Temperaturen mit zunehmendem CO₂-Partialdruck

derungsverfahren detailliertere Betrachtungen für Drehofenanlagen der Zementindustrie vorgenommen.

Der Einsatz des Oxyfuel-Verfahrens, d. h. eine Verbrennung mit reinem Sauerstoff, hätte umfangreiche verfahrenstechnische Änderungen des Klinkerbrennprozesses zur Folge. Dagegen ließen sich nachgeschaltete chemische Absorptionsverfahren wahrscheinlich ohne größere Auswirkungen auf die Verfahrenstechnik an Zementofenanlagen installieren, da diese Emissionsminderungsmaßnahme am Ende des Abgaswegs (Tail End) installiert und der Brennprozess daher kaum beeinflusst würde. Ein Untersuchungsbedarf besteht aber insbesondere bezüglich der Solvensdegradation und der Bereitstellung der Energie für die Regeneration des beladenen Absorptionsmittels. Außerdem ist selbstverständlich auch die Kostenfrage noch abschließend zu bewerten.

Oxyfuel-Technik

Als ein Verfahren der CO₂-Abscheidung aus dem Abgas wird die Oxyfuel-Technik mit Abgasrezirkulation diskutiert. Bei der Oxyfuel-Technologie erfolgt die Verbrennung nicht mit Luft, sondern mit Sauerstoff. Dadurch wird die CO₂-Konzentration im Abgas durch die nicht mehr ge-

bene Verdünnung des Abgasvolumenstroms durch den Luftstickstoff deutlich erhöht. Da die Verbrennung mit reinem Sauerstoff allerdings zu hohen Verbrennungstemperaturen in der Sinterzone führen würde, muss ein Teil des Rauchgases in den Verbrennungsprozess zurückgeführt und damit die Verbrennungstemperatur eingestellt werden (Bild II-6). Durch dieses Verfahren wird CO₂ im Abgas angereichert und kann entweder direkt verflüssigt oder zunächst über eine weitere Capture-Technologie abgetrennt werden, bevor es zur Speicherung abtransportiert wird. Diese Technik führt somit zu einer deutlichen Beeinflussung des Brennprozesses und erfordert teilweise Anpassungen der Anlagentechnik.

So müssten auf dem Werksgelände zunächst zusätzliche Einheiten wie eine Luftzerlegungsanlage und eine CO₂-Reinigungs- und -Kompressionseinrichtung errichtet werden. Die Sauerstoffbereitstellung durch eine Luftzerlegungsanlage (LZA) ist darüber hinaus ein äußerst energieintensiver Prozessschritt. Zudem stellt der Sauerstoffgehalt im Verbrennungsgas, dessen Optimum vermutlich oberhalb von 21 Vol.-% liegt, einen weiteren Freiheitsgrad dar. Der Energiebedarf der LZA ist direkt abhängig von der Sauerstoffreinheit,

welche u. a. die Abgaszusammensetzung und damit den Aufwand der Reinigung vor dem Abtransport des CO₂ mitbestimmt. Einen weiteren erheblichen Einflussfaktor auf die CO₂-Konzentration des Abgases bildet der Anteil an Falschluff. Eine weitergehende Abdichtung des Klinkerbrennprozesses ist jedoch aufgrund der Übergänge von statischen auf bewegte Teile, wie z. B. am Ofenkopf oder Ofeneinlauf, schwierig.

Die moderate Sauerstoffanreicherung in der Verbrennungsluft wird schon seit längerem in der Kraftwerks-, Stahl-, Glas- und auch in der Zementindustrie angewendet. So wurden bereits in einigen Zementwerken, insbesondere in den USA, Erfahrungen mit der Sauerstoffanreicherung zur Verbesserung der Produktionsleistung und der Energieeffizienz gemacht. Während die Kraftwerksindustrie bereits Pilotanlagen zur Abscheidung von CO₂-Emissionen mittels der Oxyfuel-Technologie betreibt, liegen bislang über den Einsatz der Technologie in der Zementindustrie keine Erkenntnisse vor.

Die Oxyfuel-Technologie beeinflusst - bedingt durch die veränderte Gasphasenzusammensetzung (CO₂/N₂/O₂) den Klinkerbrennprozess erheblich. Dieses beinhaltet sowohl Auswirkungen im Hinblick auf den Anlagenbetrieb als auch Auswirkungen auf die chemisch-mineralogischen Brennreaktionen. Dieses macht eine umfassende Anpassung des Brennprozesses erforderlich. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens werden daher Laboruntersuchungen und Simulationsberechnungen mit einem am Forschungsinstitut entwickelten verfahrenstechnischen Prozessmodell durchgeführt.

Bei den Laboruntersuchungen stellte sich heraus, dass der CO₂-Partialdruck auf die getesteten Materialien eine unterschiedlich stark ausgeprägte Gleichgewichtsverschiebung der Entsäuerungsreaktion zu höheren Temperaturen bis zu 80 K zur Folge hat, wodurch wiederum der Brennstoffenergiebedarf erhöht wird (Bild II-7). Durch verschiedene Analysen an den Ofenmehlen wurde zudem festgestellt, dass die unterschiedlich starke Temperaturverschiebung der jeweiligen Calcinationsverläufe im Wesentlichen durch den Verwachsungsgrad der Silicium- und Calciumoxidbestandteile beeinflusst wird, der sich stark auf die exotherme diffusionsgesteuerte Folgereaktion zu den Klinkerphasen auswirkt.

Für die Simulationsrechnungen wurde zunächst ein Referenzzustand festgelegt, um

Änderungen des Anlagenbetriebs beurteilen zu können. Es handelt sich dabei um eine Ofenanlage mit einer Ofenleistung von 3000 t/d sowie einem fünfstufigen Vorwärmer, Calcinator und Tertiärluftleitung. Von diesem Zustand ausgehend wurde zunächst der Stickstoff aus der Primärluft entfernt. Allein hierdurch werden die Temperaturprofile im Ofen deutlich angehoben. Bei der simulierten Modifikation der Ofenatmosphäre vom Luft- zum Oxyfuel-Betrieb wurde grundsätzlich ersichtlich, dass durch die höhere spezifische Wärmekapazität von CO_2 im Vergleich zu N_2 die Temperaturprofile in der Anlage mit zunehmender CO_2 -Konzentration sinken (**Bild II-8**). Es kommt insgesamt zu einer Verschiebung des Temperaturprofils. Die Klinkerphasenbildung verschiebt sich über die Ofenlänge durch Änderungen im Wärmeübertragungsverhalten, jedoch entstehen im Endprodukt Klinker nur wenige Abweichungen (**Bild II-9**).

Das Projekt sieht auf Basis der bislang erhaltenen Ergebnisse noch weitere Simulationsstudien mit dem Modell und Laboruntersuchungen zum Verhalten von Klinkerbrand und -kühlung in einer CO_2 -Atmosphäre vor.

Post-Combustion Capture

Unter dem Begriff „Post-Combustion CO_2 -Capture“ werden Techniken zusammengefasst, mit denen Kohlendioxid nach der Verbrennung aus dem Rauchgas abgetrennt werden kann. Als Mechanismen dienen dazu Absorption, Adsorption oder CO_2 -selektive Membrane.

Die absorptive Abtrennung von CO_2 aus dem Reingas geschieht durch eine Gaswäsche. Dabei wird das Rauchgas durch eine Gegenstromkolonne geleitet, in dem eine Waschflüssigkeit das Kohlendioxid selektiv aus dem Reingas aufnimmt. Auf diese Weise können bis zu 99 % des Kohlendioxides aus dem Reingas abgetrennt werden. Mit zunehmender Abtrennrage steigt der Energiebedarf stark, sodass Abtrenngrade zwischen 85 % und 95 % derzeit am sinnvollsten erscheinen.

Wenn die CO_2 -Abscheidung für die Zementindustrie relevant werden sollte, hätte die absorptive Gaswäsche mittelfristig die größte Bedeutung. Zum einen ist sie in anderen Industrieprozessen bereits Stand der Technik, zum anderen eignet sie sich besonders für mittlere und niedrige CO_2 -Partialdrücke, wie sie in Rauchgasen unter Normaldruck vorliegen. Außerdem können mit dieser „end-of-pipe“-Maßnahme bestehende Drehofenanlagen nachgerüstet

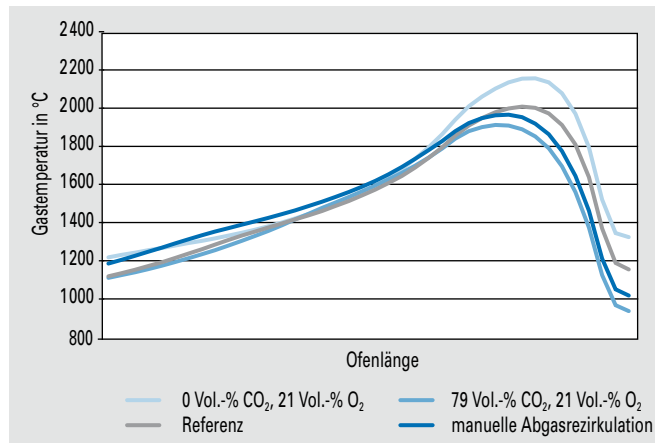


Bild II-8: Temperaturprofil des Ofengases in Abhängigkeit vom CO_2 -Anteil in der Verbrennungsatmosphäre

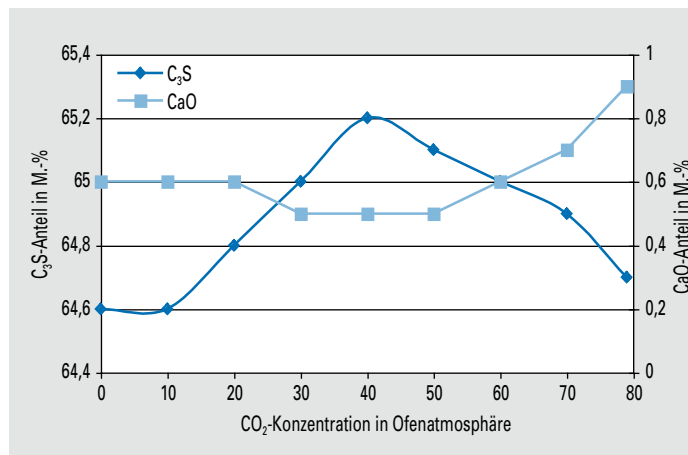


Bild II-9: Einfluss der Brennbedingungen unter steigenden CO_2 -Konzentrationen auf die Alit-Bildung und den Freikalkgehalt

werden, ohne den Klinkerbrennprozess zu beeinflussen.

Adsorptive Verfahren wären für Drehofenanlagen ungeeignet, da sie erst bei deutlich höherem CO_2 -Partialdruck effektiv einsetzbar sind. Membranverfahren könnten energieeffizienter arbeiten. Sie befinden sich aber noch im Stadium der Grundlagenforschung und werden für den großtechnischen Einsatz auf absehbare Zeit nicht verfügbar sein.

Technik der absorptiven CO_2 -Abtrennung

Die absorptive Gaswäsche ist ein etabliertes Verfahren für die Abtrennung von CO_2 , es wird bisher u. a. bei der Aufbereitung von Erdgas eingesetzt. Hierbei werden Amine oder Carbonate als Absorbens genutzt, die mit CO_2 reversibel reagieren. Der Prozess besteht aus einer Absorptions- und einer Desorptionskolonne. In letzterer wird das CO_2 wieder vom Absorbens getrennt. Dies geschieht, in dem die Aminlösung in einem sogenannten Aufkocher erhitzt wird. Durch die höhere Temperatur verschiebt sich die Löslichkeit von CO_2 in dem Absorbens, sodass das CO_2 wieder aus der Flüssigkeit frei wird.

Signifikant für die absorptive Gaswäsche sind ein sehr hoher Energieverbrauch und eine hohe Reinheit des abgetrennten CO_2 , in der Regel > 99 %.

Anforderungen an das Reingas

Die Zusammensetzung des Reingases ist für eine effiziente CO_2 -Abtrennung wichtig. Sauerstoff und saure Gase wie SO_2 greifen das Absorbens an und zersetzen es. Damit die Verluste an Absorbentien in einem vertretbaren Rahmen bleiben, müssen dementsprechend enge Konzentrationswerte eingehalten werden.

Die Jahresmittelwerte deutscher Zementwerke zeigen, dass die NO_x -Konzentrationen grundsätzlich den Anforderungen entsprechen, bei der Konzentration von Schwefeldioxid ist dies bei etwa jeder zweiten Anlage der Fall. Auch die Staubkonzentrationen im Abgas genügen weitestgehend den Anforderungen. Insbesondere zu dieser Fragestellung sind aber noch weitere Untersuchungen nötig. Dies betrifft auch die Konzentration von CO , Spurengasen und Schwermetallen.

Der Falschluffanteil und die daraus resultierende Sauerstoffkonzentration stellen ein

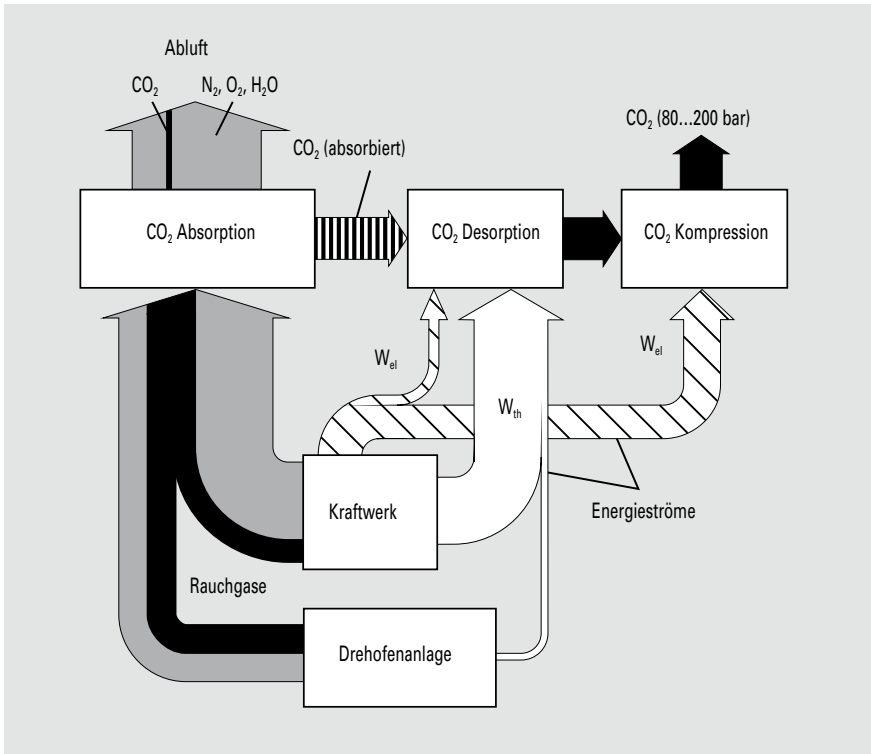


Bild II-10: Zementwerk mit CO₂-Abtrennung und Kraftwerk zur Energieversorgung: Abschätzung der wesentlichen Massen- und Energieströme

hohem Brennstoffenergieverbrauch könnten bestenfalls 10 – 20 % Prozent der Aufkocherwärme durch Abwärmenutzung gedeckt werden. **Bild II-10** zeigt die wichtigsten Stoff- und Energieströme der CO₂-Abtrennung, dargestellt ist der Fall, dass die Energieversorgung durch ein Kraftwerk gesichert wird. Pumpen und Kompressoren werden dabei durch elektrische Energie (W_{el}) aus dem Kraftwerk versorgt, der Aufkocher wird durch Heißdampf (W_{th}) aus dem Kraftwerk und der Drehofenanlage beheizt.

Ausblick

Die nachträgliche, absorptive CO₂-Abtrennung benötigt nach dem Stand der Technik noch zuviel Energie, um für die Rauchgasreinigung wirtschaftlich einsetzbar zu sein. Die fortschreitende Entwicklung, insbesondere im Bereich der Absorbensregeneration, und steigende Preise für CO₂-Emissionsrechte im Rahmen des europäischen Emissionshandels könnten diese Situation aber mittelfristig verändern. Sollte die CO₂-Abtrennung nötig und wirtschaftlich vertretbar werden, so ist die Post-Combustion Technik sehr wahrscheinlich die erste verfügbare Lösung.

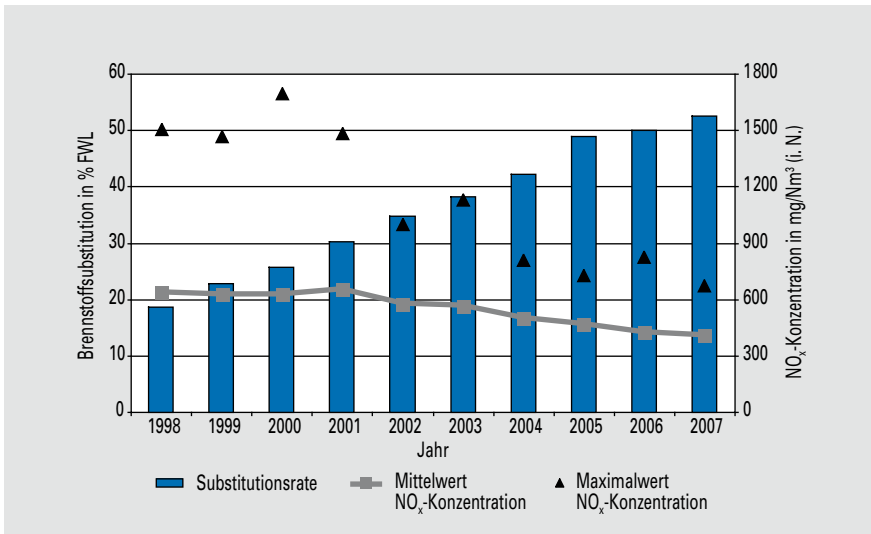


Bild II-11: Entwicklung der NO_x-Emissionen von 1998 bis 2007 mit Darstellung der Brennstoffsubstitution

weiteres Problem dar. Zwar kann der Einfluss von Sauerstoff auf das Absorbens durch Inhibitorstoffe effektiv vermieden werden. Die eindringende Falschluff vergrößert aber auch die Menge an Rauchgas, das den Wäscher passieren muss. Verdichter und Kolonnen müssten dementsprechend größer ausgelegt werden.

Energieverbrauch

Der Bedarf an thermischer und elektrischer Energie ist die größte Herausforderung, wenn es darum geht, die nachträgliche CO₂-Abtrennung ökonomisch sinnvoll um-

zusetzen. Nach derzeitigen Abschätzungen würde der spezifische Energiebedarf pro Tonne Klinker bei einer Anlage mit Kohlendioxid-Abtrennung mehr als verdoppelt. Mit der verfügbaren Technik würden allein für den Aufkocher etwa 2 500 MJ thermische Energie pro Tonne Klinker benötigt, um bei einer effizienten Drehofenanlage das freigesetzte CO₂ abzutrennen.

Da der Drehofenprozess bereits sehr effizient ist, ließe sich auch nur in geringen Umfang noch Energie aus der existierenden Anlage auskoppeln. Auch bei Anlagen mit

Umweltdaten ■

Seit dem Jahr 1998 veröffentlicht der VDZ jährlich die auf einer Umfrage unter nahezu allen deutschen Zementherstellern basierenden „Umweltdaten der deutschen Zementindustrie“. Die jeweils aktuelle Ausgabe steht unter www.vdz-online.de im Bereich Literatur/Umwelt und Ressourcen/Umweltdaten als pdf-Datei zum Download zur Verfügung. Zusätzlich können gedruckte Exemplare über die Literaturstelle des FIZ angefordert werden.

Die Broschüre dokumentiert den Einsatz von Roh- und Brennstoffen zur Klinker- und Zementproduktion. Insbesondere werden die Einsatzmengen der Sekundärstoffe detailliert dargestellt. Der Anteil der Sekundärbrennstoffe am gesamten Brennstoffenergieeinsatz betrug demnach im Jahr 2008 über 54 %. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt auf den Emissionen über die Ofenabgase der Zementanlagen, die repräsentativ für die deutsche Zementindustrie dargestellt werden können.

Betrachtet werden neben dem Staub auch die Abgaskomponenten NO_x (**Bild II-11**) und SO₂ sowie alle relevanten Spurenelemente und organischen Abgasbestandteile. Deren Konzentrationen in den Reingasen wurden ebenso wie die damit verbundenen Stofffrachten, das heißt die emit-

tierten Mengen in kg/Jahr, für alle in Deutschland betriebenen Klinkeröfen graphisch dargestellt. Sofern eine Komponente durch eine Messung bestimmbar ist, sind eindeutige Angaben sowohl für die Konzentration als auch die Jahresfracht möglich, deren Genauigkeiten durch die Messunsicherheit beschrieben werden können. Bei nicht abgesicherten Messwerten oder Messungen unterhalb der Nachweisgrenze ist dies jedoch nicht möglich. In diesen Fällen wird in den Bildern keine Emissionskonzentration angegeben. Für die emittierte Fracht kann dann lediglich eine theoretische Obergrenze angegeben werden. Sie errechnet sich unter der Annahme, dass die Konzentration des Stoffs im Reingas die Nachweisgrenze erreicht.

Solche Abschätzungen mit Obergrenzen sind zur Zeit bei der Bestimmung der Spurenelementemissionen von Drehofenanlagen der Zementindustrie oft unausweichlich. Die Konzentrationen von Spurenelementen liegen wegen deren Verhalten im Klinkerbrennprozess sowie der hohen Abscheidleistung der Entstaubungsanlagen häufig unter der Nachweisgrenze des Messverfahrens. In **Bild II-12** werden beispielhaft die Emissionskonzentrationen in mg/m^3 des Spurenelements Chrom dargestellt. Insgesamt wurden z. B. im Jahr 2007 durch Messungen an 42 Ofenanlagen 108 Werte für die Chrom-Konzentration in den Reingasen ermittelt. Jedoch sind lediglich die drei abgebildeten Werte (Punkte) größer oder gleich der Nachweisgrenze, die je nach Mess- und Analysenmethode zwischen $0,01$ und $0,015 \text{ mg}/\text{m}^3$ beträgt (s. Querbalken).

In **Bild II-13** kann daher nur für eine Anlage die Chrom-Fracht über die Konzentrationswerte und den Reingasvolumenstrom (m^3/Jahr) eindeutig angegeben werden (Dreieck). Für 41 Anlagen müssen die Emissionen über einen angenommenen Konzentrationswert von $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ abgeschätzt werden (Linien). Die tatsächlich emittierten Frachten entsprechen nur im ungünstigsten Fall den gezeigten Obergrenzen, was insbesondere bei einer umweltpolitischen Bewertung der Zahlen berücksichtigt werden muss.

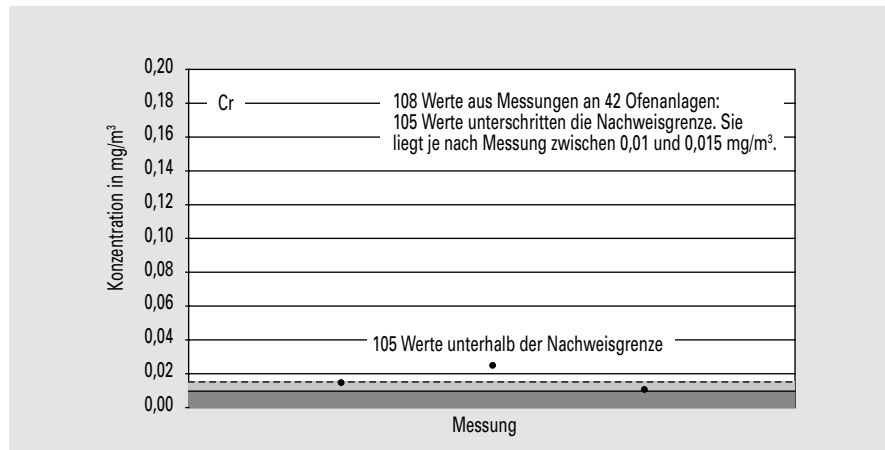


Bild II-12: Messwerte (Jahr 2007) der Chrom-Konzentration im Reingas von 42 Drehofenanlagen

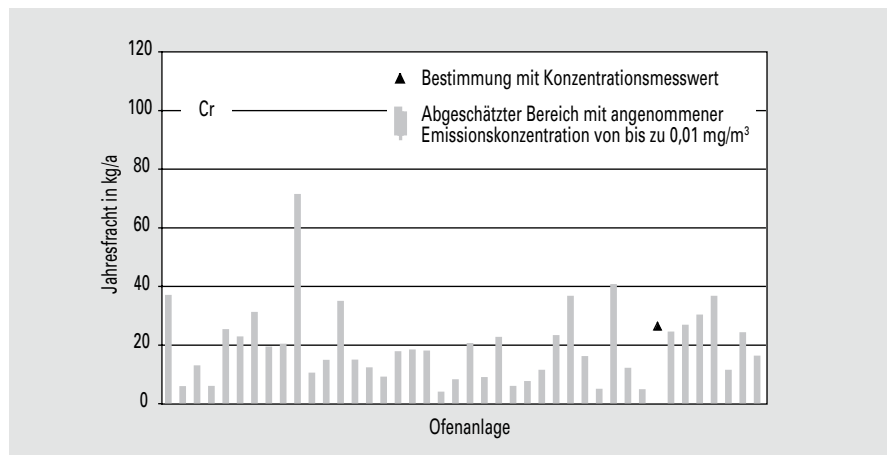


Bild II-13: Chrom-Emissionen (Jahresfrachten 2007) von 42 Drehofenanlagen

Minderung gas- und staubförmiger Emissionen ■

Stand der NO_x -Minderung

Die Minderung der NO_x -Emissionen ist ein Thema, mit dem sich die Zementindustrie seit über 20 Jahren intensiv beschäftigt. Durch die Verschärfung der Emissionsgrenzwerte wurden im Laufe der Zeit immer höhere Anforderungen an die NO_x -Minderungsverfahren gestellt.

Um die aktuellen Emissionsgrenzwerte einzuhalten, ist das SNCR-Verfahren (selektive nicht-katalytische Reduktion) in vielen Fällen die Methode der Wahl. In der deutschen Zementindustrie sind zur Zeit 35 Anlagen installiert, in Europa mehr als 100. Auch an Vorcalcinieranlagen findet man mittlerweile häufig das SNCR-Verfahren als sekundäre Minderungsmaßnahme. Durch die günstigen Randbedingungen für einen effektiven NO -Abbau, nämlich ein vergleichsweise niedriges NO_x -Ausgangsniveau und eine lange Reaktionsstrecke bzw. Verweilzeit im

geeigneten Temperaturfenster, lässt sich an Ofenanlagen mit Calcinator ein niedriges NO_x -Niveau bei geringem NH_3 -Schlupf erreichen.

Ausgehend von der Richtlinie über nationale Höchstmengen für verschiedene Luftschadstoffe (NEC-Richtlinie) besteht zunehmend ein Druck, Maßnahmen zur Minderung der NH_3 -Emissionen zu ergreifen. Obwohl die Zementindustrie nur zu einem sehr geringen Teil zu den NH_3 -Emissionen beiträgt, wird dieses Thema zunehmend von den Genehmigungsbehörden thematisiert und neben einem niedrigen NO_x -Grenzwert auch eine Überwachung der NH_3 -Emissionen gefordert. In der aktuellen Revision des BREF-Dokumentes wird für den zusätzlichen NH_3 -Schlupf bei Anwendung des SNCR-Verfahrens ein oberer Wert von $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ vorgeschlagen. Bei den NH_3 -Emissionen ist zu beachten, dass die Gesamtemissionen aus einem rohmaterialbedingten Grundniveau und dem NH_3 -Schlupf (durch Eindüsung von Ammoniak zur NO_x -Minde-

Tafel II-4: Wartungsvorgaben für die bisher in deutschen Zementwerken installierten Quecksilberanalysatoren

Mess-einrichtung	Hersteller	Version	wöchentlich	monatlich	halbjährlich	jährlich
MERCEM	SICK MAIHAK GmbH, Meersburg	Okt. 2008	Sichtkontrollen Messwerte, Systemschrank, Flüssigkeits-Aus- tritt, Waschflasche	Kontrollen Drücke, Durchfluss, Reaktor; alle drei Monate: SnCl ₂ -Lösung erneuern; Hg-Prüf- gas aufleiten	Austausch Reagenzien und Verbrauchs- materialien	Austausch Verbrauchs- materialien, Service empfohlen
HM 1400 TR	(VEREWA) Durag GmbH, Hamburg	keine Angabe	Kontrollen Nullpunkt, Messgasstrom, Systemdruck	keine Angabe	Austausch Reaktormaterial, Tygenschlauch	Austausch Verbrauchs- materialien, Hg-Prüfgase aufleiten
SM-3	Mercury Instruments GmbH, Karlsfeld	Okt. 2008	Kontrollen Schlauch, Messgasstrom; Kondensat ablassen	Kontrollen Kühler, Einstellungen, Schlauchpumpe; alle drei Monate Hg-Prüfgas auf- leiten	Kontrolle Heiß- filter, Austausch Schläuche, Hg-Prüfgas auf- leiten	Austausch Verbrauchs- materialien, Hg-Prüfgas aufleiten

rung) bestehen. Mögliche Begrenzungen sollten sich deshalb nur auf den NH₃-Schlupf beziehen.

Weiterentwicklung des SCR-Verfahrens

Während das SNCR-Verfahren als Stand der Technik für die NO_x-Minderung beim Klinkerbrennprozess anzusehen ist, gilt dies nur mit Einschränkungen für das SCR-Verfahren (selektive katalytische Reduktion). Um das SCR-Verfahren weiterzuentwickeln, werden in der europäischen Zementindustrie SCR-Versuche an Pilot- und Demonstrationsanlagen geplant bzw. bereits durchgeführt. Damit soll es möglich werden, niedrige NO_x-Grenzwerte bei nur geringem NH₃-Schlupf einzuhalten und in einzelnen Fällen auch rohmaterialbedingte NH₃-Emissionen zu verringern.

In Italien sind mittlerweile zwei SCR-Anlagen in Zementwerken installiert und eine dritte ist in Vorbereitung. In Österreich sind verschiedene Pilotuntersuchungen im Gang, die – bei erfolgreichem Verlauf – auch zum Bau von Demonstrationsanlagen führen sollen. Durch einen engen Kontakt zwischen VDZ und VÖZ ist gewährleistet, dass die Erfahrungen aus den österreichischen SCR-Projekten auch von der deutschen Zementindustrie genutzt werden können.

Auch in Deutschland sind zwei SCR-Demonstrationsprojekte geplant. Die erste Anlage in Rohgasschaltung soll bereits im Frühjahr 2010 in Betrieb gehen. Die Inbetriebnahme der zweiten Anlage in Reingasschaltung (Tail-End, mit Abwärmenutzung) ist für 2011 geplant.

Der VDZ begleitet beide Werke sowohl bei den Planungen und der Inbetriebnahme als auch im Rahmen eines umfangreichen, mehrjährigen Messprogramms, bei dem die zahlreichen offenen Fragestellungen untersucht werden sollen. Unter anderem soll in einem der Werke auch eine Kombination der SCR- und SNCR-Technik erprobt werden. Hierdurch lassen sich möglicherweise Kostenreduktionen durch eine schlankere Auslegung des Katalysators ermöglichen. Weiterhin sind Untersuchungen zur katalytischen Oxidation organischer Schadstoffe und zum Verhalten von Quecksilber am SCR-Katalysator vorgesehen.

Kontinuierliche Messungen von Quecksilberemissionen – regelmäßige interne Wartung durch den Betreiber

Quecksilberemissionen von Drehofenanlagen der Zementindustrie, in denen Abfälle energetisch verwertet werden, sind aufgrund der gesetzlichen Vorgaben in Deutschland kontinuierlich zu messen. Am Markt gibt es einige kommerziell verfügbare Messgeräte, die über eine entsprechende behördliche Freigabe verfügen. Trotz dieser vorhandenen Eignungsprüfungen hat es in der Praxis allerdings von Anfang an Schwierigkeiten mit dem stabilen Betrieb der Analysatoren gegeben. Mittlerweile sind in der deutschen Zementindustrie 34 kontinuierlich arbeitende Quecksilber-Emissionsanalysatoren an den Kaminen installiert. Obwohl die Industrie gemeinsam mit dem Forschungsinstitut der Zementindustrie in der Vergangenheit einen erheblichen Forschungs- und Entwicklungsaufwand betrieben hat, um

ein längerfristiges, sicheres Funktionieren der Analysatoren sicherzustellen, treten in der praktischen Anwendung weiterhin Probleme auf. Diese beziehen sich zum einen auf die grundsätzliche Kalibrierfähigkeit der Geräte bei verschiedenen Prozessbedingungen. Zum anderen ist es nach wie vor für die Betreiber praktisch nicht möglich, die auf Grundlage der europäischen Norm (DIN EN 14181) geforderten regelmäßigen internen Qualitätskontrollen selber durchzuführen.

Das deutsche Umweltbundesamt hat die in der Praxis nach wie vor auftretenden Probleme im Wesentlichen auf eine unzureichende Wartung der Geräte zurückgeführt. Deshalb wurden sämtliche Gerätehersteller vom Umweltbundesamt aufgefordert, die gerätespezifischen Wartungshandbücher entsprechend zu überarbeiten. **Tafel II-4** zeigt die Wartungsvorhaben, wie sie sich aus diesen Handbüchern für die bisher in deutschen Zementwerken installierten Quecksilberanalysatoren ergeben.

Auf Grundlage der Norm DIN EN 14884 (spezifische Umsetzung der allgemeinen Messvorschrift DIN EN 14181 für Quecksilberanalysatoren) müssen die Gerätebetreiber regelmäßig interne Qualitätssicherungsmaßnahmen (QAL 3) durchführen. Dabei werden in regelmäßigen Intervallen Null- und Referenzpunkte überprüft sowie deren Drift vom Betreiber festgehalten. Da nach wie vor stabile Prüfgase und/oder Referenzstandards nicht kommerziell verfügbar sind, müssen die entsprechenden Messungen zum Nachweis der internen Qualitätssicherung im Allgemeinen durch qua-

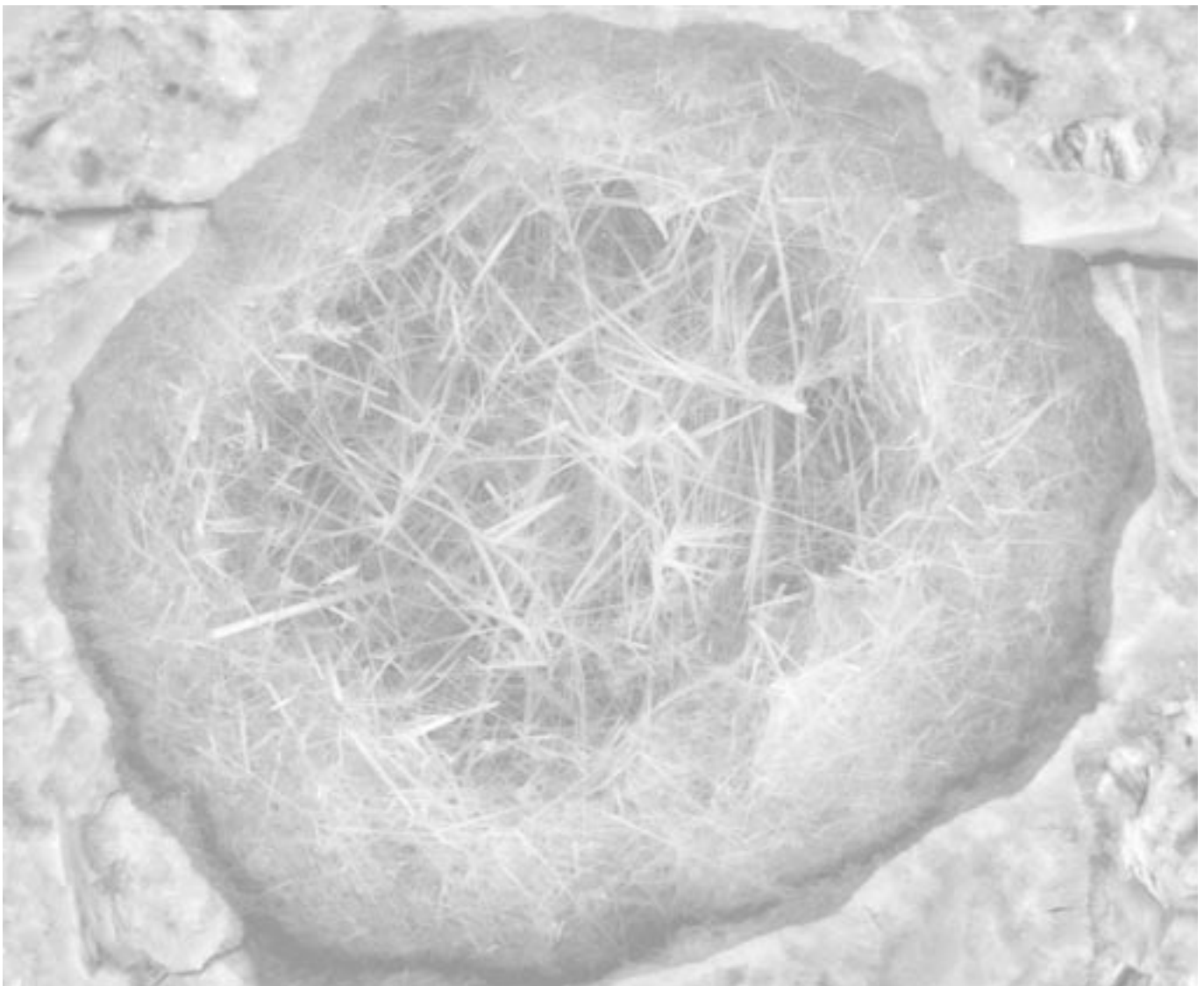
lifizierte Messinstitute oder gegebenenfalls durch die Gerätehersteller selber durchgeführt werden. Den Betreibern der kontinuierlich arbeitenden Quecksilber-Emissionsmessgeräte ist in jedem Fall zu empfehlen, sich kurzfristig die von den Herstellern überarbeiteten Wartungshandbücher zu beschaffen und die für den jeweiligen Gerätetyp erforderlichen Maßnahmen einzuleiten. Aufgrund der in Einzelfällen weiterhin auftretenden Probleme im prak-

tischen Betrieb der Quecksilber-Emissionsmessgeräte, insbesondere bezüglich deren Langzeitstabilität, ist die kontinuierliche Messung von Quecksilberemissionen im Übrigen auch im aktuell revidierten BAT-Referenzpapier noch nicht als beste verfügbare Technik festgeschrieben worden. Vielmehr wurde vereinbart, den weiteren Fortschritt der Entwicklung in Deutschland und Österreich zu beobachten, um dann bei der nächsten anstehenden Revision des

BAT-Referenzdokumentes zu entscheiden, ob die kontinuierliche Messung von Quecksilberemissionen tatsächlich als beste verfügbare Technik für die Zementindustrie angesehen werden kann. An den gesetzlichen Vorgaben in Deutschland und damit der Verpflichtung für die deutsche Zementindustrie, sich weiterhin mit dieser Thematik auseinander zu setzen, wird sich jedoch auch durch diese Festlegung nichts ändern.

III

Leistungsfähigkeit von Zement



Nadelige Ettringit-Kristalle in einer Beton-Luftpore

Chemisch-mineralogische Zusammensetzung ■

Die von den VDZ-Mitgliedswerken hergestellten Zemente werden in regelmäßigen Abständen röntgenfluoreszenzanalytisch auf ihre chemische Zusammensetzung untersucht. In **Tafel III-1** sind die Mittelwerte sowie die Höchst- und Niedrigstwerte der Portlandzemente der unterschiedlichen Festigkeitsklassen nach DIN EN 197 zusammengestellt. Auf eine Darstellung von CEM I 32,5 üblicher Anfangsfestigkeit (N-Zemente) wird verzichtet, da die-

se Sorte nur noch an wenigen Standorten mit den besonderen Eigenschaften „LH/SR“ (niedrige Hydratationswärme, hoher Sulfatwiderstand) produziert wird.

Die Verlagerung der Marktanteile hin zu Portlandkompositzementen hat sich weiter fortgesetzt, insbesondere in der Festigkeitsklasse 32,5. Besonders deutliche Zugewinne verzeichnen die sogenannten M-Zemente (mit mehreren Hauptbestandteilen). Neben CEM II/B-M (S-LL), die Hüttensand und Kalkstein als Zementhauptbestandteile enthalten, werden verstärkt auch flugaschehaltige M-Zemente

(V-LL) produziert. Die chemische Zusammensetzung der wichtigsten Portlandkompositzemente ist in **Tafel III-2** aufgeführt. An einzelnen Produktionsstandorten werden auch Ölschiefer, Flugasche oder Silika-Flugasche als Hauptbestandteile für Portlandkompositzemente eingesetzt.

Tafel III-3 fasst die chemische Zusammensetzung der aktuell produzierten Hochfenzemente (CEM III/A und CEM III/B) zusammen. Von untergeordneter Bedeutung sind zur Zeit die Zementtypen CEM III/C, CEM IV und CEM V, die nur vereinzelt hergestellt werden. Für diese Zemente

Tafel III-1: Chemische Zusammensetzung von Portlandzementen unterschiedlicher Festigkeitsklassen; Angaben in M.-%, glühverlusthaltig

CEM I															
Festigkeitsklasse	32,5 R			42,5 N			42,5 R			52,5 N			52,5 R		
	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
SiO ₂	18,92	20,61	22,65	18,67	21,14	23,39	18,67	20,73	23,29	19,25	20,64	22,50	19,38	20,78	22,96
Al ₂ O ₃	3,52	5,21	6,10	3,47	4,52	5,83	3,17	4,82	5,97	3,03	4,68	5,57	3,05	4,75	5,78
TiO ₂	0,18	0,27	0,34	0,17	0,22	0,29	0,18	0,24	0,32	0,17	0,24	0,30	0,14	0,24	0,30
Fe ₂ O ₃	1,12	2,66	4,50	1,10	2,71	6,67	1,17	2,87	6,49	0,03	2,63	5,29	0,06	2,25	5,30
Mn ₂ O ₃	0,04	0,10	0,67	0,03	0,11	0,59	0,03	0,09	0,68	0,02	0,07	0,20	0,01	0,05	0,11
P ₂ O ₅	0,01	0,23	0,53	0,04	0,17	0,46	0,02	0,22	0,54	0,04	0,22	0,33	0,01	0,22	0,55
CaO	61,31	62,69	66,53	61,47	64,12	66,62	60,52	63,33	66,38	61,40	63,99	66,76	61,51	64,14	66,64
MgO	0,82	1,90	3,33	0,68	1,22	2,41	0,67	1,60	3,49	0,61	1,48	3,55	0,63	1,40	2,82
SO ₃	2,41	2,97	3,57	2,38	2,85	3,21	2,16	3,14	3,84	2,25	3,12	4,03	2,19	3,51	4,05
K ₂ O	0,61	1,00	1,44	0,37	0,71	1,00	0,38	0,89	1,53	0,34	0,72	1,35	0,33	0,82	1,39
Na ₂ O	0,13	0,21	0,32	0,10	0,18	0,26	0,08	0,20	0,28	0,07	0,20	0,28	0,10	0,21	0,28
Na ₂ O _{Äqu.}	0,61	0,86	1,12	0,43	0,64	0,81	0,44	0,80	1,20	0,45	0,68	1,11	0,45	0,77	1,31
Glv	1,06	2,15	3,48	0,52	2,05	2,81	0,50	1,86	3,04	0,30	2,01	3,28	0,58	1,61	3,55

Tafel III-2: Chemische Zusammensetzung von CEM II-Zementen; Angaben in M.-%, glühverlusthaltig

CEM II															
Zementart	CEM II/A-S			CEM II/B-S			CEM II/A-LL			CEM II/B-P			CEM II/B-M (S-LL)		
	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
SiO ₂	20,51	22,26	24,61	22,72	24,48	26,17	17,14	18,64	20,98	28,20	29,78	33,10	19,21	20,71	23,52
Al ₂ O ₃	4,51	5,77	6,84	5,55	6,63	7,47	2,97	4,52	5,45	7,22	8,18	8,65	4,33	5,42	6,20
TiO ₂	0,25	0,47	4,03	0,31	0,43	0,65	0,13	0,22	0,29	0,39	0,42	0,46	0,18	0,30	0,45
Fe ₂ O ₃	0,94	2,22	3,84	0,80	1,85	3,48	0,05	2,28	4,15	2,99	3,34	3,87	0,08	1,94	2,90
Mn ₂ O ₃	0,05	0,13	0,65	0,06	0,15	0,63	0,01	0,08	0,65	0,07	0,12	0,23	0,04	0,10	0,32
P ₂ O ₅	0,02	0,21	0,50	0,03	0,15	0,31	0,08	0,20	0,47	0,07	0,21	0,41	0,01	0,13	0,48
CaO	56,82	60,22	63,11	54,87	57,03	59,57	59,24	62,03	64,62	43,75	47,17	51,85	56,08	59,00	61,67
MgO	1,31	2,41	4,41	2,01	3,27	4,73	0,67	1,53	2,85	1,07	1,67	2,24	1,46	2,46	3,94
SO ₃	2,17	3,06	3,81	1,75	2,77	3,53	1,98	2,93	3,61	1,91	2,60	3,32	2,17	2,85	3,50
K ₂ O	0,46	0,88	1,26	0,43	0,78	1,17	0,37	0,76	1,50	1,00	1,65	2,16	0,38	0,89	1,40
Na ₂ O	0,11	0,23	0,34	0,14	0,28	0,45	0,10	0,18	0,30	0,53	0,83	0,94	0,17	0,23	0,35
Na ₂ O _{Äqu.}	0,58	0,83	1,11	0,60	0,79	1,22	0,35	0,69	1,11	1,24	1,92	2,29	0,51	0,86	1,73
S ²⁻	0,06	0,19	0,38	0,15	0,33	0,57	–	0,05	0,09	–	–	–	0,12	0,19	0,36
Glv	0,73	2,03	3,36	0,63	2,02	3,61	4,32	6,60	8,56	3,52	4,06	4,80	3,09	5,82	9,13

muss sich zeigen, ob z. B. über Anwendungszulassungen Einsatzgebiete eröffnet werden können, die über den heutigen Genehmigungsstand nach DIN 1045-2 hinausgehen.

Additive zur Verbesserung der Frühfestigkeit von Hochofenzementen ■

In den vergangenen Jahren wurde im Forschungsinstitut der Zementindustrie eine von den bisherigen Vorstellungen grundlegend abweichende Hypothese für die Erklärung der oft geringen Frühfestigkeiten von Hochofenzementen entwickelt. Diese wurden bislang auf eine moderate Beteiligung der Hüttensande am Hydratationsgeschehen zurückgeführt. Grundlegende chemisch-mechanistische Arbeiten im Forschungsinstitut der Zementindustrie zeichnen jedoch ein anderes Bild.

Hüttensande, die in hochofenzementgebundenen Baustoffen zu geringen Frühfestigkeiten beitragen, zeigen eher eine hohe chemische Reaktivität. Die hohe Reaktivität dieser Hüttensande drückt sich in ihrer starken Korrosion im wässrigen Milieu aus. Für eine festigkeitsfördernde Hydratation des Hüttensands in Hochofenzementen ist nicht allein das Ausmaß der chemischen Reaktion mit Wasser entscheidend, sondern auch die Eigenschaften der gebildeten Hydratationsprodukte im Hinblick auf die mechanische Gefügestabilität des entstehenden Zementsteins.

Komplexe Reaktionen erzeugen verschiedene Verbindungen

Die verschiedenen Hüttensande, die als Zementbestandteil Verwendung finden, weisen z. T. deutliche Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung auf. Bei der Hydratation im Hochofenzement dringt Wasser in das Glasgefüge des Hüttensands ein und ermöglicht dessen chemische Umsetzung.

Die dabei entstehenden neuen Verbindungen beeinflussen den weiteren Fortschritt der Hydratation. Beispielsweise können sich Alumosilicate bilden, die wie eine Schutzschicht auf dem Hüttensandpartikel liegen und dessen weitere Korrosion verlangsamen. Wenn der Hüttensand nur wenig Aluminium enthält, kann nach der Bildung verschiedener aluminiumhaltiger Reaktionsprodukte (wie z. B. hydroxycitronähnlicher Phasen) zu wenig Aluminium für einen solchen Schutzfilm zur Verfügung stehen. Die Folge ist eine verstärkte Korrosion.

Tafel III-3: Chemische Zusammensetzung von Hochofenzementen; Angaben in M.-%, glühverlusthaltig

Zementart	CEM III					
	CEM III/A			CEM III/B		
	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
SiO ₂	25,09	27,15	30,04	29,14	30,48	32,44
Al ₂ O ₃	6,68	7,80	9,70	8,58	9,36	10,21
TiO ₂	0,35	0,60	1,16	0,45	0,81	1,13
Fe ₂ O ₃	0,69	1,47	2,86	0,44	0,96	1,66
Mn ₂ O ₃	0,07	0,21	0,79	0,12	0,21	0,49
P ₂ O ₅	0,01	0,13	0,35	0,01	0,07	0,21
CaO	47,55	52,48	56,81	42,62	47,45	49,65
MgO	3,04	4,45	7,20	4,33	5,76	9,05
SO ₃	1,29	2,67	3,72	0,94	2,23	3,68
K ₂ O	0,46	0,77	1,10	0,51	0,70	1,25
Na ₂ O	0,18	0,29	0,54	0,21	0,30	0,38
Na ₂ O _{Äqu.}	0,52	0,80	1,13	0,55	0,77	1,11
S ²⁻	0,29	0,57	0,97	0,53	0,83	1,06
Glv	0,50	1,70	3,39	0,42	1,19	3,14

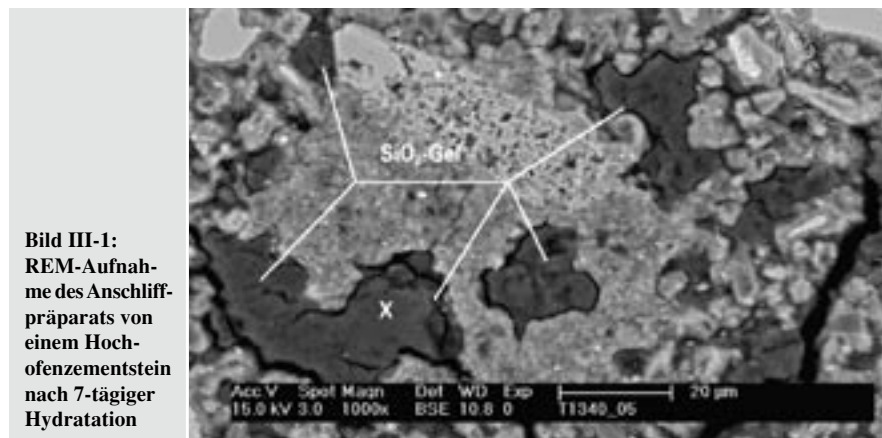


Bild III-1: REM-Aufnahme des Anschliffpräparats von einem Hochofenzementstein nach 7-tägiger Hydratation

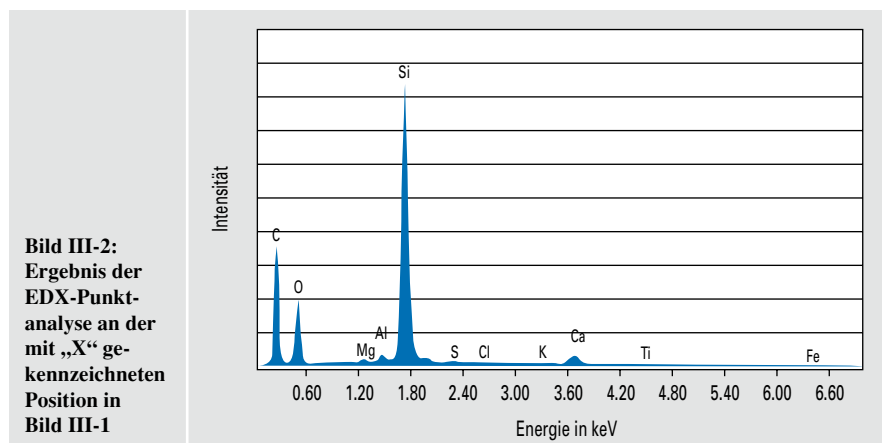


Bild III-2: Ergebnis der EDX-Punktanalyse an der mit „X“ gekennzeichneten Position in Bild III-1

Dabei entstehen zunächst calciumarme Silicathydrogele. Ihre Menge wird vom Grad der Korrosion und von dem Überschuss an Silizium bestimmt, der nicht an andere Hüttensandbestandteile wie Aluminium und Calcium gebunden werden kann.

Bild III-1 zeigt ein poliertes Anschliffpräparat eines sieben Tage hydratisierten Hochofenzements, der eine ausgesprochen geringe Mörtelnormdruckfestigkeit aufwies. Tatsächlich zeichnen sich an der Anschliffoberfläche Phasen aus sehr reinem

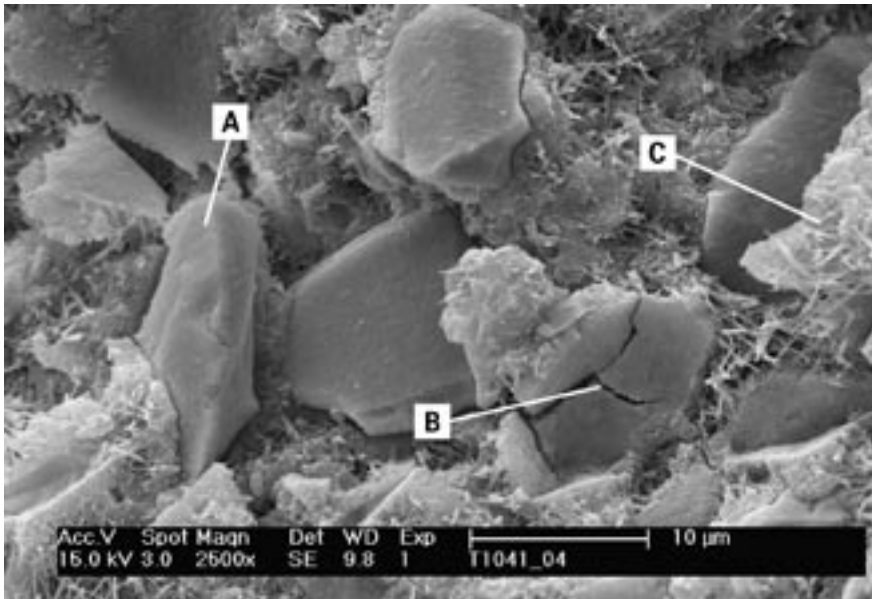


Bild III-3: REM-Aufnahme der Zementsteinbruchstelle eines Hochofenzements mit einem leistungsschwachen Hüttensand nach 7-tägiger Hydratation
A: nicht korrodiertes Kern eines Hüttensandpartikels mit nahezu vollständig abgelöster Schicht aus Korrosionsprodukten
B: Schale aus Korrosionsprodukten, Hüttensandpartikelkern vollständig entfernt
C: Teil der Schicht aus Korrosionsprodukten, noch am Partikelkern anhaftend

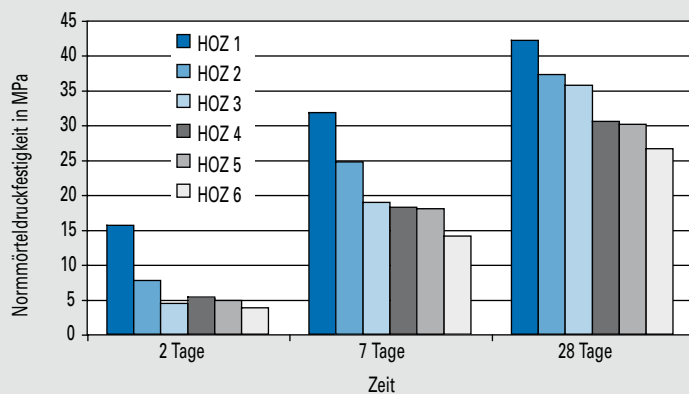


Bild III-4: Normmörteldruckfestigkeit nach EN 196-10 der Hochofenzemente (HOZ) 1, 2, 3, 4, 5 und 6 nach 2-, 7- und 28-tägiger Hydratation

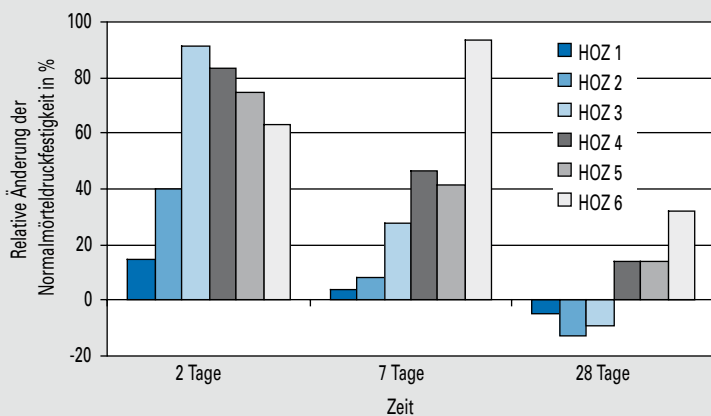


Bild III-5: Prozentuale Änderung der Normmörteldruckfestigkeit nach EN 196-1 der Hochofenzemente (HOZ) 1, 2, 3, 4, 5 und 6 durch Zugabe von Metakaolin (MK) bezogen auf die Normmörteldruckfestigkeiten der Hochofenzemente ohne Metakaolinzugabe nach 2-, 7- und 28-tägiger Hydratation

Silicathydrogel ab (Bild III-2), die sich in die Tiefe des Zementsteingefüges hinein fortsetzen. Dieses Silicathydrogel ist auch in Trocknungsrisse des Anschliffpräparates eingedrungen. Offensichtlich handelt es sich um ein zumindest ursprünglich sehr dünnflüssiges Hydrogel, das sich leicht im Zementsteingefüge bewegt und verteilt. Die Anfertigung der Anschliffpräparate von Hochofenzementsteinen unter Erhalt der wasserreichen Hydrogele für die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen erweist sich allerdings als sehr schwierig.

Silicathydrogele sind schwache Gefügebestandteile

Die Silicathydrogele sind nach den vorliegenden Erkenntnissen plastisch formbare amorphe Massen. Die Kontaktzone zwischen dem Hydrogel und den anderen Produkten der früheren Hydratationsreaktionen zum noch nicht korrodierten Hüttensandpartikelkern stellt eine schwache Verbundstelle im Zementsteingefüge dar (Bild III-3).

Die daraus folgende mechanische Instabilität drückt sich in einer verringerten Zugbelastbarkeit aus und führt zwangsläufig zur Senkung der Druckfestigkeiten von Hochofenzementen. Im Verlauf der Hydratation werden die Silicathydrogele in mechanisch stabilere Phasen wie Calciumsilicathydrate oder auch einfach in wasserärmere Gele umgewandelt. Dadurch erhöhen sich Gefügestabilität und Druckfestigkeit. Die festigkeitsmindernde Wirkung der silicatreichen Hydrogele beschränkt sich daher auf die Frühfestigkeit. Die Endfestigkeit von Baustoffen mit Hochofenzementen übertrifft hingegen oft sogar die entsprechender portlandzementgebundener Baustoffe.

Reaktive Aluminat verdoppeln Frühfestigkeit

Aluminiumreiche Hüttensandpartikel können ihre Korrosion in wässrigem Milieu durch die Bildung oberflächlicher Schutzschichten aus Aluminosilicaten verringern. Im gleichen Maße verringern sich auch die Bildung silicatreicher Hydrogele und deren festigkeitsmindernde Wirkung. Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurde deshalb geprüft, ob bei aluminiumarmen Hüttensanden eine Verbesserung der Frühfestigkeit durch Zufuhr von aluminiumhaltigen Additiven zum entsprechenden Hochofenzement erzielt werden kann. Dies wurde an sechs Hochofenzementen mit jeweils 65 M.-% Hüttensand und unterschiedlicher Normmörteldruckfestigkeit geprüft. Metakaolin (5 M.-%) diente dabei als reaktives aluminiumhaltiges Additiv.

Bild III-4 und **Bild III-5** zeigen die Normmörteldruckfestigkeit von Hochofenzementen ohne bzw. mit Additiv (Metakaolin). Wie man sieht, reagieren die Hochofenzemente, die ohne Additiv eine geringere Frühfestigkeit aufweisen, besonders deutlich auf Additivzugabe (vgl. HOZ 2-4). Verfügt der eingesetzte Hüttensand bereits über einen hohen Aluminiumgehalt, so weist der entsprechende Hochofenzement bei zusätzlich angebotenen Aluminat erwartungsgemäß keine effizient erhöhte Frühfestigkeit auf (vgl. HOZ 1).

Auffällig ist der vergleichsweise starke Festigkeitszuwachs der Normdruckfestigkeit des Hochofenzements HOZ 6 durch Metakaolinzugabe nach siebentägiger sowie 28-tägiger Hydratation (Bild III-5). Eine Ursache für dieses Phänomen kann in der besonders starken Korrosionsneigung des Hüttensandes liegen.

Schnell korrodierende Hüttensande schöpfen ihr Leistungspotenzial in Hochofenzementen im Hinblick auf die Frühfestigkeit nicht aus. Eine Transformation des gebildeten Silicathydrogels in belastbare, nicht plastische Phasen und damit die Entwicklung hoher Normmörteldruckfestigkeit dauert ohne Additive vergleichsweise lang. Im Porenraum gelöstes Calcium kann in die Silicathydrogele diffundieren und diese in Calciumsilicat transformieren. Die Zugabe von Metakaolin kann jedoch bereits zu Beginn der Hydratation den Grad der Hüttensandglaskorrosion reduzieren. Dadurch bildet sich weniger Hydrogel. Die Silicathydrogele in weniger plastischen und damit mechanisch belastbaren Phasen können sich damit schneller ummanteln. Die Menge festigkeitsmindernden Hydrogels wäre unter diesen Bedingungen nach sieben Tagen Hydratation geringer als im metakaolinfreien Hochofenzement. Mit diesem mechanistischen Interpretationsansatz lässt sich die starke relative Verbesserung der Normmörteldruckfestigkeit erklären.

Am Beispiel von Hochofenzement HOZ 3 wurden auch zwei weitere Aluminate und ein Inert-Additiv (Kalksteinmehl) getestet. In der Reihe der untersuchten Additivstoffe wurde eine Erhöhung der Frühfestigkeit jedoch nur mit den reaktiven, thermisch aktivierten Aluminaten wie Metakaolin und Calciumaluminatzement erreicht (**Bild III- 6**).

Die Hydrogelhypothese geht von einer Festigkeitsabsenkung aus, die auch auf der Menge an gebildetem Hydrogel beruht. Insofern kommt dem Silicatüberschuss der Hüttensande besondere Bedeutung zu.

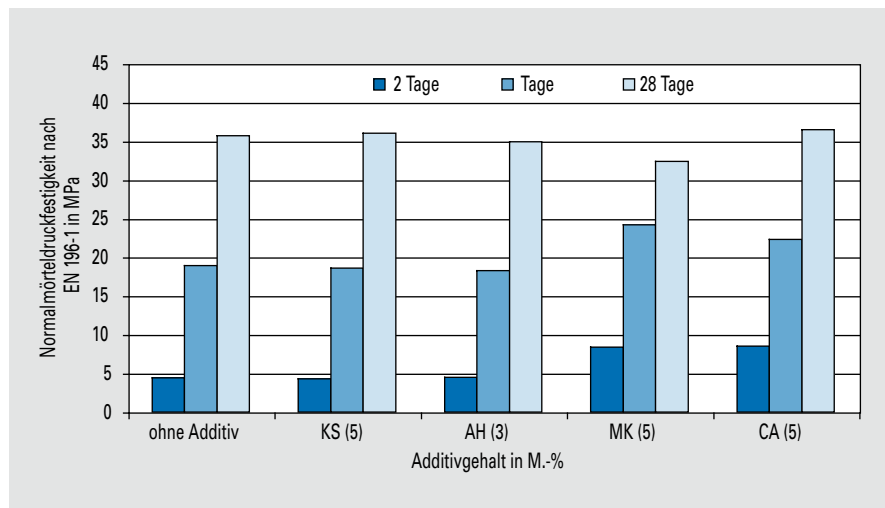


Bild III-6: Normmörteldruckfestigkeit nach EN 196-1 von Hochofenzement 3 ohne und mit Zugabe der Additive Kalksteinmehl (KS), Aluminiumhydroxid (AH), Metakaolin (MK), Calciumaluminatzement (CA) (Zahlenangaben in Klammern entsprechen den Dosierungen des Additivs in % bezogen auf die Masse des Hochofenzement/Additiv-Gemisches)

Allerdings ist offensichtlich auch die Qualität bzw. Struktur der gebildeten Silicathydrogele für die Normmörteldruckfestigkeit entscheidend. Je nach Zusammensetzung und Konsistenz der Gele kann das Ausmaß der Frühfestigkeitsminderung von Hochofenzementen offensichtlich zusätzlich verstärkt werden.

Die chemische Zusammensetzung von Hüttensanden kann zumindest zur Orientierung bei der Bewertung von Hüttensandeigenschaften herangezogen werden, sofern die anderen Einflussparameter (wie z. B. Glasgehalt und -struktur, Korngröße) nicht außer Acht gelassen werden.

Anwendung der Klinkermikroskopie zur Lösung betrieblicher Fragestellungen ■

Die Produktionskontrolle bei der Klinkerherstellung erfolgt üblicherweise mithilfe chemischer Analysen und daraus berechneter Kenngrößen. Da im großtechnischen Betrieb Abweichungen von den hierfür postulierten thermodynamischen Gleichgewichten auftreten, entsprechen die Ergebnisse dieser Berechnungen häufig nicht der tatsächlichen Zusammensetzung des Klinkers. Vermehrt wird daher eine röntgendiffraktometrische Charakterisierung mit Rietveld-Verfeinerung durchgeführt, um den tatsächlichen Phasenbestand von Klinker zu bestimmen. Aber auch diese kann in vielen Fällen nur begrenzt Erklärungen für beobachtete Abweichungen vom erwarteten „Soll“-Zustand liefern. Für tiefer gehende Erkenntnisse ist eine Mikrostrukturanalyse

der Klinkergranalien mithilfe der Auflichtmikroskopie notwendig.

Einsatzmöglichkeiten

Besonders wertvoll ist die Klinkermikroskopie bei Untersuchungen, die sich mit den Auswirkungen des Einsatzes neuer Roh- und Brennstoffe befassen. Aber auch mögliche Einflüsse einer veränderten Verfahrenstechnik (z. B. Calcinator, Brenner, Klinkerkühler) oder betriebstechnischer Parameter (z. B. Flammenführung, Materialdurchsatz) auf den Klinker lassen sich unter dem Mikroskop gut beobachten. In allen Fällen sind Vergleiche der Mikrostrukturen vor und nach den jeweiligen Veränderungen bei den Produktionsbedingungen besonders aussagekräftig. Aber auch zur Klärung akuter Probleme beim Herstellungsprozess kann die Klinkermikroskopie sehr hilfreich sein.

Fallbeispiele

Im Folgenden werden aus einer Reihe von weltweit durchgeführten Klinkeruntersuchungen einige Fallbeispiele vorgestellt, bei denen trotz Rohmehlzusammensetzungen mit hohen Kalkstandards relativ niedrige Alitgehalte im Klinker gefunden wurden. Teilweise waren dadurch die Frühfestigkeiten der entsprechenden Zemente deutlich niedriger als erwartet. Mithilfe der Klinkermikroskopie konnten die Ursachen ermittelt und Vorschläge zur Verbesserung der Klinkerqualität erarbeitet werden.

Mahlfeinheit und Homogenität

Eine unzureichende Mahlfeinheit des Brennguts stellt eine häufige Ursache für eine verminderte Klinkerqualität dar. Die chemischen Bestandteile des Rohmehls

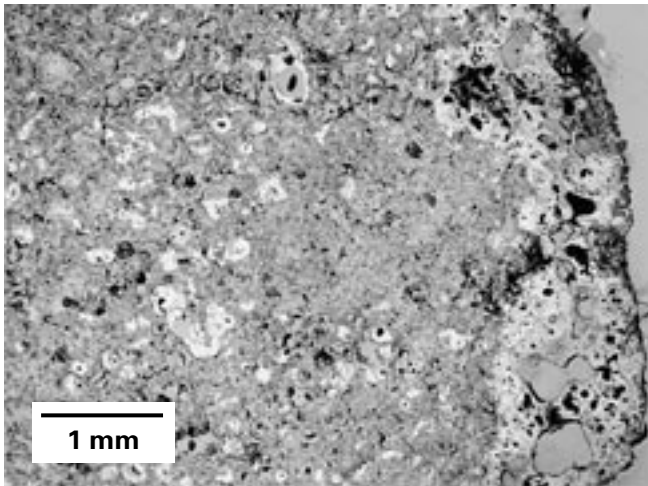


Bild III-7: Belitkruste einer Klinkergranalie durch angelagerte, siliciumreiche Brennstoffasche

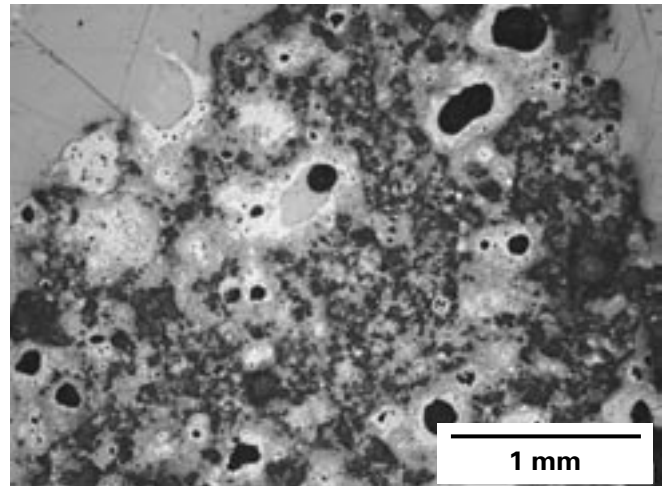


Bild III-8: Belitnester (hell) und hohe Freikalkgehalte (dunkel) in einer Klinkergranalie durch unzureichende Sinterung

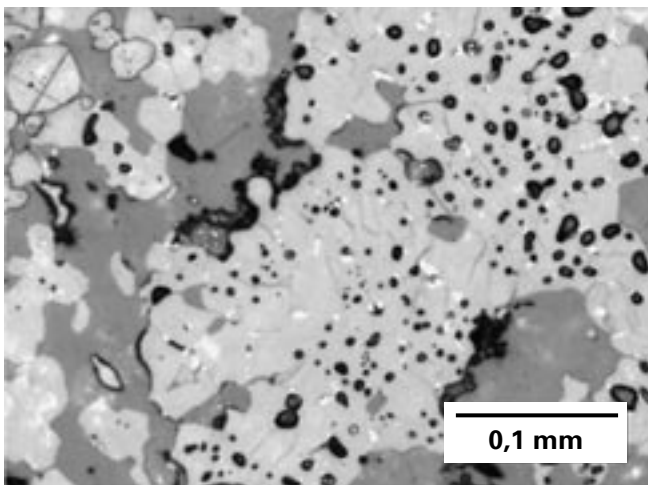


Bild III-9: Phosphatreicher Belit (hellgrau), durchsetzt mit feinkörnigen Freikalkpartikeln (dunkel)

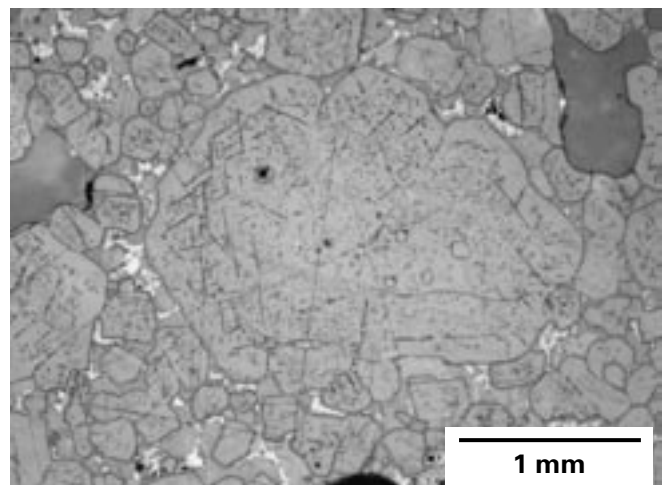


Bild III-10: Alitkristalle mit Belit/Freikalk-Entmischungen entlang kristallographischer Vorzugsrichtungen als Anzeichen reduzierenden Brennens

können dann unter den üblichen Brennbedingungen nicht mehr ausreichend umgesetzt werden und es kommt lokal zu deutlichen Abweichungen vom Kalkstandard. So führen grobe Quarzpartikel zur Ausbildung von Nestern aus Belit, für dessen Umsetzung zu Alit in unmittelbarer Umgebung weiteres CaO fehlt. Aus groben Kalksteinpartikeln bilden sich aufgrund der geringen Mobilität von CaO unter Sinterbedingungen dagegen Nester aus Freikalk. Eine weitere mögliche Ursache für Inhomogenitäten sind grobe Aschepartikel, die insbesondere bei schwer zerkleinerbaren Brennstoffen auftreten können. Wie Quarzkörner können auch kieselsäurereiche Aschekörner die Bildung von Belitnestern bewirken. Sind Belitnester im Kern der Klinkergranalien konzentriert, ist die Ursache im Rohmehl oder einem Ascheeintrag im Calcinator zu suchen. Werden die Aschepartikel über die Hauptfeuerung ein-

getragen, befinden sich die Nester eher in konzentrischen Schlieren oder Krusten am Rand der Granalien (**Bild III-7**).

Verweilzeit bei Sinter Temperatur

Eine verminderte Alitbildung kann auch auftreten, wenn die Brennbedingungen keine ausreichende Sinterung der Klinkerphasen erlauben. Als Ursachen für einen solchen „Schwachbrand“ kommen vor allem Unregelmäßigkeiten in der Flammenführung in Frage. Niedrige Sinteremperaturen oder verkürzte Sinterzonen können in Verbindung mit hohen Ofendurchsätzen zu einer so kurzen Verweilzeit des Brennguts in der Sinterzone führen, dass keine vollständige Reaktion der Ausgangsstoffe mehr stattfindet. Das Erscheinungsbild von Schwachbrand ist ein sehr poröser Klinker, in dem Belit- und Freikalkanreicherungen unmittelbar nebeneinander vorliegen (**Bild III-8**).

Einfluss von Phosphat

Beim Einsatz inhomogen verteilter, phosphatreicher Brennstoffe können sich charakteristische Belitanreicherungen ausprägen, die feinkörnig verteilte Freikalkpartikel enthalten (**Bild III-9**). Hierbei handelt es sich um phosphathaltige Mischkristalle von Belit, die unter üblichen Sinterbedingungen stabil bleiben und sich nicht zu Alit umsetzen. Bei grobkörnigen Phosphatträgern kann es sogar zur Bildung von Calciumphosphat-Nestern kommen, die keinerlei reaktive Klinkerphasen enthalten. Solche Effekte können auch dann relevant sein, wenn der Gesamtphosphatgehalt des Klinkers im unkritischen Bereich unter 1 M.-% liegt.

Reduzierende Brennbedingungen

Reduzierende Brennbedingungen – etwa durch unzureichende Sauerstoffzufuhr oder durch schwelende Brennstoffpartikel

im Brenngut – können beim Kühlen des Klinkers zu einem Zerfall von Alit führen. Dieser Effekt ist mikroskopisch eindeutig nachweisbar und kann in der Praxis zu hohen Freikalkgehalten und einem deutlichen Einbruch der Zementfestigkeiten führen. Schon schwach reduzierende Bedingungen sind als erste Warnhinweise durch feine Ausscheidungen von Belit und Freikalk in Alitkristallen zu erkennen (**Bild III-10**). Diese Ausscheidungen treten oft perlschnurartig entlang von kristallographischen Vorzugsrichtungen im Alitkristall auf. Erschwerend kann hinzu kommen, dass beim Alitzerfall γ -Belit entsteht, der keine hydraulischen Eigenschaften ausweist.

Bildung grober Granalien

Die Bildung einer Vielzahl grober Klinkergranalien, z. B. durch hohe Chlorid- oder Sulfatfrachten im Bereich des Ofeneinlaufs, kann zu einer Überlagerung mehrerer nachteiliger Effekte führen. Beispielsweise kann Schwachbrand im Innern der Granalien auftreten, auch wenn die Brennbedingungen eigentlich für eine vollständige Sinterung ausreichend sind und die Granalien oberflächlich hart gebrannt erscheinen. Durch eine dichte Sinterschicht an der Oberfläche können Alkalichloride im Kern der Granalien eingeschlossen werden. Auch die Abkühlbedingungen sind über den Granalienquerschnitt sehr unterschiedlich. Durch die Klinkermikroskopie lassen sich solche zonar aufgebauten Klinkergranalien sehr genau untersuchen.

Nutzen für die Praxis

Als Prüfverfahren ist die lichtmikroskopische Mikrostrukturanalyse von Klinker zwar aufwendig, kann aber eine Vielzahl von Erkenntnissen liefern, die durch die integralen Prüfmethoden an repräsentativ aufbereiteten Proben alleine nicht zu erreichen sind. Insbesondere über eine „Vorher/Nachher-Analyse“ können Einflüsse von material- oder verfahrenstechnischen Betriebsänderungen beschrieben und Hinweise zu eventuell notwendigen Korrekturen gegeben werden. Im Fall von geplanten Umstellungen im Klinkerbrennprozess sollten daher zumindest Rückstellproben von unzerkleinertem Klinker aller relevanten Betriebszustände gebildet werden, um bei eventuell auftretenden Veränderungen des Produktes eine fundierte Analyse der Ursachen vornehmen zu können.

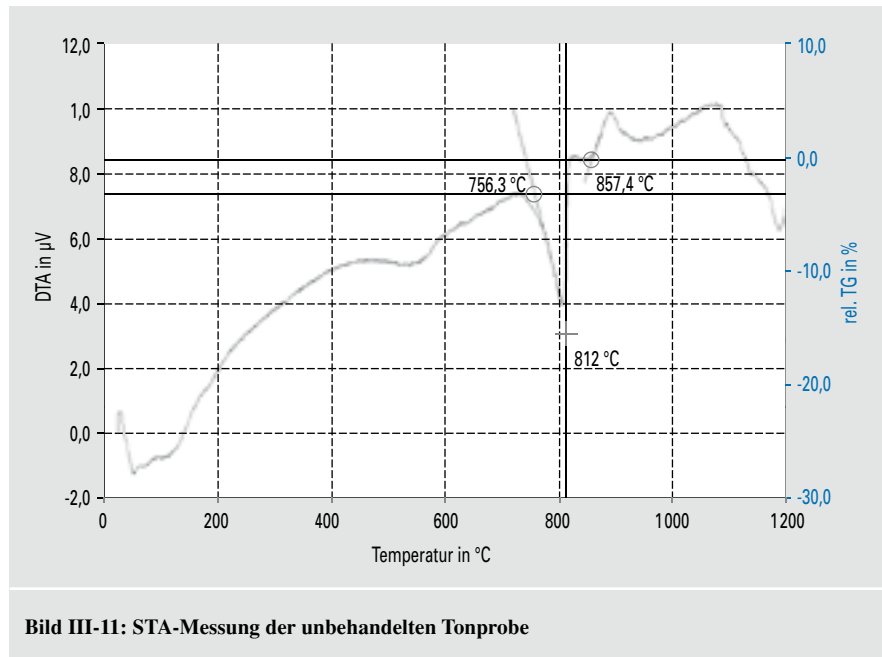


Bild III-11: STA-Messung der unbehandelten Tonprobe

Ton als puzzolanischer Zementhauptbestandteil ■

Tone werden heute vor allem als Rohstoff in der keramischen Industrie, zur Erzeugung von Lehmziegeln und als Rohmehlkomponente in der Zementindustrie eingesetzt. Auch der Einsatz gebrannter Tone als Zementhauptbestandteil nach DIN EN 197-1 ist möglich, wenn deren Gehalt an reaktiver Kieselsäure mindestens 25 M.-% beträgt. Obwohl geeignete Rohstoffvorkommen vorliegen, werden gebrannte Tone vergleichsweise selten für die Zementherstellung verwendet. Gründe hierfür sind unter anderem:

- Einsatz anderer puzzolanischer Zementhauptbestandteile
- Fehlende Anlagentechnologie zur Behandlung infrage kommender Tone
- Untersuchungsaufwand zur Charakterisierung der Vorkommen

Die Verringerung des Klinkeranteils im Zement ist ökologisch sinnvoll und kann auch technische Vorteile bringen. Insofern wird auch der Einsatz neuer Zementhauptbestandteile zunehmend interessanter. Tone sind in Europa in nutzbaren Mengen und geeigneten Qualitäten verfügbar, sodass deren Verwendung als natürliches getempertes Puzzolan durchaus in Frage kommt. Die Qualität geeigneter Tonvorkommen liegt zwischen der von Tonen, die in der keramischen Industrie eingesetzt werden können, und der für Zementrohmehle geforderten. Daher würde die Nutzung von Tonen als natürlich getempertes Puzzolan nicht mit anderen Verwertungsinteressen kollidieren.

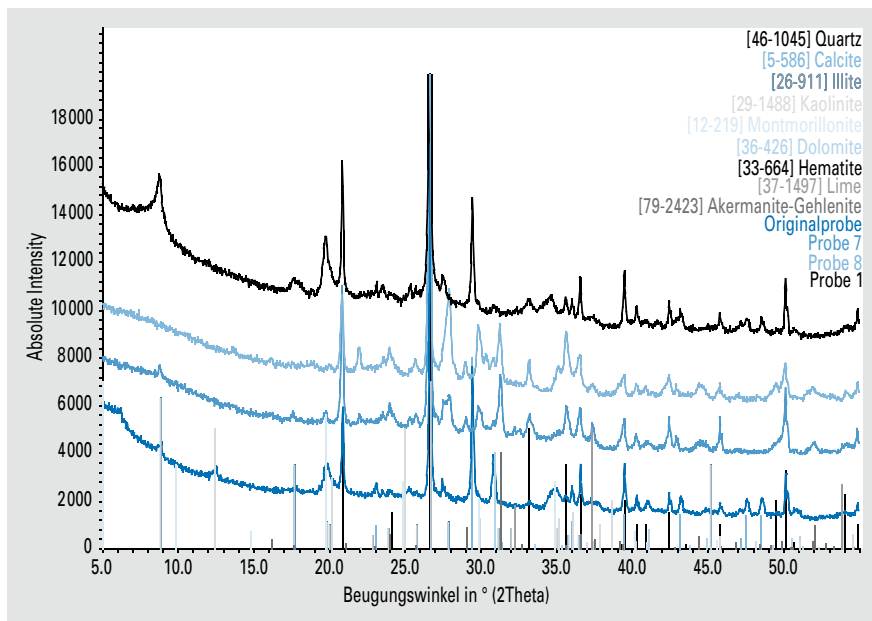
Die puzzolanische Aktivität von calcinierten Tonen hängt von der Art der vorhandenen Tonminerale ab. Hierbei spielt insbesondere deren chemische Zusammensetzung und deren Kristallisationsgrad eine wichtige Rolle. Während der Calcinierung der Tonminerale geben diese ihr Kristallwasser ab, verlieren dadurch ihre kristalline Struktur und wandeln sich in amorphe alumosilicatische Phasen um. Hierbei erhöht sich mit steigendem amorphem Charakter der entwässerten Phasen auch deren puzzolanische Aktivität. Bei sehr hohen Temperaturen entstehen jedoch kristalline Phasen, die in der Regel eine geringere puzzolanische Reaktivität aufweisen. Die optimale Brenntemperatur eines Tones liegt daher zwischen der Entwässerungstemperatur der Tonminerale und der beginnenden Rekristallisation. Neben der Brenntemperatur ist auch die Brenndauer entscheidend für die spätere Reaktivität der getemperten Tone. Eine zu lang gewählte Brenndauer verringert durch einsetzende Sinterprozesse die spezifische Oberfläche der calcinierten Partikel. Dadurch wird auch deren puzzolanische Aktivität vermindert.

Beschreibung des Vorhabens, der Vorgehensweise und der Ergebnisse

Im folgenden Beispiel sollten die Brennbedingungen ermittelt werden, bei denen ein getempertes Ton die geforderten 25 M.-% an reaktiver Kieselsäure erreicht. Hierfür wurde zunächst eine simultane Thermoanalyse (STA) am Ausgangsmaterial durchgeführt (**Bild III-11**). Die DTA- und TG-Signale zeigen endotherme Masseverluste bei Temperaturen um 550 °C und

Tafel III-4: Brennbedingungen und Ergebnisse der Bestimmung des Gehalts an reaktiver Kieselsäure nach DIN EN 197-1

Probe	Brenntemperatur in °C	Brenndauer in Min.	Reaktive Kieselsäure nach DIN EN 197-1 in %
1	750	60	21,9
2	810	60	22,6
3	850	60	24,3
4	750	180	20,0
5	810	5	21,2
6	810	30	23,3
7	850	30	24,6
8	1000	30	29,0
9	600	30	18,3

**Bild III-12: Röntgendiffraktogramme der Tonprobe im Originalzustand und der Proben 1, 7 und 8**

800 °C. Bei diesen Reaktionen handelt es sich um die Entwässerungen verschiedener Tonminerale. Um 900 °C markiert ein exothermes Signal die einsetzende Rekristallisation neuer Phasen. Nach Auswertung der STA-Analyse wurden die Brenntemperaturen und -dauern für die Behandlung der Tonprobe festgelegt. Die Tone wurden entsprechend gebrannt und hieran die reaktive Kieselsäure nach DIN EN 197-1 ermittelt. Die Ergebnisse sind in **Tafel III-4** zusammengefasst.

Die Calcinierung der Tone wurde jeweils an etwa 100 g der Ausgangsprobe vorgenommen, die in Korundtieglern in einem Naberthermofen bei den festgelegten Brennbedingungen getempert wurden. Anschließend wurden die Proben analysenfein aufgemahlen und ihr Phasenbestand röntgendiffraktometrisch untersucht. **Bild III-12** zeigt die Ergebnisse der Röntgenbeugungs-

untersuchungen an drei ausgewählten gebrannten Proben im Vergleich zur Ausgangsprobe.

Die zu untersuchende Tonprobe besteht aus den Tonmineralen Montmorillonit, Kaolinit und Illit. Daneben liegen weitere Mineralphasen wie Mikroklin, Quarz und Calcit in unterschiedlichen Mengenanteilen vor. Nach einer einstündigen Temperaturbehandlung bei 750 °C (Probe 1) ist im Röntgendiffraktogramm die beginnende Zersetzung der carbonatischen Phasen Calcit und Dolomit erkennbar. Außerdem beginnt die Zersetzung der Tonminerale. Dies ist am verringerten Kaolinitesignal erkennbar. Montmorillonit und Illit hingegen liegen nach der Behandlung bei 750 °C noch vor.

Während der Untersuchungen zeigte sich, dass sich eine nur halbstündige Tempera-

turbehandlung positiv auf die Probenreaktivität auswirkt. Deshalb wurden die weiteren Proben nur 30 Minuten lang getempert. Bei einer Temperaturerhöhung von 750 °C auf 850 °C nimmt der amorphe Gehalt der Proben deutlich zu (Probe 7). Außerdem bilden sich, wie im Röntgendiffraktogramm erkennbar ist, bei dieser Temperatur bereits neue Mineralphasen wie Anorthit, Wollastonit, Melilith und Hämatit.

Bei Temperaturen von 1000 °C (Probe 8) entwässern die Tonminerale vollständig, darüber hinaus bilden sie neue Phasen. Dennoch ergab sich mit 29 M.-% der höchste Gehalt aller Proben an reaktiver Kieselsäure (vgl. Tafel III-1). Insofern ist die vollständige Entwässerung der Tonminerale ausschlaggebend für deren puzzolanische Reaktivität. Der negative Einfluss der Neubildung nichtreaktiver Phasen scheint hierbei weniger stark ins Gewicht zu fallen. Insgesamt ist eine relativ kurze Behandlung (30 Minuten) bei hohen Temperaturen entscheidend für die Erzeugung eines hohen Gehalts an reaktiver Kieselsäure in der Probe.

Getemperte Tone können nach den Vorgaben der DIN EN 197-1 als puzzolanischer Zementhauptbestandteil eingesetzt werden. Die Norm fordert allerdings einen Gehalt an reaktiver Kieselsäure von mindestens 25 M.-% im getemperten Ton. Im Einzelfall müssen die Brennbedingungen (Temperatur und Dauer) auf das jeweilige Vorkommen abgestimmt werden. Im vorliegenden Fall wies das behandelte Produkt nach einer Brenndauer von 30 Minuten bei 1000 °C einen Gehalt an reaktiver Kieselsäure von 29 M.-% auf. Als entscheidend für die Erzeugung der reaktiven Kieselsäure stellte sich hierbei die vollständige Zerstörung der vorhandenen Tonminerale heraus.

Möglichkeiten und Grenzen der Rietveld-Analyse von Zementen ■

Die quantitative Phasenanalyse von Klinker- und Zementproben mittels Röntgenbeugung und Rietveld-Verfeinerung ist keine rein wissenschaftliche Fragestellung mehr, sondern hat ihren Einzug in die Werkslaboratorien der Zementindustrie gehalten. Die Verwendung moderner, zunehmend komfortabler Auswertprogramme liefert auch dem Anwender reproduzierbare Resultate, der sich nicht mit den theoretischen mineralogischen und messtechnischen Grundlagen befasst. Für den Einsatz in der Produktionskontrolle, bei der es

um den Nachweis einer gleichbleibenden Produkteigenschaft geht, ist diese Form der Anwendung in der Regel völlig ausreichend.

Gefahren von „Black-Box-Systemen“

Für die Bestimmung absoluter Phasenanteile liegt in der Anwendung der Auswertprogramme als „Black-Box“-System allerdings auch eine gewisse Gefahr. Bei der Rietveld-Verfeinerung erfolgt ein Abgleich zwischen dem gemessenen und dem aus den vorgegebenen Phasen errechneten Beugungsdiagramm. Zu dieser Berechnung ist die Kenntnis aller in der Probe vorhandenen Minerale notwendig. Darüber hinaus wird eine Vielzahl messtechnischer Kennwerte und Strukturparameter der Phasen mathematisch in die Verfeinerung mit einbezogen. Je nach Wahl dieser variablen Kenngrößen, deren erlaubter Variationsbreite und ihrer Startwerte können Ergebnisse erzielt werden, die deutlich voneinander abweichen, obwohl die Qualität der Verfeinerung scheinbar gleich ist. Die sorgfältige, auf die Messaufgabe abgestimmte Voreinstellung der Startparameter sowie eine kritische Bewertung der Ergebnisse sind also genauso unverzichtbar wie die Identifizierung aller in der Probe auftretenden Mineralphasen. Nur so ist eine befriedigende Analyse der Phasenzusammensetzung eines komplexen Gemisches wie z. B. Klinker oder Zement möglich.

Versuchsreihe mit definierten Gemischen

Im Forschungsinstitut wurden in einer Versuchsreihe die Einflüsse analysiert, die durch die Voreinstellung der Strukturparameter von Zementphasen auf deren quantitative Bestimmung mittels Rietveld-Verfeinerung gegeben sind. Hierzu wurden vier Laborzemente als Mischungen einzeln gebrannter Klinkerphasen mit Sulfatträgern hergestellt. Die Reinheit aller Ausgangsstoffe wurde ihrerseits röntgenographisch bestimmt, was aufgrund der weitgehend monomineralischen Proben reproduzierbar gelang.

Tafel III-5 stellt die Ergebnisse der Auswertungen den tatsächlich eingewogenen Mischungsverhältnissen gegenüber. Als besonderes Problem erwies sich der Einsatz von gefälltem Calciumsulfat als Sulfatträgerphase „Gips“ bzw. in teilentwässert Form als „Halbhydrat“. Offenbar führte die extreme Feinkörnigkeit dieser Komponenten zu einer präparationsbedingten Anreicherung an der Probenoberfläche, sodass mit physikalisch-mineralogisch sinnvollen

Tafel III-5: Vergleich der eingewogenen und der durch Röntgenbeugungsanalyse RBA mit Rietveldverfeinerung ermittelten Phasengehalte von vier Laborzementen (alle Angaben in M.-%)

Phase	Zement 1		Zement 2		Zement 3		Zement 4	
	SOLL	RBA	SOLL	RBA	SOLL	RBA	SOLL	RBA
Alit	59,3	59,1	57,4	57,5	60,5	58,4	61,8	60,1
Belit ¹⁾	18,1	18,6	17,5	16,1	9,1	7,8	9,3	9,2
Aluminat	9,0	8,1	8,7	9,2	2,8	2,3	2,8	2,3
C ₃ A _{cub}	8,2	7,6	8,0	8,5	2,6	2,3	2,6	2,3
C ₃ A _{orth}	0,8	0,5	0,7	0,7	0,2	0	0,2	0
Ferrit	5,2	6,5	5,1	5,7	15,5	17,4	15,9	17,5
Freikalk	0,5	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2
Periklas	1,2	1,0	1,1	0,8	1,2	1,1	1,2	1,5
Anhydrit	3,0	3,9	2,4	3,3	6,0	7,4	2,7	3,1
Halbhydrat ²⁾	2,0		4,0		4,0		2,7	
Gips ²⁾	–		1,6		–		2,7	

¹⁾ einschließlich Bredigit

²⁾ Überbestimmung, daher Sollwerte für Auswertung gesetzt

Strukturparametern immer eine Überbestimmung von Gips und Halbhydrat erfolgte. Die Vergleichswerte in Tafel III-5 sind daher unter Berücksichtigung der Einwaagewerte für Gips und Halbhydrat berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gehalte von Alit, Belit und in eisenreichen Klinkern Ferrit mit etwa ± 2 M.-%, Aluminat und Anhydrit mit etwa ± 1 M.-% Genauigkeit bestimmt werden konnten. Nebenbestandteile wie Freikalk und Periklas zeigen Abweichungen von maximal 0,5 M.-%, was bei den geringen Gehalten der Minerale aber einen hohen relativen Fehler bedeuten kann.

Zur besseren Differenzierung der C₃A-Modifikationen und zur Bestimmung der Spurenbestandteile bietet sich das selektive Lösen der Silicatphasen mittels Methanol-Salicylsäure an. Im unlöslichen Rückstand reichern sich die Aluminate, Ferrit und z. B. Sulfatphasen an, zudem entfallen die Peaküberlagerungen mit Alit und Belit. Im vorliegenden Fall konnte das Mengenverhältnis der beiden Aluminatmodifikationen präzisiert und der Periklasgehalt bestätigt werden.

Empfehlungen

Aus den Untersuchungsergebnissen leiten sich einige Empfehlungen zur Einstellung von Strukturparametern für die Rietveld-Verfeinerung ab:

- Die Gitterparameter aller Nebenbestandteile, auch der Sulfatträgerphasen, sollten fixiert werden.
- Die Gitterparameter des orthorhombischen C₃A sollten fixiert werden; das

Verhältnis der Aluminatmodifikationen sollte mit dem MS-Aufschluss abgeglichen werden.

- Die Kristallitgröße der Nebenphasen sollten nicht zu klein bzw. die entsprechenden Halbwertsbreiten nicht zu groß gewählt werden, da die Peaks ansonsten mit dem Untergrund überlagern und Überbestimmungen auftreten. Der Startwert sollte in der oberen Hälfte der freigegebenen Variationsbreite liegen.
- Bei Gips ist immer die Textur nach (010) zu beachten; Werte von unter 0,7 sind nicht ungewöhnlich. Bei synthetisch hergestellten Gipsen können weitere Texturen z. B. infolge eines nadeligen Kristallhabitus auftreten.
- Textureffekte sind zudem möglich bei Calcit (104), Anhydrit (100 oder 010), Alit (10-1), wobei der Startwert auf 1 („ohne Textur“) gesetzt sein sollte.

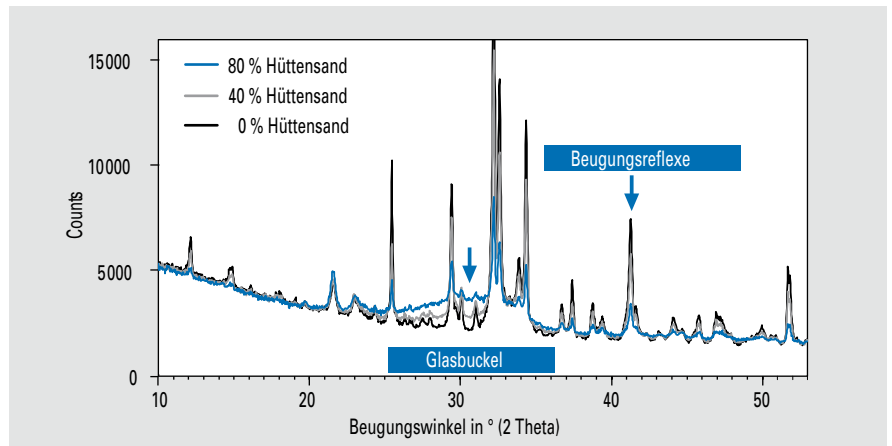
Auch die einfache Berücksichtigung dieser Faustregeln ohne kritische Sichtung des Verfeinerungsergebnisses garantiert noch keine fehlerfreie Analyse, grenzt die Bandbreite der möglichen Ergebnisse aber deutlich ein. Die von der Auswertsoftware häufig mit mehreren Nachkommastellen ausgegebenen Ergebnisse für die Phasengehalte implizieren eine Genauigkeit, die nicht den Tatsachen entspricht. Selbst wenn das Ergebnis auf eine Nachkommastelle genau angegeben wird, sollte dies nicht zu falschen Schlussfolgerungen hinsichtlich der Genauigkeit des Verfahrens führen.

Ringversuch zur röntgenographischen Quantifizierung von Hüttensand in Zement ■

Die Röntgenpulverdiffraktometrie ist nicht nur dazu geeignet, kristalline Phasen zu identifizieren und quantitativ zu bestimmen. Auch amorphe Bestandteile wie z. B. Hüttensand im Zement lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen quantifizieren. Damit ist eine alternative Methode zu den bisherigen Verfahren der Hüttensandbestimmung verfügbar. Um die Leistungsfähigkeit der Röntgenbeugung auf diesem Gebiet zu untersuchen, wurde ein Vergleichsversuch des VDZ zur röntgendiffraktometrischen Bestimmung des Hüttensandgehalts organisiert.

In der werkseigenen Produktionskontrolle ist die Berechnung des Hüttensandgehalts von Zementen anhand der Analyse von Leitverbindungen in den Ausgangsstoffen sowie in der Zementprobe weit verbreitet. In der Fremdüberwachung wird hauptsächlich das als Referenzmethode vorgesehene selektive Löseverfahren angewendet. Weiterhin sind mikroskopische Auszählverfahren mit chemischen Korrekturrechnungen möglich.

Zunehmendes Interesse findet die Röntgendiffraktometrie zur Quantifizierung des Hüttensandanteils, weil mit verhältnismäßig geringem Aufwand zuverlässige Ergebnisse ermittelt werden können. Grundsätzlich kommen zwei röntgendiffraktometrische Ansätze in Betracht, die im Rahmen des Vergleichsversuchs eingesetzt wurden.



III-13: Röntgenbeugungsdiagramme von Zementen mit unterschiedlichen Hüttensandgehalten und der damit verbundenen Ausprägung des Glasbuckels

Bestimmung des Untergrunds

Hüttensand weist eine glasartige, weitgehend röntgenamorphe Struktur auf. Er bewirkt im Röntgenbeugungsdiagramm eine buckelförmige Erhöhung des Untergrundverlaufs im Winkelbereich zwischen 22 und 38° (2 Theta). Die Höhe dieses Glasbuckels korrespondiert mit dem Hüttensandgehalt (Bild III-13). Zu dessen Bestimmung kann entweder die absolute Röntgenintensität bei einem reflexfreien Beugungswinkel oder die integrale Untergrundintensität über den gesamten buckelförmigen Bereich kalibriert und ausgewertet werden. Letztere Methode hängt sehr stark von der Definition der gerätetechnisch bedingten, vom Glasgehalt unabhängigen Untergrundlinie in diesem Beugungsbereich ab. Im Vergleichsversuch wurde als eine Methode daher die absolute Röntgenintensität beim Beugungswinkel 30,5° (2 Theta) zur Quantifizierung des Hüttensandgehaltes herangezogen.

Rietveld-Analyse mit Spike

Der zweite Weg zur röntgenographischen Quantifizierung des Hüttensandgehalts beruht auf dem Einsatz eines kristallinen inneren Standards („Spike“). Die anschließende Rietveld-Auswertung der Messung ermittelt die Gehalte aller kristallinen Phasen der Probe und normiert diese auf einen Wert von 100 M.-%. Aus dem Verhältnis zwischen dem zudotierten und dem ermittelten Gehalt des inneren Standards kann dann der nichtkristalline Gehalt der Probe errechnet werden.

Den insgesamt 14 Teilnehmern des Ringversuchs wurden zwei industriell hergestellte Hochofenzemente und ein im Labor gemischter Portlandhüttenzement zur Analyse zur Verfügung gestellt. Neben der Röntgendiffraktometrie kamen in einzelnen Fällen auch vergleichend das Selektive Löseverfahren sowie weitere, alternative Methoden zum Einsatz.

Tafel III-6: Ergebnisse des Vergleichsversuchs zur röntgendiffraktometrischen Bestimmung des Hüttensandgehalts (alle Angaben in M.-%)

Material	Untersuchtes Merkmal	Mittelwert	Vergleichs-Standardabweichung	Wiederhol-Standardabweichung	Referenzmethode bzw. Mischwert
Portlandhüttenzement	Röntgenbeugung/ Untergrund	24,61	1,91	1,49	25,15/25,00
	Röntgenbeugung/ Spike	23,84	1,13	1,9	
	Sonstige	24,49	2,18	0,22	
Hochofenzement 1	Röntgenbeugung/ Untergrund	69,24	2,35	1,06	67,01
	Röntgenbeugung/ Spike	67,21	1,4	1,26	
	Sonstige	69,33	2,13	0,19	
Hochofenzement 2	Röntgenbeugung/ Untergrund	74,26	4,15	0,99	72,03
	Röntgenbeugung/ Spike	72,32	1,01	0,74	
	Sonstige	72,28	1,71	0,49	

Tafel III-7: Chemische Zusammensetzung (glühverlusthaltig) der Ausgangsstoffe Portlandzemente (Z) und Hüttensande (HÜS) sowie Phasenberechnung nach Bogue (glühverlustfrei), alle Angaben in M.-%

	Z1	Z2	HÜS A	HÜS B	HÜS C	HÜS D	HÜS E	HÜS F
GLV	2,96	0,70	0,94	0,41	1,31	0,36	0,64	1,51
SiO ₂	18,97	21,51	30,25	36,02	34,69	36,10	38,91	35,12
Al ₂ O ₃	5,36	4,68	15,96	11,36	11,70	12,97	9,54	11,94
TiO ₂	0,27	0,25	1,13	0,47	0,89	0,63	0,96	0,73
P ₂ O ₅	0,22	0,07	0,07	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01
Fe ₂ O ₃	3,87	2,52	0,66	0,35	0,42	0,25	0,54	0,91
Mn ₂ O ₃	0,10	0,03	0,39	0,48	0,33	0,31	1,18	0,34
MgO	1,80	1,83	10,00	9,36	6,80	10,30	8,45	6,98
CaO	61,80	63,93	38,68	40,28	42,30	37,54	37,57	41,28
Sulfat als SO ₃	2,92	3,30	0,65	0,15	0,25	0,02	0,04	0,01
K ₂ O	1,59	0,97	0,39	0,38	0,47	0,71	1,24	0,38
Na ₂ O	0,19	0,21	0,39	0,27	0,27	0,26	0,36	0,27
Na ₂ O _{Äqu.}	1,24	0,85	0,65	0,52	0,57	0,73	1,18	0,52
O ₂ _{Äqu.}	0,00	0,00	-0,48	-0,47	-0,59	-0,53	-0,50	-0,51
S ²⁻	–	–	0,96	0,94	1,18	1,07	1,00	1,02
C ₃ S	67,88	62,17	–	–	–	–	–	–
C ₂ S	4,84	15,20	–	–	–	–	–	–
C ₃ A	7,89	8,20	–	–	–	–	–	–
C ₄ AF	12,14	7,72	–	–	–	–	–	–

Die Ergebnisse des Vergleichsversuchs sind in **Tafel III-6** zusammengefasst. Sowohl die Wiederholbarkeit innerhalb eines Labors als auch die Vergleichbarkeit verschiedener Labore untereinander stehen den Genauigkeiten der bislang etablierten Verfahren nicht nach. Sie liegen innerhalb der normativen Vorgaben.

Die Einzelergebnisse haben allerdings auch bestätigt, dass eine ausreichende Zuverlässigkeit der unterschiedlichen röntgendiffraktometrischen Ansätze an spezifische Voraussetzungen geknüpft ist. So sind bei der Auswertung der Untergrund-Intensität Kalibrierproben erforderlich, deren Ausgangsstoffe denjenigen in der zu untersuchenden Probe entsprechen müssen. Somit ist hierfür eine werksspezifische Kalibrierung notwendig. Die Methode ist daher besonders für die werkseigene Produktionskontrolle geeignet. Beim Einsatz der Rietveld-Methode mit innerem Standard hat sich ebenfalls ein zusätzlicher Kalibriereschritt als notwendig herausgestellt, der den Einfluss der als Spike verwendeten Substanz auf die Röntgenintensitäten beschreibt. Prinzipiell sind die Auswertungen über diese Methode aber auch werksübergreifend einsetzbar.

Sulfatwiderstand hütten-sandhaltiger Zemente ■

Hochofenzemente mit mindestens 66 M.-% Hüttensand gelten gemäß Norm als Zement mit hohem Sulfatwiderstand. Dass auch geringere Hüttensandgehalte sich für einen hohen Sulfatwiderstand eignen, zeigen erste bauaufsichtliche Zulassungen von CEM III/A-Zementen als HS-Zement in Deutschland. Auch die Regelwerke in einigen europäischen Ländern sehen CEM III/A und sogar CEM II/B-S als Zemente mit hohem Sulfatwiderstand vor. Über den Mechanismus, der zu dem erhöhten Sulfatwiderstand eines Betons oder Mörtels auf Basis von Hochofenzement führt, finden sich in der Literatur unterschiedliche Darstellungen. Teilweise werden chemische, teilweise physikalische Aspekte primär verantwortlich gemacht. Im Allgemeinen gilt aber die Erhöhung des physikalischen Diffusionswiderstands des Zementsteins als Hauptursache für den höheren Sulfatwiderstand.

Mit einem aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) geförderten Forschungsvorhaben wurde der chemisch-mineralogische Einfluss der Hüt-

tensandzusammensetzung auf den Sulfatwiderstand untersucht. Ziel war es, durch systematische Untersuchungen an unterschiedlichen Hüttensanden unter Berücksichtigung verschiedener physikalischer Parameter und Einflüsse, die Bedeutung der chemischen Zusammensetzung des Hüttensandes auf den Sulfatwiderstand zu ermitteln. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob und unter welchen Voraussetzungen Zemente mit Hüttensandgehalten kleiner 66 M.-% die Kriterien für einen hohen Sulfatwiderstand erfüllen.

Auf Basis von zwei verschiedenen Portlandzementklinkern und fünf Hüttensanden (A, B, D, E, F) wurden Zemente mit Hüttensandgehalten von 30, 50 und 70 M.-% hergestellt. Der Sulfatgehalt der Zemente wurde mit einem Sulfatträgergemisch aus 50 M.-% Halbhydrat und 50 M.-% Anhydrit einheitlich auf 3 M.-% eingestellt. Die Portlandzementklinker (Z1 und Z2) wiesen beide einen C₃A-Gehalt von etwa 8 M.-% auf und unterschieden sich mit 1,24 und 0,85 M.-% Na₂O-Äquivalent vorrangig im Alkaligehalt. Die fünf Hüttensande repräsentierten die üblicherweise in Deutschland eingesetzte Qualitätsbandbreite bei Hüttensanden und variierten im Wesentlichen in den Gehalten an Aluminiumoxid und Magnesiumoxid (**Tafel III-7**).

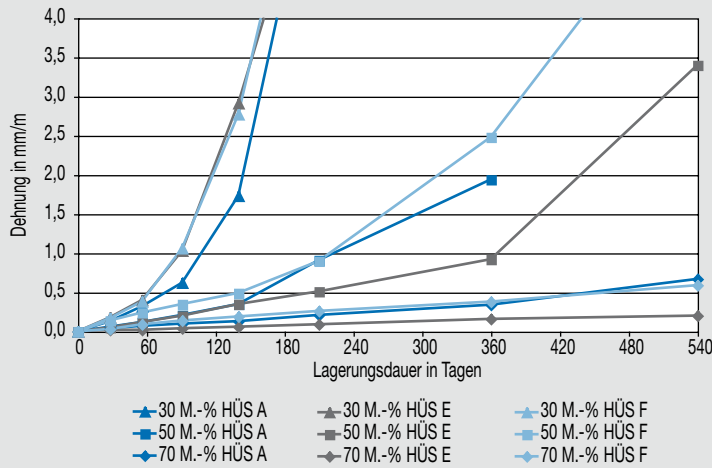


Bild III-14: Relative Längenänderung von Mörtelflachprismen bei Lagerung in Natriumsulfatlösung (29 800 mg Sulfat/l) bei 8 °C

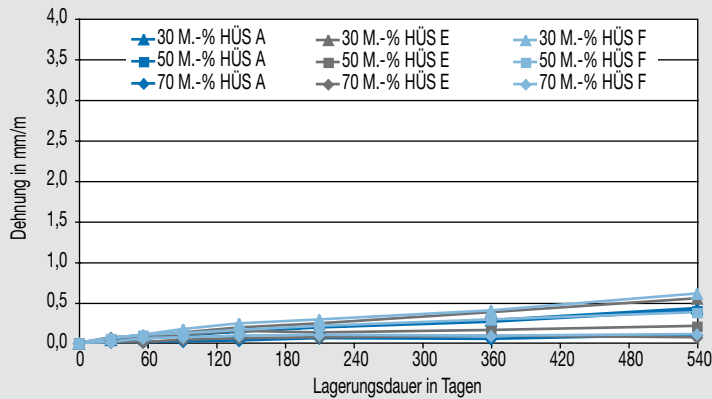


Bild III-15: Relative Längenänderung von Mörtelflachprismen bei Lagerung in Natriumsulfatlösung (3 000 mg Sulfat/l) bei 8 °C

Tafel III-8: Druckfestigkeit nach 14-tägiger Vorlagerung (vor Beginn der Sulfatlagerung)

Hüttensand	A	F	E
70 M.-% HÜS	44,4 MPa	35,0 MPa	27,3 MPa
50 M.-% HÜS	48,5 MPa	41,2 MPa	32,0 MPa
30 M.-% HÜS	48,5 MPa	45,6 MPa	40,3 MPa

Zur Prüfung des Sulfatwiderstands wurden gemäß SVA-Schnellprüfverfahren Mörtelflachprismen mit einem Wasserzementwert von 0,50 und den Dimensionen 1 x 4 x 16 cm³ hergestellt. Das Verfahren wurde vom deutschen Sachverständigenausschuss (SVA) für die Zulassung von Zementen mit hohem Sulfatwiderstand entwickelt. Im vorliegenden Fall wurden zur Berücksichtigung einer höheren Kapillarporosität und eines geringeren Diffusionswiderstandes auch Flachprismen mit einem Wasserzementwert von 0,70 in das Prüfprogramm einbezogen. Die Mörtelprismen blieben zwei Tage unter Feuchtraumlagerung in der

Form, bevor sie dann für weitere zwölf Tage bei 20 °C in gesättigter Calciumhydroxidlösung vorgelagert wurden. Parallel dazu wurden Normprismen mit den Dimensionen 4 x 4 x 16 cm³ hergestellt und in gleicher Weise vorgelagert.

Die Prüfkörper wurden sowohl in einer Natriumsulfatlösung (Prüflösung) als auch in Calciumhydroxidlösung (Referenzlösung) bei 8 °C gelagert. Betone in Grundbauwerken sind üblicherweise vergleichbaren Bodentemperaturen ausgesetzt. Darüber hinaus ist die Bildung von Thaumasit in Gegenwart von Carbonat/CO₂ thermodyna-

misch begünstigt. Ergänzende Versuche wurden bei 20 °C durchgeführt. Zwei Prüflösungen kamen zum Einsatz, eine 4,4 %-ige Natriumsulfatlösung (29 800 mg Sulfat/l) gemäß den etablierten Prüfkonzentrationen des SVA- und des früher üblichen Prüfverfahrens nach Wittekindt und eine praxisnahe 0,44 %-ige Natriumsulfatlösung (3 000 mg Sulfat/l, maximale Konzentration der Angriffsklasse XA2).

Ergebnisse

Gemäß SVA-Verfahren darf bei einem Zement mit hohem Sulfatwiderstand die Dehnung der Flachprismen innerhalb von 91 Tagen den Wert von 0,5 mm/m nicht überschreiten. Erwartungsgemäß wurde dieses Kriterium von den Zementen mit 70 M.-% Hüttensandanteil erfüllt. Jedoch blieben auch die Dehnungen der Zemente mit 50 M.-% Hüttensandanteil unter diesem Grenzwert. Nur die in diesem Vorhaben verwendeten Zemente mit 30 bzw. 40 M.-% Hüttensandanteil verfehlten erwartungsgemäß das Kriterium. Mit verlängertem Prüfzeitraum nahm die Zahl der Zemente zu, deren Prüfkörper höhere Dehnungen als 0,5 mm/m aufwiesen. Nach 360 Tagen blieben allein die Dehnungen der Zemente mit 70 M.-% Hüttensandanteil unter dem Grenzwert (**Bild III-14**).

Neben dieser erwarteten Massenabhängigkeit wurde auch eine Abhängigkeit vom Hüttensand selbst festgestellt. Unter Verwendung der Hüttensande A und F waren die Prüfmörtel nicht nur stärker gedehnt, sondern zerfielen auch. Hingegen kam es mit Hüttensand E nur bei der Probe mit 30 M.-% Hüttensand zu einer starken Dehnung (26 mm/m nach 540 Tagen), nicht aber zum Zerfall. Bei Prüfung mit praxisnaher Sulfatkonzentration blieben alle Prüfkörper ohne starke Dehnungen. Sogar die Flachprismen auf Basis der Zemente mit 30 M.-% Hüttensand wiesen nach 540 Tagen nur Dehnungen von rund 0,5 mm/m auf (**Bild III-15**).

Entsprechend der Druckfestigkeitsentwicklung (**Tafel III-8**) ist Hüttensand A der reaktivste Hüttensand. Gleichzeitig zeigte er aber das geringste Sulfatwiderstandspotenzial. Nach gängiger Auffassung hätten die den Hüttensand A enthaltenden Zementesteingefüge einen geringeren Diffusionswiderstand gegenüber Sulfat aufweisen müssen als die mit Hüttensand F und diese wiederum als die mit Hüttensand E. Die Untersuchungsergebnisse zur Porosität bestätigen dieses Verhalten aber nicht. Zum einen war mit höherem Hüttensandgehalt eine höhere Porosität verbunden und zum anderen bewirkte Hüttensand E im Ver-

gleich zu Hüttensand F und A ein größeres Porenvolumen, insbesondere im Bereich der Kapillarporen (**Bild III-16**). Dies überrascht, denn gerade die Kapillarporosität ist für Transport- und Diffusionsvorgänge von ausschlaggebender Bedeutung. Ein diffusionsdichteres Gefüge sollte eigentlich eine niedrigere Kapillar- und eine höhere Gelporosität und dadurch einen höheren Sulfatwiderstand aufweisen. Dieser Zusammenhang war jedoch nicht festzustellen. Dies zeigten auch rasterelektronenmikroskopische Gefügeuntersuchungen. Die mittels EDX gemessenen Eindringtiefen von Sulfat in den Prüfkörpern sind für alle Hüttensande sehr ähnlich.

Schlussfolgerungen

Entsprechend den baupraktischen Erfahrungen wiesen in den Untersuchungen alle Zemente mit einem Hüttensandanteil von 70 M.-% (CEM III/B) einen hohen Sulfatwiderstand auf, ohne dass sich ein Einfluss der Hüttensandzusammensetzung bemerkbar machte. Im Gegensatz dazu beeinflusste die chemische Zusammensetzung des Hüttensands bei den Zementen mit 50 M.-% Hüttensand (CEM III/A) und 30 M.-% (CEM II/B-S) den Sulfatwiderstand teilweise sehr deutlich. Für weniger geeignete Hüttensande reichte ein solcher niedriger Hüttensandgehalt nicht aus, um unter allen Prüfbedingungen einen sulfatbeständigen Mörtel zu erhalten. Hingegen zeigten die Mörtelprüfkörper auf Basis des am besten geeigneten Hüttensands unter allen Prüfbedingungen eine hohe Sulfatbeständigkeit. Danach hängt der Sulfatwiderstand maßgeblich vom Siliziumüberschuss (bezogen auf Aluminium und Calcium) des Hüttensands ab. Zemente mit aluminiumarmen und siliziumreichen Hüttensanden scheinen am besten für die Herstellung von Zementen mit HS-Eigenschaften geeignet zu sein (**Bild III-17**). Für die Festigkeitsentwicklung gilt hingegen der umgekehrte Zusammenhang.

Schäden in Form von Treiberscheinungen und Gefügeentfestigung wurden nur bei Verwendung von Prüflösungen mit der hohen, aber praxisfernen Sulfatkonzentration von rd. 30 g/l beobachtet. Es bildete sich sekundärer Gips im Gefüge der Prüfkörper, der zur Schädigung führte. Auf Basis der Prüfungen mit niedriger Sulfatkonzentration der Prüflösung war hingegen keine Differenzierung der Hüttensande möglich. Die Prüfkörper aller Prüfzemente blieben ungeschädigt und wiesen nur geringe Dehnungen auf. Die Bedeutung der Prüfbedingungen für die Ergebnisse und Schlussfolgerungen ist daher noch zu klären.

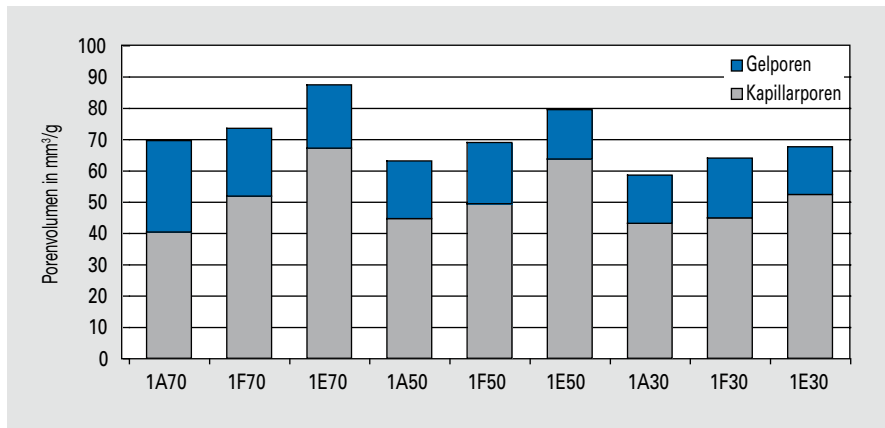


Bild III-16: Porosität nach 14-tägiger Vorlagerung bei 20 °C

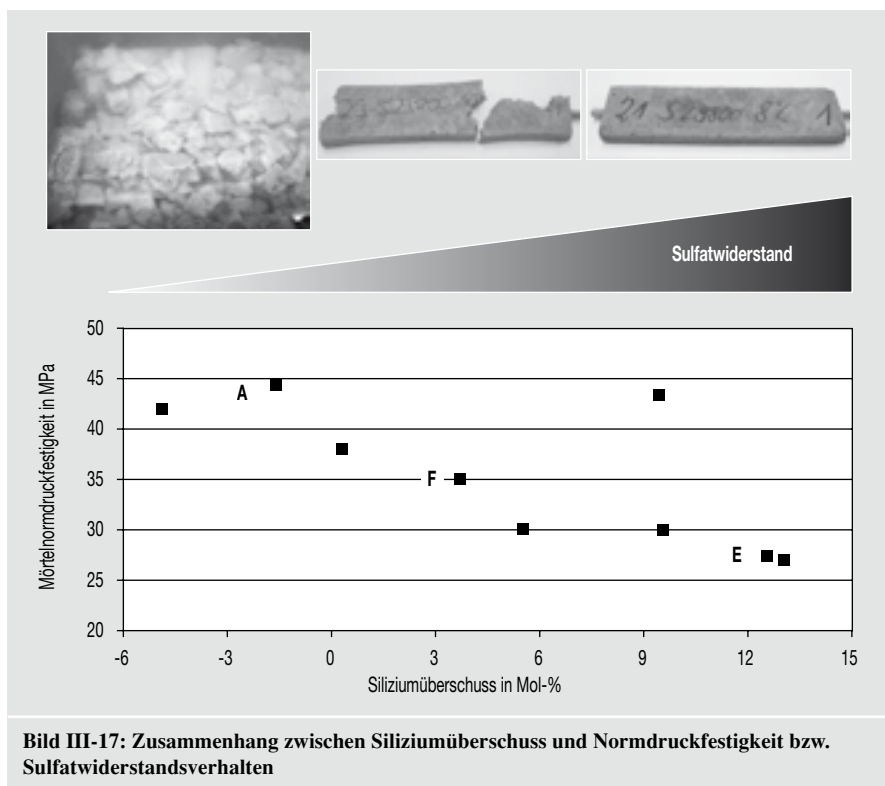


Bild III-17: Zusammenhang zwischen Siliziumüberschuss und Normdruckfestigkeit bzw. Sulfatwiderstandsverhalten

Einfluss von Flugasche auf die Porenlösung von Betonen ■

Der Einsatz von Flugasche in Betonen kann die Gefahr einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion senken. Dies wird allgemein darauf zurückgeführt, dass die Produkte der puzzolanischen Reaktion der Flugasche Alkalien aus der Porenlösung chemisch-mineralogisch binden können. Wie stark diese Fähigkeit ausgeprägt ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dies kann dazu führen, dass sich der Einfluss der Flugasche auf die Alkalität der Porenlösung und somit auf die schädigende AKR bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen nicht unmittelbar ver-

gleichen lässt. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge ist jedoch eine wesentliche Voraussetzung, um den Einsatz von Flugasche zur Vermeidung einer schädigenden AKR zu beurteilen. Zudem lässt sich auf dieser Basis die Übertragbarkeit von Laborversuchen an Betonen, die bei erhöhten Temperaturen gelagert werden, auf Praxisbedingungen bewerten.

Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurde im Rahmen eines von der VGB-Forschungsstiftung unterstützten Projekts untersucht, wie sich Temperatur und Verfügbarkeit von Calcium auf die Bindung von Alkalien auswirken. Es wurden Zementsteine aus Mischungen von drei Portlandzementen (CEM I 32,5 R) mit unterschied-

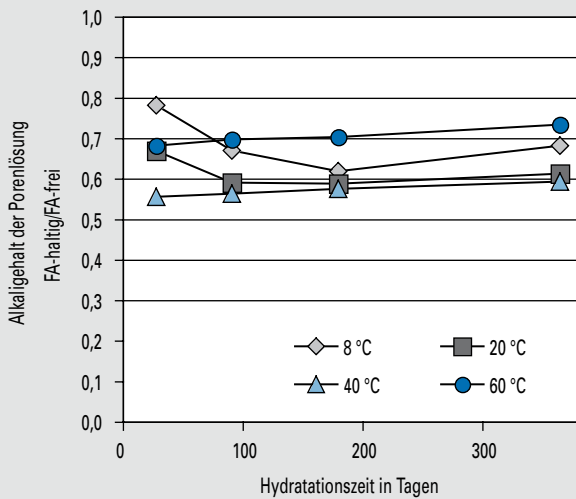


Bild III-18: Alkaligehalte der Porenlösung von flugaschehaltigen Zementsteinen nach bis zu 365 d Hydratation, bezogen auf die entsprechenden Alkaligehalte in flugaschefreien Zementsteinen.

lichen Alkaligehalten (0,8 bis 1,2 M.-% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Äqu}}$) und drei verschiedenen Steinkohleflugaschen hergestellt. Die Mischungen enthielten jeweils 30 M.-% Flugasche und wurden teilweise mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ versetzt, um die Verfügbarkeit von Calcium für die puzzolanische Reaktion zu erhöhen.

Zu bestimmten Prüfterminen wurde die Porenlösung aus den Zementsteinen ausgepresst und auf ihren pH-Wert sowie ihren Gehalt an Alkalien hin untersucht. An den Zementsteinen selbst wurden thermogravimetrisch und durch selektives Lösen die Anteile des bei der puzzolanischen Reaktion umgesetzten $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bzw. der reaktierten Flugasche bestimmt. Damit ließen sich die durchschnittliche Zusammensetzung der Reaktionsprodukte sowie der Reaktionsgrad der jeweiligen Flugasche berechnen. Diese Größen wurden mit der Zusammensetzung der Porenlösung in Beziehung gesetzt.

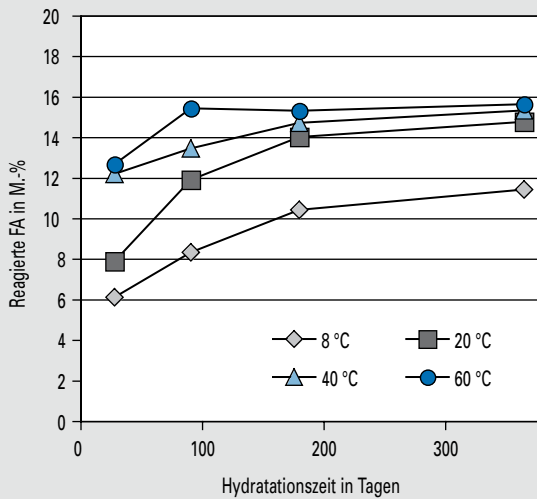


Bild III-19: Menge an reagierter Flugasche nach bis zu 365 d Hydratation in M.-% bezogen auf den Zement

Bindung von Alkalien in flugaschehaltigen Zementsteinen

In allen untersuchten Mischungen führen die Flugaschen zu einer Verringerung der Gesamtalkaligehalte und der Hydroxidionenkonzentrationen der Porenlösungen (Bild III-18). In den meisten Fällen binden die Reaktionsprodukte der Flugaschen aktiv Alkalien ein, die von den Portlandzementen freigesetzt werden, und senken dadurch die wirksamen Alkaligehalte der Zemente. Im untersuchten Zeitraum von einem Jahr konnte keine später möglicherweise auftretende Erhöhung des Gesamtalkaligehalts festgestellt werden.

Einfluss der Temperatur auf den Reaktionsgrad der Flugasche

Ein wichtiger Faktor für die Bindungskapazität von Alkalien in flugaschehaltigen Zementsteinen ist der Reaktionsgrad der Flugasche. Mit steigender Menge an Reaktionsprodukten erhöht sich auch die Menge an Alkalien, die von ihnen gebunden werden können. Der Reaktionsgrad der Flugasche wird im Wesentlichen von der Temperatur kontrolliert. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Flugaschen bei höheren Temperaturen schneller reagieren, und dass die Gesamtmenge an reagierter Flugasche höher ist als bei niedrigen Temperaturen (Bild III-19). In den bei 40 und 60 °C gelagerten Proben unterscheiden sich die Mengen an reagierter Flugasche jedoch kaum.

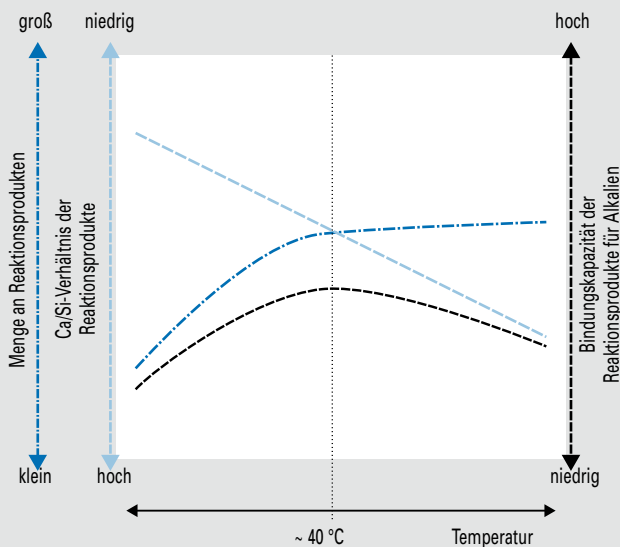


Bild III-20: Einflussfaktoren auf die Alkali-Bindungskapazität durch Reaktionsprodukte von Flugaschen in flugaschehaltigen Zementsteinen

Zusammensetzung und Bindungskapazität der Reaktionsprodukte – die Rolle des Calciums

Es konnte nachgewiesen werden, dass der Calciumanteil in den Reaktionsprodukten der Flugaschen einen Einfluss auf ihre Bindungskapazität bezüglich Alkalien hat. Je höher das durchschnittliche Ca/Si-Verhältnis der Reaktionsprodukte ist, desto weniger Alkalien können sie aufnehmen.

Das Ca/Si-Verhältnis der Reaktionsprodukte ist dabei von mehreren Faktoren abhängig. Erstens wurden in länger hydratisierten Proben höhere Ca/Si-Verhältnisse bestimmt als in bei gleicher Temperatur kürzer gelagerten Proben gleicher Zusammensetzung. Zweitens steigt bei gleich alten und gleich zusammengesetzten Proben das Ca/Si-Verhältnis der Reaktionsprodukte mit der Lagerungstemperatur. Im Gegensatz zum Anteil reagierter Flugasche sind hier auch zwischen bei 40 und 60 °C gelagerten Proben noch deutliche Unter-

schiede erkennbar. Drittens ist das Ca/Si-Verhältnis der Reaktionsprodukte abhängig von der Verfügbarkeit von Ca. Bei Proben mit gleichen Zementen und Flugaschen, die über einen gleichen Zeitraum bei gleicher Temperatur gelagert wurden, ist das Ca/Si-Verhältnis der Reaktionsprodukte in Proben mit primär zugegebenem Ca(OH)_2 höher als in Proben ohne primäre Ca(OH)_2 -Zugabe, obwohl auch in letzteren noch deutliche Mengen Ca(OH)_2 aus der Hydratation des Portlandzementanteils nachgewiesen wurden.

Wechselwirkung zwischen Menge und Zusammensetzung der Reaktionsprodukte

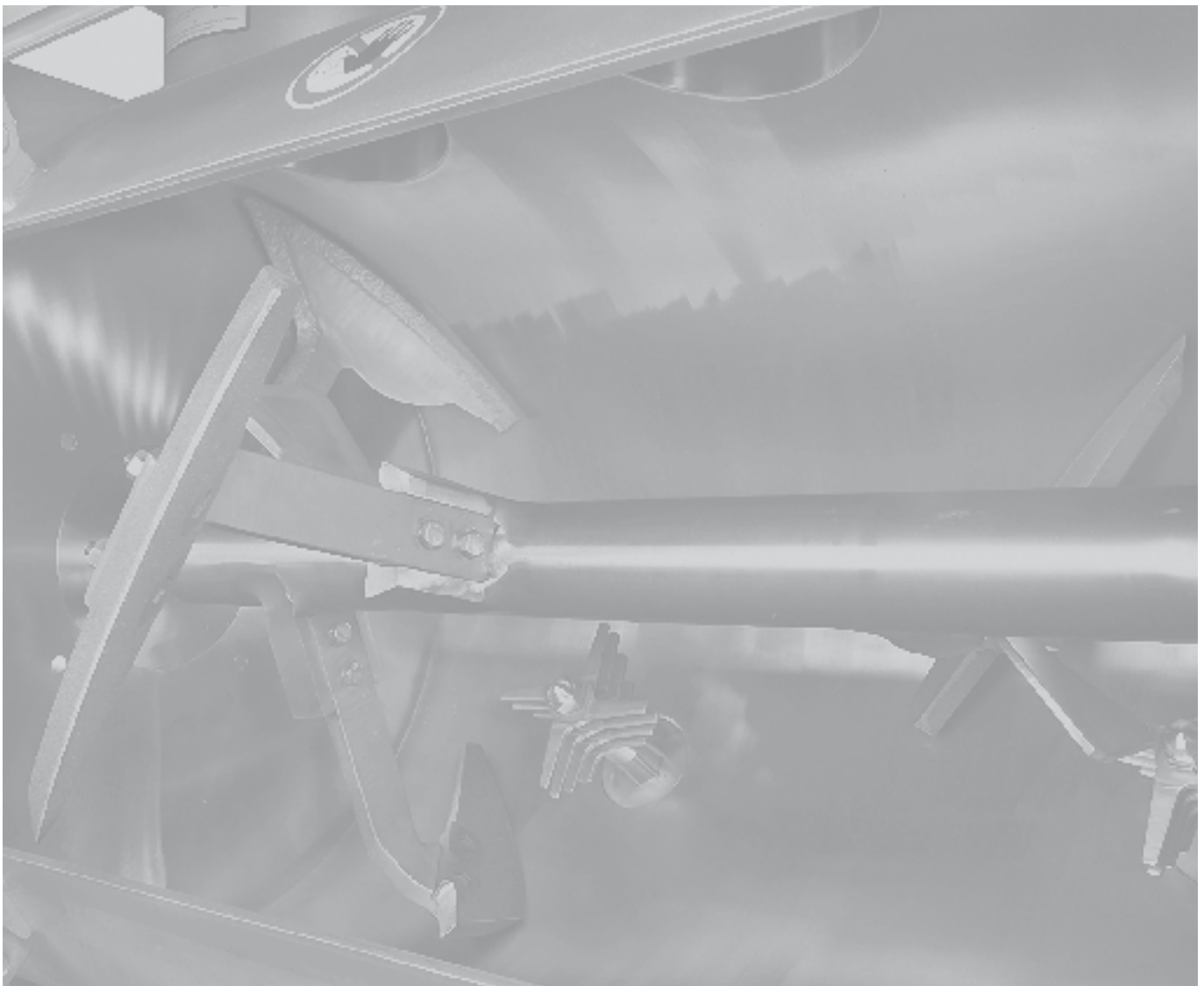
Die Temperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf zwei gegenläufige Faktoren, die die Gesamtbindungskapazität von Alkalien in flugaschehaltigen Zementsteinen bestimmen, nämlich die Gesamtmenge an Reaktionsprodukten und ihr Ca/Si-Verhältnis (**Bild III-20**).

Bei den untersuchten Mischungen weisen die Alkaliionenkonzentrationen der Porenlösungen bei 40 °C meist ein Minimum auf. Bei niedrigeren Temperaturen ist die Menge an Reaktionsprodukten der Flugasche deutlich geringer. Sie steigt zu höheren Temperaturen kaum noch an, während sich das Ca/Si-Verhältnis in den Produkten weiter erhöht, wodurch die Bindungskapazität insgesamt wieder sinkt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte bestätigt werden, dass die Reaktionsprodukte von Flugaschen Alkalien aus der Porenlösung aktiv einbinden. Die Gesamtkapazität zur Bindung von Alkalien wird dabei von der Gesamtmenge an Reaktionsprodukten wie auch von ihrer Zusammensetzung bestimmt. Beide Faktoren sind von der Temperatur abhängig. Bei etwa 40 °C wurden die Alkaligehalte der Porenlösungen in den flugaschehaltigen Zementsteinen im Vergleich zu den flugaschefreien Zementsteinen besonders stark abgesenkt.

IV

Güteüberwachung und Qualitätssicherung von Zement



Innenansicht eines Pflugscharmischers zur Herstellung von Bindemitteln im Zementwerk

Überwachungsgemeinschaft des VDZ

Zu den Aufgaben des VDZ gehört die Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Zement und zement-artigen Bindemitteln zur Erfüllung der Schutzziele der Bauproduktenverordnung und deren nationaler Umsetzung sowie der Landesbauordnungen. Zu diesem Zweck unterhält der Verein die Überwachungsgemeinschaft als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle). Die zugehörigen Überwachungs- und Prüftätigkeiten werden in der Abteilung Qualitätssicherung des Forschungsinstituts der Zementindustrie durchgeführt. Die Ergebnisse der Fremdüberwachung werden im Fachausschuss der Überwachungsgemeinschaft des VDZ zweimal jährlich beraten.

Bis zur Einführung der europäischen Zementnorm im Jahr 2000 galten in Europa für Zement und andere hydraulische Bindemittel ausschließlich nationale Normen und Regelwerke. Die Übereinstimmung mit den Anforderungen wurde durch nationale Übereinstimmungszeichen gekennzeichnet. In Deutschland wurde hierzu das Ü-Zeichen vergeben.

Heute werden nahezu 100 % der Bindemittel durch das CE-Zeichen erfasst (**Bild IV-1**). Das sind insbesondere alle Normalzemente CEM, einschließlich der Zusatzeigenschaft niedrige Hydratationswärme LH und alle Putz- und Mauerbinder MC. Zemente mit hohem Sulfatwiderstand und niedrigem wirksamen Alkaligehalt erfüllen die Anforderungen an Normalzemente und werden durch eine nationale Norm, in Deutschland die DIN 1164-10, erfasst. Wie nachfolgend im Unterabschnitt „Normung“ dargestellt, ist zumindest bei Zementen mit hohem Sulfatwiderstand eine einheitliche europäische Regelung inzwischen weit fortgeschritten. Bei Tragschichtbindern sind europäische Festlegungen derzeit in Vorbereitung. In europäisch harmonisierten Normen erfasste Zemente und Bindemittel erhalten als „technischen Reispass“ und Marktzugangszeichen das CE-Zeichen und können in allen Ländern des europäischen Wirtschaftsraums frei gehandelt werden.

Anerkennung und Akkreditierung

Die Überwachungsgemeinschaft des VDZ ist als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle im gesetzlich geregelten Bereich tätig. Die Anerkennung erstreckt sich einerseits auf die auf nationaler Ebene gültigen Landesbauordnungen (LBO), hierfür

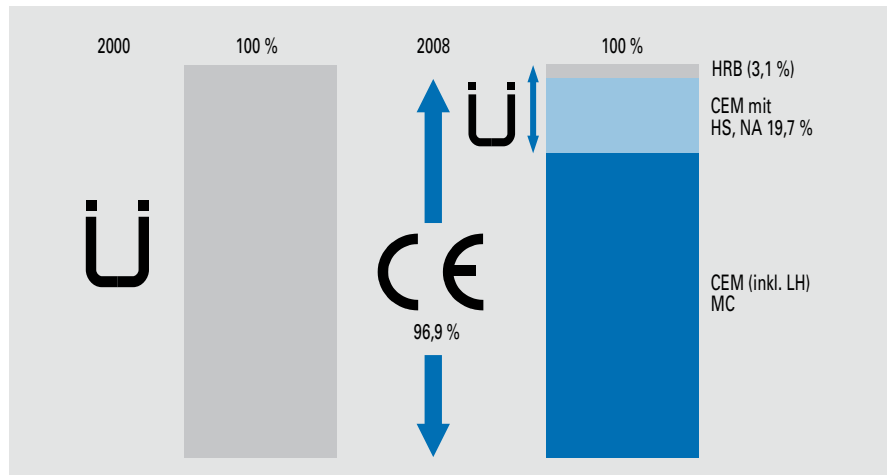


Bild IV-1: Die Zertifizierung von hydraulischen Bindemitteln in Vergleich der Jahre 2000 und 2008

Tafel IV-1: Anerkennungsbereiche der Überwachungsgemeinschaft des VDZ als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für Bauprodukte

Bauprodukte	Technische Regel(n)	Konformitäts-Nachweisstufe	
		BPG	LBO
Bindemittel			
Normalzement	EN 197-1	1 +	
Zement mit besonderen Eigenschaften	EN 197-4	1 +	
	EN 14216	1 +	
	DIN 1164-10, -11, -12		ÜZ
Tonerdezement	EN 14647	1 +	
Putz- und Mauerbinder	EN 413-1	1 +	
Hydraulischer Tragschichtbinder	DIN 18506		(ÜZ) ¹⁾
Baukalk	EN 459-1	2	
Sonstige zementartige Bindemittel (inkl. Spritzbetonzemente)	Zulassung ²⁾		ÜZ
Betonzusatzstoffe			
Pigmente	EN 12878	2 +	
Flugasche	EN 450-1	1 +	
Silicastaub	EN 13263-1	1 +	
Hüttensandmehl	EN 15167-1	1 +	
Natürliche Puzzolane (Trass)	DIN 51043		ÜZ
Sonstige Betonzusatzstoffe	Zulassung ²⁾		ÜZ
Betonzusatzmittel			
	EN 934-2, -3, -4	2 +	
	DIN V 18998		ÜHP
	Zulassung ²⁾		ÜZ
Gesteinskörnungen			
	EN 12620	2 +	
	EN 13055-1	2 +	
	EN 13139	2 +	
Mörtel im Mauerwerksbau			
	EN 998-2	2 +	
Einpressmörtel			
	EN 447		

BPG: Bauproduktengesetz

LBO: Deutsche Landesbauordnungen

ÜZ: Übereinstimmungszertifikat durch anerkannte Zertifizierungsstelle

ÜHP: Übereinstimmungserklärung durch Hersteller nach vorheriger Prüfung des Bauproduktes durch anerkannte Prüfstelle

¹⁾ bauaufsichtlich nicht relevant, Nachweisstufe entspricht ÜZ

²⁾ bei wesentlichen Abweichungen hinsichtlich Herstellverfahren, Zusammensetzung und Eigenschaften von Norm

Tafel IV-2: Übersicht über die von der Überwachungsgemeinschaft des VDZ im Jahr 2008 zertifizierten bzw. überwachten Zemente und hydraulischen Bindemittel

Bindemittel	Norm/Regelwerk	Geltungsbereich	Art der Zertifizierung	Zertifizierungsstelle	Überwachungsstelle	Anzahl Bindemittel	Anzahl Werke
Zement	EN 197-1	EU	gesetzlich	VDZ	VDZ	550 ¹⁾	58
	DIN 1164	Deutschland					
	Zulassung	Deutschland					
	DIN 1164	Deutschland					
	TL Beton-StB	Deutschland	privatrechtlich	–	VDZ	54	27
	BRL 2601, NEN 3550	Niederlande		bmc	VDZ	111	27
	TRA 600, PTV 603, NBN B 12	Belgien		VDZ	VDZ	41	16
	Reglement NF	Frankreich		AFNOR	VDZ	36	11
	DS/INF 135	Dänemark		Dancert	VDZ	7	6
Putz- und Mauerbinder	EN 413	Deutschland	gesetzlich	VDZ	VDZ	19	17
	BRL 2601	Niederlande	privatrechtlich	bmc	VDZ	4	3
hydraulischer Tragschichtbinder	DIN 18506	Deutschland	(gesetzlich)	VDZ	VDZ	16	15

¹⁾ In diesen Zahlen sind insgesamt 88 Mehrfachzertifikate für identische Zemente sowie 21 bauaufsichtlich zugelassene Zemente enthalten

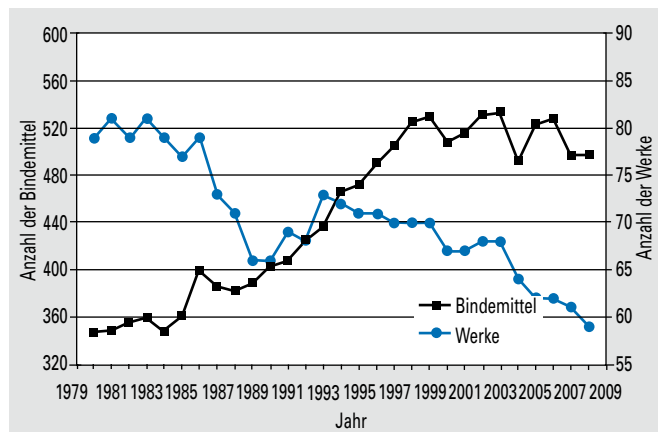


Bild IV-2: Entwicklung der von der Überwachungsgemeinschaft des VDZ fremdüberwachten Bindemittel und Werke

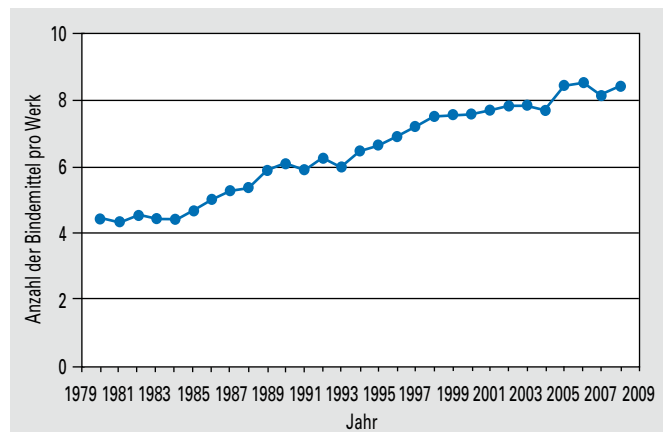


Bild IV-3: Mittlere Anzahl überwachter Bindemittel pro Werk für die von der Überwachungsgemeinschaft des VDZ überwachten Werke

wird das nationale Ü-Zeichen als Übereinstimmungszeichen verwendet. Weiterhin ist die Überwachungsgemeinschaft des VDZ nach dem deutschen Bauproduktengesetz (BauPG), das die EU-Bauproduktenrichtlinie umsetzt, notifiziert und in Brüssel als Stelle Nr. 0840 geführt. Im Geltungsbereich der Bauproduktenrichtlinie wird die CE-Kennzeichnung als Konformitätszeichen verwendet. Darüber hinaus bestehen bilaterale Vereinbarungen mit ausländischen Stellen. Zum Nachweis der Konformität werden entsprechende privatrechtliche Zeichen verwendet.

Über die Forderungen aus dem gesetzlich geregelten Bereich hinaus ist die Überwachungsgemeinschaft des VDZ seit 2002 privatrechtlich als Produktzertifizierer nach EN 45011 akkreditiert. Zusätzlich wurden

alle relevanten Laborprüfungen nach ISO 17025 akkreditiert. Im Rahmen der Akkreditierung wird die Überwachungsgemeinschaft regelmäßig extern begutachtet (s. Kapitel VDZ/FIZ).

Die Anerkennung der Überwachungsgemeinschaft des VDZ durch die zuständigen Bauaufsichtsbehörden (**Tafel IV-1**) erstreckt sich insbesondere auf Zemente und zementartige Bindemittel. Weiterhin gilt die Anerkennung für weitere Mörtel- und Betonausgangsstoffe (Betonzusatzstoffe, -mittel, Gesteinskörnungen) sowie zementhaltige Zubereitungen (z. B. Mauermörtel). Sie bezieht sich sowohl auf genormte als auch auf bauaufsichtlich zugelassene Produkte. Im Berichtszeitraum wurde ein Antrag auf Ergänzung der Anerkennung für Hüttensandmehl nach EN 15167-1 gestellt.

Fremdüberwachung von Zement nach gesetzlichen Regelwerken

Eine Übersicht über die von der Überwachungsgemeinschaft des VDZ im Jahr 2008 zertifizierten bzw. überwachten Zemente und hydraulischen Bindemittel gibt **Tafel IV-2**. Es wurden 585 Bindemittel nach gesetzlichen Regelwerken zertifiziert bzw. überwacht. Das betraf insbesondere 550 (94 %) Zemente. In den Zahlen sind acht Zemente aus vier ausländischen Werken enthalten. In 88 von 550 Fällen wurden Mehrfachzertifikate für identische Zemente ausgestellt. Diese haben sowohl EG-Konformitätszertifikate (EN 197-1) als auch Übereinstimmungszertifikate (DIN 1164-10) erhalten.

Ohne die Mehrfachzertifikate für identische Zemente wurde im Jahr 2008 eine

Tafel IV-3: Anzahl der von der Überwachungsgemeinschaft des VDZ im Jahr 2008 (2006) überwachten inländischen Zemente

Zement	Anzahl der Zemente				Anteil am Zementversand (Inland) in M.-%			
	32,5	42,5	52,5	Summe	32,5	42,5	52,5	Summe
Portlandzement CEM I	36 (51)	78 (80)	61 (56)	175 (187)	5,6 (12,3)	16,6 (21,5)	8,0 (8,3)	30,2 (42,1)
Portlandkompositzement CEM II	64 (79)	71 (60)	32 (31)	167 (170)	24,3 (24,0)	20,0 (12,4)	4,8 (3,6)	49,1 (40,0)
Hochofenzement CEM III	56 (72)	44 (44)	8 (7)	108 (123)	7,0 (9,9)	13,4 (7,5)	0,3 (0,5)	20,7 (17,9)
Puzzolanzement CEM IV	3 (3)	– (–)	– (–)	3 (3)	0,0 (0,0)	– (–)	– (–)	0,0 (0,0)
Kompositzement CEM V	– (–)	– (–)	1 (1)	1 (1)	– (–)	– (–)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Summe	159 (205)	193 (184)	102 (95)	454 (484)	36,9 (46,2)	50,0 (41,4)	13,1 (12,4)	100,0 (100,0)
Zemente mit hoher Anfangsfestigkeit (R)	95 (124)	103 (102)	54 (50)	252 (276)	29,5 (37,0)	26,0 (27,6)	9,0 (8,5)	64,5 (73,1)
Zemente mit üblicher Anfangsfestigkeit (N)	64 (81)	90 (82)	48 (45)	202 (208)	7,4 (9,2)	24,0 (13,8)	4,1 (3,9)	35,5 (26,9)
Zemente mit Sondereigenschaften (LH, HS, NA)	46 (60)	48 (45)	7 (6)	101 (111)	keine Angaben			

Anzahl von 497 Bindemitteln aus 59 Werken überwacht. Die Anzahl der überwachten Bindemittel hat sich im Vergleich zum Jahr 2006 etwas verringert (**Bild IV-2**). Die mittlere Anzahl der überwachten Bindemittel pro Werk nahm in den vergangenen rd. 20 Jahren zu und liegt inzwischen konstant bei etwa 8,4 Bindemitteln pro Werk (**Bild IV-3**).

Im Jahr 2008 wurden auch 54 Zemente mit Verwendungsgenehmigung für Betonfahrbahnen überwacht. Ferner überwachte die Überwachungsgemeinschaft des VDZ in 2008 noch 19 Putz- und Mauerbinder nach EN 413-1, davon entfielen vier auf die Klasse MC 12,5 sowie 16 hydraulische Boden- und Tragschichtbinder nach DIN 18506.

Für die von der Überwachungsgemeinschaft des VDZ überwachten inländischen Zemente sind in **Tafel IV-3** die Anzahl der Zertifikate (ebenfalls ohne Mehrfachzertifikate für identische Zemente) und die zugehörigen inländischen Versandmengen des Jahres 2008 im Vergleich zu 2006 (Werte in Klammern) zusammengestellt. Die Zemente wurden den Hauptzementarten CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV und CEM V bzw. den Festigkeitsklassen 32,5, 42,5 und 52,5 zugeordnet. Aus der Tafel geht hervor, dass die Anzahl der überwachten inländischen Zemente seit 2006 um 30 auf 454 abgenommen hat. Dabei hat sich sowohl die Anzahl der Portlandzemente als auch die Anzahl der Hochofenzemente verringert. Im Unterschied dazu ist die Anzahl der Portlandkompositzemente nahezu konstant geblieben.

Ebenfalls ist eine signifikante Abnahme der Versandmengen von Portlandzementen zu erkennen (vgl. **Tafel IV-3**). Hingegen haben sich die Versandmengen der Portlandkompositzemente CEM II und Hochofenzemente CEM III erhöht. Auffällig ist eine deutliche Verschiebung der Versandmengenanteile von Zementen der Festigkeitsklasse 32,5 R hin zu Zementen der Festigkeitsklasse 42,5 N.

Bild IV-4 bestätigt, dass sich in den letzten Jahren eine deutliche Verschiebung im Inlandversand der Zemente ergeben hat. Gegenübergestellt sind die Anteile der Zementarten und Festigkeitsklassen am Inlandsversand in den Jahren 2000 und 2008. Es ist zu beobachten, dass der Anteil der Zemente der Festigkeitsklasse 32,5 von 60,1 % auf 36,9 % zurückgegangen ist. Gleichzeitig haben die Zemente der oberen Festigkeitsklassen entsprechend zugelegt. Inzwischen wird mehr Zement der Festigkeitsklasse 42,5 als solcher der Festigkeitsklasse 32,5 hergestellt.

Eine ähnliche Verschiebung ist bei den Zementarten ersichtlich. Im Zuge der verstärkten Bemühungen zur CO₂-Reduzierung hat sich der Versandmengenanteil der Portlandzemente in den letzten acht Jahren etwas mehr als halbiert. Seit 2000 hat der Anteil absolut um 31,5 % von 61,7 % auf 30,2 % abgenommen. Gleichzeitig hat sich der Anteil der CEM II-Zemente um absolut 25,2 % von 23,9 % auf 49,1 % erhöht. Dies ist besonders augenfällig bei den Zementen der Festigkeitsklasse 42,5. Hier entfallen inzwischen etwa 40 % der Zemente auf CEM II-Zemente. Ebenfalls zugenommen hat der Versandmengenanteil an CEM III-Zementen.

Fremdüberwachung von Zement nach freiwilligen Regelwerken

Zwischen der Überwachungsgemeinschaft des VDZ und den entsprechenden belgischen, dänischen, französischen, niederländischen und russischen Stellen bestehen bilaterale Vereinbarungen über die gegenseitige Anerkennung von Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungstätigkeiten. Hierbei handelt es sich um Fremdüberwachung nach nationalen Regelwerken und Standards, die über die Forderungen der EN 197 hinausgeht (vgl. **Bild IV-1**). Die Überwachungsgemeinschaft des VDZ führt in Absprache mit der entsprechenden ausländischen Stelle bei deutschen Herstellern die erforderlichen ergänzenden Prüfungen und Überwachungen durch. Dadurch lässt sich der Zusatzaufwand für die Zementhersteller reduzieren.

Im Jahr 2008 wurden von der Überwachungsgemeinschaft des VDZ 111 Zemente und vier Putz- und Mauerbinder aus 27 Werken zusätzlich nach niederländischen Beurteilungskriterien (BRL 2601) überwacht (vgl. **Tafel IV-2**). Die Zertifikate wurden von BMC ausgestellt.

Ferner zertifizierte und überwachte die Überwachungsgemeinschaft des VDZ 41 Zemente aus 16 Werken zusätzlich nach belgischen Regelwerken, die zur Führung des belgischen BENOR-Zeichens berechnen.

Die Überwachungsgemeinschaft des VDZ prüfte und überwachte im Jahr 2008 eine Anzahl von 36 Zementen mit NF-Zeichen aus 11 Herstellern. Das NF-Zeichen wird entsprechend einem französischen Reglement vergeben. Mit der französischen

Zertifizierungsstelle AFNOR wurde vereinbart, dass die Überwachungsgemeinschaft des VDZ im Unterauftrag von AFNOR die Fremdüberwachungsprüfungen und die Werksbesuche in den deutschen Zementwerken durchführt.

Nach dänischen Regelwerken wurden im Jahr 2008 zusätzlich sieben Zemente aus sechs Werken überwacht. Alle Zemente haben ein Dancert-Zertifikat nach DS/INF 135 erhalten.

Weitere Bauprodukte

Seit der bauaufsichtlich Einführung der Pigmentnorm DIN EN 12878 im Jahr 2006 zertifiziert und überwacht die Überwachungsgemeinschaft des VDZ auch die werkseigene Produktionskontrolle von Pigmentherstellern. Dies betrifft die Herstellung von 53 verschiedenen Pigmenten aus vier europäischen Werken.

Im Jahr 2008 wurde mit der Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Hütten sandmehl nach DIN EN 15167-1 begonnen. Derzeit werden zwei Hütten sandmehle überwacht.

Da mit der DIN EN 998-2 seit 2003 auch für Mauer Mörtel eine harmonisierte Produktnorm existiert, kann auch für Mauer mörtel ein CE-Zeichen vergeben werden. Eine Anleitung zur werkseigenen Produktionskontrolle für die CE-Kennzeichnung von Mauer mörteln nach Eignungsprüfung wird in der neuen DIN 18581 gegeben. Diese Norm wurde unter Beteiligung von Mitarbeitern des Forschungsinstitutes erarbeitet und im Jahr 2008 eingeführt.

Im Berichtszeitraum wurden verschiedene Auftragsprüfungen für Einpressmörtel nach DIN EN 447 durchgeführt. Erste Erfahrungen mit den neuen Prüfverfahren bzw. Anforderungen nach DIN EN 445 bzw. DIN EN 447 haben ergeben, dass einige bislang nach der Fassung von 1996 geeignete Einpressmörtel die Anforderungen insbesondere an die Wasserabsonderung, die Volumenänderung und die Siebprüfung nicht erfüllten. Dies führt ggf. dazu, dass sowohl im Verkehrsbau als auch im bauaufsichtlichen Bereich die Fassung von 1996 maßgeblich bleibt. Das Herstellen von Einpressmörtel auf der Baustelle und das Einpressen in Spannkäme kann durch die Überwachungsgemeinschaft des VDZ überwacht werden.

Vergleichsprüfungen

Zur Gewährleistung eines konstanten Prüfniveaus sowie zur Erfüllung der entsprechenden Forderungen aus Normen bzw. der Akkreditierung nimmt die Prüfstelle der Überwachungsgemeinschaft des VDZ regelmäßig an mehreren Ringversuchen teil. Insbesondere die Standardprüfungen für Zement werden mehrmals pro Jahr national und international verglichen.

Unter anderem werden von der Stichting BMC wöchentliche Vergleichsprüfungen mit einem niederländischen Referenz zement organisiert, die vierteljährlich ausgewertet werden. In einem jährlich stattfindenden Treffen der Vertreter der teilnehmenden Fremdüberwachungsinstitutionen werden die Ergebnisse diskutiert. Gleichzeitig werden die Resultate der wöchentlichen Prüfung des Referenz zementes in

einer Qualitätsregelkarte dokumentiert, um Schwankungen festzustellen und schnell darauf reagieren zu können.

Darüber hinaus nimmt das Forschungsinstitut an der jährlich durchgeführten Zement-Vergleichsprüfung der Association Technique de L'Industrie des Liants Hydrauliques (ATILH) teil, an der sich regelmäßig etwa 200 Prüflaboratorien aus derzeit 59 Ländern beteiligen. Ähnliche nationale Ringversuche wurden an anderen Baustoffen, wie z. B. Flugasche und Betonzusatzmittel, durchgeführt.

Prüflabor

Im Zusammenhang mit Fremdüberwachungsprüfungen sowie zugehörigen Auftrags- und Vergleichsprüfungen werden jährlich etwa 3 500 Bindemittelproben in den Laboren des Forschungsinstituts geprüft. Bei im Mittel etwa zehn zu prüfenden Eigenschaften entspricht das rund 35 000 Einzelprüfungen. Bei diesem hohen Probendurchsatz sind einerseits rationelle Prüfabläufe unerlässlich, andererseits müssen ein konstantes Prüfniveau und eine hohe Prüfqualität sichergestellt werden. Dies wird durch eine hohe Vereinheitlichung der Prüfabläufe erzielt. Die physikalischen Prüfungen werden im Güteüberwachungslabor, die chemischen Prüfungen im Unterauftrag durch die Abteilung Zementchemie durchgeführt.

Qualitätssicherung ■

Grundvoraussetzung dafür, dass Zement nicht mehr national, sondern europäisch

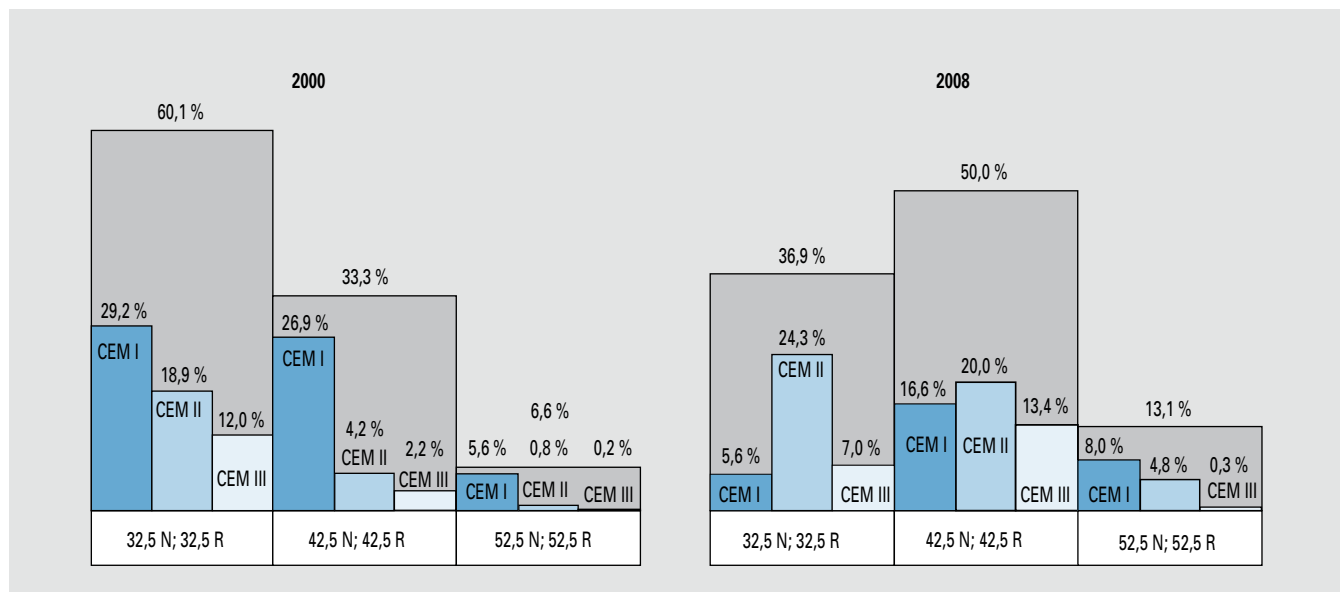


Bild IV-4: Gegenüberstellung der Anteile der Zementarten und Festigkeitsklassen am Inlandsversand der in Deutschland hergestellten Zemente in den Jahren 2000 und 2008

behandelt wird, sind einheitliche Rechtsvorschriften. Die EU-Bauproduktenrichtlinie ist eine von 26 Richtlinien nach der sogenannten „Neuen Konzeption“, dem „New Approach“, deren Ziel es ist, Handelshemmnisse in der EU abzubauen. Die Bauproduktenrichtlinie nimmt insofern eine Sonderstellung ein, weil sich die wesentlichen Anforderungen nicht auf die Bauprodukte selbst, sondern auf die daraus hergestellten Bauwerke beziehen. Damit wird der Handel mit Bauprodukten europäisch geregelt, nicht jedoch die Herstellung von Bauteilen und Bauwerken, die nach wie vor nationalem Recht unterliegt.

Konformitätsnachweis nach EU-Bauproduktenrichtlinie

Derzeit wird die Bauproduktenrichtlinie überarbeitet. Ziel ist es, auf eine Vereinfachung und Deregulierung der als zu kompliziert angesehenen Bauproduktenrichtlinie hinzuwirken. Auch soll die bisherige Richtlinie als EU-Verordnung herausgegeben werden, wodurch nationale Sonderregelungen erschwert würden.

Die europäische Bauproduktenrichtlinie fordert, dass nur solche Bauprodukte auf dem europäischen Binnenmarkt gehandelt werden dürfen, die für die vorgesehene Verwendung geeignet sind. Das Inverkehrbringen ist an das Erfüllen von sechs „Wesentlichen Anforderungen“ geknüpft, das sind

- Mechanische Festigkeit und Stand-sicherheit,
- Brandschutz,
- Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz,
- Nutzungssicherheit,
- Schallschutz sowie
- Energieeinsparung und Wärmeschutz.

Es ist angedacht, bei der Überarbeitung eine siebte Anforderung hinsichtlich des nachhaltigen Gebrauchs natürlicher Ressourcen (Recyclingfähigkeit) aufzunehmen (vgl. Kapitel VI).

Wie zuvor erwähnt, müssen Bauprodukte den Nachweis der Brauchbarkeit erbringen. Die Vorgaben für das Produkt werden, anders als bei anderen europäischen Richtlinien, nicht direkt in der Richtlinie formuliert. Hierzu dienen vielmehr europäisch harmonisierte Normen, die durch die europäische Normenorganisation CEN erstellt werden (s. Unterabschnitt Normung) und europäische technische Zulassungen, die unter dem Dach der europäischen Zulassungsorganisation EOTA verfolgt werden (vgl. Kapitel V).

Tafel IV-4: Systeme der Konformitätsbescheinigung nach Bauproduktenrichtlinie

System	Konformitätsbescheinigung	Aufgaben der anerkannten Stelle	Bindemittel ¹⁾	
1+	Zertifizierung durch Zertifizierungsstelle	Fremdüberwachung mit Stichprobenprüfung	Zement ¹⁾ PM-Binder	} EN 197-2
1		Fremdüberwachung ohne Stichprobenprüfung	–	
2+	Konformitätserklärung des Herstellers	Erstinspektion und laufende Überwachung	Tragschichtbinder	} prEN 13282-3
2		Nur Erstinspektion	Baukalk ²⁾	
3		Nur Erstprüfung	–	
4		–	–	

¹⁾ Normalzement, Zemente mit besonderen Eigenschaften, Spezialbindemittel

²⁾ zukünftig System 2+ nach prEN 459-3

In Hinblick auf den Nachweis der Konformität mit den jeweiligen Anforderungen sind in der Bauproduktenrichtlinie derzeit vier Systeme der Konformitätsbescheinigung vorgegeben (Tafel IV-4). Zwei davon weisen Modifikationen auf, was durch ein „Plus“ gekennzeichnet wird. Bei der Überarbeitung der Bauproduktenrichtlinie sollen diese bewährten Systeme beibehalten werden. Lediglich das System 2, das bisher nur bei einem Bauprodukt (Baukalk) seine Anwendung fand, soll ersatzlos gestrichen werden. Auch denkbar ist, dass für kleine Unternehmen mit weniger als zehn Mitarbeitern und 2 Mio. € Umsatz je Jahr bestimmte Ausnahmeregelungen geschaffen werden.

Bei nur wenigen Baustoffen wird eine Produktzertifizierung durch eine anerkannte Stelle gefordert (System 1+). Hierzu gehören insbesondere wegen der Bedeutung für die Bausicherheit Normalzemente, Zemente mit besonderen Eigenschaften und Sonderbindemittel. Lediglich für hydraulische Tragschichtbinder ist das System 2+ vorgegeben, bei dem eine externe Überwachung der werkseigenen Produktionskontrolle durch eine zugelassene Stelle vorgesehen ist. Im Berichtszeitraum wurde ein entsprechender Normentwurf unter Beteiligung von Mitarbeitern des Forschungsinstituts erstellt.

Die Konformität von Zement wird entsprechend der Überwachungsnorm EN 197-2 bewertet. Die Norm hat sich zweifellos bewährt und bildete das Modell für entsprechende Festlegungen bei Betonzusatzstoffen wie Flugasche, Silicastaub und Hütten-sand. Daher wurde die Überarbeitung dieser Norm zunächst ausgesetzt.

Bei der Überarbeitung der Bauproduktenrichtlinie werden sich auch geänderte Kom-

petenzanforderungen an die Anerkannten Stellen ergeben. Dies betreffen u. a. die Rechtsform, Anforderungen an die Unparteilichkeit und die allgemeinen Pflichten einer Stelle sowie den Abschluss einer Berufshaftpflichtversicherung. Einige Änderungen resultieren aus der Neuordnung des europäischen Akkreditierungswesens.

Neuordnung des Akkreditierungswesens

Vor einigen Jahren war eine Überarbeitung des Rechtsrahmens der Neuen Konzeption eingeleitet worden. Ziel war eine Vereinfachung und Deregulierung als Voraussetzung für den freien Warenverkehr. Ein Ergebnis der Überarbeitung war eine Verordnung zu Akkreditierung und Marktüberwachung des europäischen Parlaments und Rates, die im August 2008 erschien und zum 1. Januar 2010 wirksam wird. Diese Verordnung machte eine Neuordnung des deutschen Akkreditierungswesens erforderlich.

In Deutschland existiert eine große Vielzahl an Zertifizierungsstellen und Laboratorien, die verschiedenste Prüfungen von Produkten und Dienstleistungen durchführen. Zur Beurteilung der Kompetenz und Qualifikation dieser Stellen existieren fünf verschiedene private Akkreditierungsstellen, wie z. B. DACH, DAP, TGA. Die einzelnen Stellen haben derzeit unterschiedliche Kompetenz- und Aufgabenschwerpunkte wie z. B. Akkreditierung von Laboratorien, Prüf- und Zertifizierungsstellen für verschiedenste Produkte sowie von Zertifizierungsstellen für Managementsysteme. Zusätzlich existieren neun Bundes- und vier Länderstellen des gesetzlich geregelten Bereichs (Anerkennungsbehörden). Die verschiedenen Stellen arbeiten im Deutschen Akkreditierungsrat (DAR) zusammen.

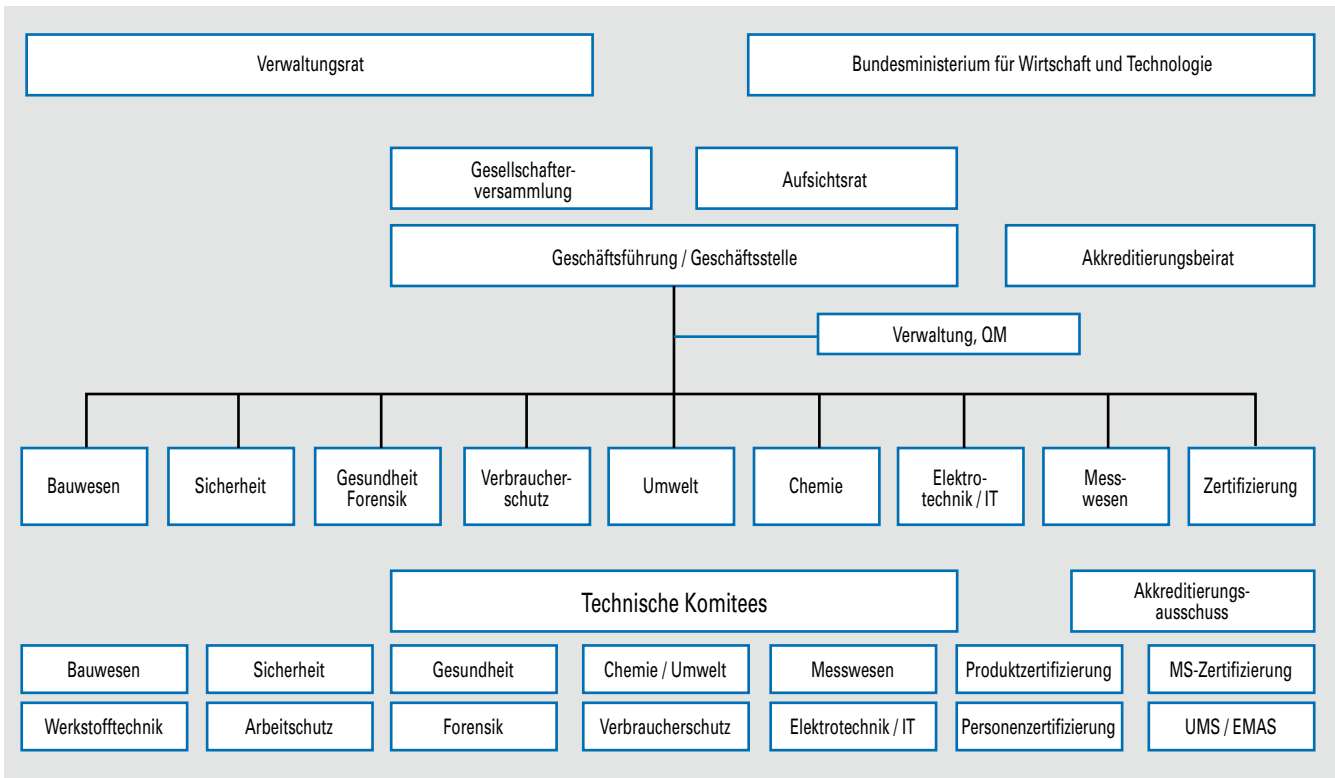


Bild IV-5: Konzept einer deutschen Akkreditierungsstelle

Aufgrund der europäischen Verordnung muss bis zum 1. Januar 2010 eine einzige deutsche Akkreditierungsstelle geschaffen werden. In Deutschland wurde deshalb ein Akkreditierungsgesetz zur Schaffung einer einzigen deutschen Akkreditierungsstelle vorbereitet. Ein entsprechender Entwurf wurde im April 2009 durch das Bundeskabinett verabschiedet.

Am 20. August 2008 wurde durch das Bundeswirtschaftsministerium das Konzept einer wirtschaftsgetragenen Akkreditierungsgesellschaft vorgestellt, die in Form einer Beleihung von der öffentlichen Hand autorisiert wird (**Bild IV-5**). Diese Akkreditierungsstelle soll dann für alle Akkreditierungen im Geltungsbereich der 26 Richtlinien der Neuen Konzeption zuständig sein. Die EU-Bauproduktenrichtlinie, die derzeit überarbeitet wird, ist eine dieser Richtlinien. Die vorhandene Kompetenz der derzeit existierenden Akkreditierungsstellen soll eingebunden werden. Es ist eine funktionale Trennung von Befugniserteilung (Anerkennung, Notifizierung, Bekanntmachung etc.) und formaler Bestätigung der Kompetenz einer Stelle (Akkreditierung) vorgesehen.

Die Akkreditierungsstelle soll verschiedene Bereiche wie Bauwesen, Sicherheit, Umwelt, Messwesen, Zertifizierung etc. umfassen. Sie muss sich aufgrund ihrer Ge-

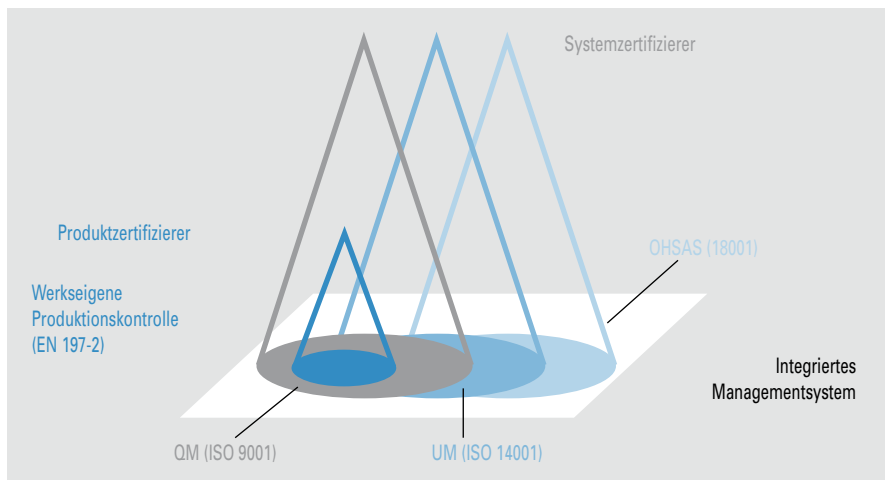


Bild IV-6: Unterschiedliche Sicht von Produkt- und Systemzertifizierern auf integrierte Managementsysteme

bühren selbst tragen und darf nicht gewinnorientiert arbeiten.

Das Forschungsinstitut hat sich auf diese Entwicklung frühzeitig eingestellt und zusätzlich zu der gesetzlich geforderten Anerkennung und Notifizierung für die entsprechenden Bereiche privatrechtlich akkreditieren lassen (vgl. Kapitel 0).

Zusammenarbeit der Notifizierten Stellen

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anerkennung von Notifizierten Stellen nach

Bauproduktenrichtlinie ist, dass sie regelmäßig einen Erfahrungsaustausch untereinander betreiben. Hierzu bestehen sowohl horizontale als auch sektorbezogene Gremien der Notifizierten Stellen. Da in Deutschland besonders viele Stellen existieren, werden die Arbeiten zusätzlich national gespiegelt. Die Überwachungsgemeinschaft des VDZ hat sich, wie auch schon in den vergangenen Berichtszeiträumen, regelmäßig an dem Erfahrungsaustausch in den relevanten europäischen und nationalen Gremien beteiligt.

Zertifizierung von Managementsystemen

Zusätzlich zur gesetzlich im Bereich der Produktüberwachung und -zertifizierung geforderten werkseigenen Produktionskontrolle betreiben einige Unternehmen der Zement- und Baustoffindustrie Managementsysteme. In den letzten Jahren ist ein deutlicher Trend hin zu integrierten Managementsystemen festzustellen, die die spezifischen Anforderungen bezüglich Qualität (ISO 9001), Umwelt (ISO 14001) oder Arbeitssicherheit (OHSAS 18001) gleichzeitig abdecken (**Bild IV-6**). Obwohl das gleiche System betrachtet wird, bestehen inhaltliche Unterschiede zwischen Produkt- und Systemzertifizierung. Der Produktzertifizierer ist im gesetzlich geregelten Bereich tätig und kontrolliert im Detail die Erfüllung der formalen Normvorgaben. Managementsysteme haben stärker den Charakter eines Führungsinstruments. Der Systemzertifizierer ist hier im privatrechtlichen Bereich tätig und auditiert stichprobenartig und im Dialog das vom Hersteller selbst gewählte System.

Das Forschungsinstitut betreibt seit mehr als zehn Jahren eine entsprechende Zertifizierungsstelle für Managementsysteme FIZ-Zert. Diese wurde im Berichtszeitraum durch die Akkreditierungsstelle re-akkreditiert (vgl. Kapitel 0).

Normung ■

Das Forschungsinstitut ist in fast allen Ausschüssen des europäischen Normungsgremiums CEN/TC 51 vertreten. Nachfolgend wird über einige Aktivitäten bei der Überarbeitung und Erweiterung der Zementnormen berichtet.

Produktnormen für Normalzemente

Tafel IV-5 fasst den derzeitigen Stand der bestehenden und vorgesehenen Produktnormen für Zemente und andere hydraulische Bindemittel zusammen. Nach ihrer ersten Veröffentlichung im Jahr 2000 wurde die europäische Zementnorm EN 197-1 mehrfach durch Änderungen und Ergänzungen angepasst.

Im Berichtszeitraum wurde eine Änderung A3 für Flugasche als Zementbestandteil fertiggestellt und veröffentlicht. Hierbei handelt es sich um eine formelle Angleichung an die Regelungen für Flugasche als Betonzusatzstoff. Bei entsprechender Deklaration sind nunmehr höherer Glühverluste von Flugaschen, die als Zementhauptbestandteil verwendet werden, möglich.

Außerdem wurde die vorgesehene Ergänzung A2 für Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (SR) weiter konkretisiert. Der Änderungsentwurf berücksichtigt knapp 90 % der in Europa hergestellten Zemente mit hohem Sulfatwiderstand. Der Ergänzungsvorschlag umfasst sieben Zementarten: Portlandzemente mit drei verschiedenen C_3A -Gehalten, Hochofenzemente mit mindestens 66 % Hüttensand sowie CEM-IV-Zemente. National bewährte Zemente, die nicht berücksichtigt wurden, sollen in einem Anhang zur Norm aufgelistet werden. Diese dürfen dann zwar nicht mit SR gekennzeichnet, aber weiter verwendet werden. Die erarbeiteten Entwürfe wurden im Juli 2008 einem Vertreter der EU-Kommission vorgestellt. Sobald eine schriftliche Stellungnahme der Kommission vorliegt, soll die formelle Abstimmung zu den beiden Entwürfen durchgeführt werden.

Parallel zu den genannten Ergänzungen wurde mit der formalen Revision der EN 197-1 begonnen, die in einem etwa 5-jährigen Turnus vorzunehmen ist. Da sich die Norm bislang bewährt hat, beschränken sich die Änderungen im Wesentlichen auf die formale Einarbeitung aller bisherigen Änderungen (A1, prA2, A3) sowie von EN 197-4, die sich auf Hochofenzemente mit geringer Anfangsfestigkeit bezieht, einschließlich Änderung A1 (Bereich in **Tafel IV-5** dunkel markiert). Die Stufen und Klassen

- niedrige Anfangsfestigkeit (L)
- niedrige Hydratationswärme (LH) und
- hohen Sulfatwiderstand (SR)

werden in die Norm aufgenommen. Eine entsprechend konsolidierte Fassung der EN 197-1 wurde bereits erstellt.

Inhaltlich sollen nur kleinere Anpassungen vorgenommen werden. Diese beziehen sich u. a. auf die Aktualisierung der Anforderungen an die Zementbestandteile. So wurden inzwischen neue oder überarbeitete Normen für die Betonzusatzstoffe Flugasche (wie zuvor beschrieben), Hüttensand und Silicastaub erstellt oder befinden sich in Vorbereitung. Hier sollen die Festlegungen stärker aneinander angeglichen werden. Auch sollen die Anforderungen an Zementzusätze überarbeitet werden, um Forderungen aus dem Trinkwasserbereich gerecht zu werden. Schon jetzt erfüllen die in Deutschland hergestellten Zemente diese Forderung.

Zukünftig werden die Anforderungen der Bauproduktenrichtlinie in Hinblick auf Hy-

giene, Gesundheit und Umweltschutz stärker zu berücksichtigen sein. Zunächst ist jedoch eine inhaltliche Aufbereitung dieser Thematik erforderlich, bevor entsprechende Konzepte Eingang in die Normung finden.

Sonderbindemittel

In der Vergangenheit konzentrierten sich die Normungsaktivitäten in erster Linie auf Normalzemente. Inzwischen sind sechs weitere Normen bzw. Normentwürfe für Spezialzemente und Sonderbindemittel hinzugekommen. Dadurch können Bindemittel zur Anwendung kommen, die bislang entweder nur regional eingesetzt wurden oder nur für spezielle Einsatzgebiete zur Anwendung kamen (**Tafel IV-5**). Seit einigen Jahren sind bereits Normen fertiggestellt und veröffentlicht für:

- Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme, die bei Massenbeton zum Einsatz kommen können,
- Tonerdezemente, die bei speziellen Anwendungen, wie z. B. Reparaturmörtel zum Einsatz kommen können und
- Putz- und Mauerbinder.

Inzwischen kommen

- Sulfathüttenzemente,
- hydraulische Bindemittel für nichttragende Anwendungen hinzu und
- werden die Regelwerke für hydraulische Tragschichtbinder systematisch ergänzt und erweitert.

Ein neues Projekt betrifft Zemente mit einem Hüttensandgehalt zwischen 30 % und 50 % und einem Kalkstein- oder Flugaschegehalt von 6 % bis 20 %. Da das Anwendungsgebiet dieser Zemente noch nicht feststeht, erhalten sie den Arbeitstitel CEM X. Ein Motiv ist hier die mögliche CO_2 -Minderung für die Herstellung eines solchen Bindemittels.

Sulfathüttenzement

Seit einiger Zeit wurde eine Norm für Sulfathüttenzemente erstellt. Hierbei handelt es sich um Zemente, die bis zu 75 % Hüttensand enthalten und durch bis zu 20 % Sulfatträger sulfatisch angeregt werden. Der Portlandzementklinkeranteil beträgt maximal 5 M.-%. Diese Zemente waren früher auch in Deutschland genormt und wurden bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts hergestellt und verwendet. Nach langjähriger Entwicklungsarbeit werden Sulfathüttenzemente wieder in einigen EU-Ländern hergestellt. Diese Zemente zeichnen sich durch niedrige Hydratationswärme, hohen Sulfatwiderstand und erhöhten Säurewiderstand aus.

Tafel IV-5: Bestehende und vorgesehene europäische Produktnormen für Zemente und andere hydraulische Bindemittel

Norm-Nr.	Zement/Bindemittel	Zement-/Bindemittelart		Festigkeitsklasse	Zusätzliche Klassen	Stand
		Anzahl	Bezeichnung			
EN 197-1	Normalzemente	27	CEM I CEM II CEM III CEM IV CEM V	32,5 N/R 42,5 N/R 52,5 N/R	–	2000, Revision eingeleitet, CEN-Umfrage in Vorbereitung
A1	Normalzemente mit niedriger Hydratationswärme					LH (≤ 270 J/g)
prA2	Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand				CEM I CEM III/B u. /C CEM IV	SR 0, SR 3, SR 5 SR S SR P
A3	Flugasche als Zementbestandteil					2007
EN 197-4	Hochofenzemente mit niedriger Anfangsfestigkeit	3	CEM III	32,5 L 42,5 L 52,5 L	LH (≤ 270 J/g)	2004
prA1	Hochofenzement mit hohem Sulfatwiderstand					2008, formelle Abstimmung erst nach Antwort der EU-Kommission
offen	Zement mit erhöhten Anteilen an Hüttensand und Kalkstein oder Flugasche		CEM X			Pränormative Untersuchungen
EN 14216	Zemente mit sehr niedriger Hydratationswärme	6	VLH III/B u. /C VLH IV VLH V	22,5	VLH (≤ 220 J/g)	2004
EN 14647	Tonerdezement	1	CAC	40	–	2005
prEN 15743	Sulfathüttenzement	1	CSS	30 40 50	–	formelle Abstimmung in Vorbereitung
prEN 13282-1 prEN 13282-2	Hydraulischer Tragschichtbinder	1 ¹⁾	HRB	N1 E2 N2 E3 N3 E4 N4	RS ²⁾	Einleitung CEN-Umfrage
EN 413-1	Putz- und Mauerbinder	1	MC	5 12,5 22,5	X (ohne LP-Mittel)	2004, Revision eingeleitet
prEN 15368	Hydraulischer Binder für nichttragende Anwendungen	2	BHB	2,0 3,5	–	2008

¹⁾ Deklaration der Zusammensetzung in vorgegebenen Grenzen

²⁾ RS rapid setting (schnell erstarrend)

■ Revision von EN 197-1

Diese Bindemittel besitzen eine variable Konsistenz in Abhängigkeit von der Zusammensetzung. Die Mörtel sind zum Teil sehr dünnflüssig, wie das **Bild IV-7** bei der Herstellung einer Mörtelform zeigt. Daher war zunächst diskutiert worden, die Mörtel mit einem geringeren Wasser-Zement-Wert von 0,40 herzustellen. Es wurden Ringversuche mit mehreren Wasser-Zement-Werten durchgeführt, um die besten Prüfbedingungen herauszufinden. Schlussendlich entschied man sich, das übliche Normprüfverfahren mit einem Wasser-Zement-Wert von 0,50 anzuwenden, um eine Anbindung an die Festigkeitsklassen von Normalzement zu erzielen. Sulfathüttenzemente werden wegen der langsamen Erhärtung grundsätzlich in die Frühfestigkeitsklassen L oder N eingestuft. Ein Norm-

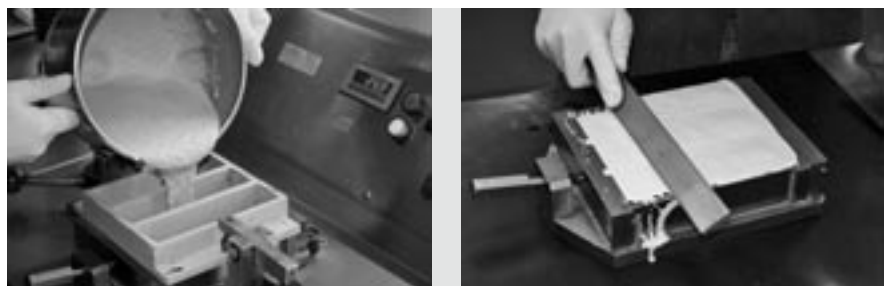


Bild IV-7: Prüfung von Sulfathüttenzement nach prEN 15743 – Einfüllen in die Mörtelform (links) und Abstreichen der Form (rechts)

entwurf liegt inzwischen vor und geht demnächst in die Abstimmung als CEN-Norm.

Tafel IV-6: Prüfnormen für Zement nach DIN EN 196

DIN EN 196 Teil	Inhalt	Gültige Ausgabe	Entsprechende ISO-Normen
1	Festigkeit	2005	ISO 679
2	Chemische Analyse	2005 ¹⁾	ISO 29581-1
3	Erstarren, Raumbeständigkeit	2005	ISO 9597
(4) ²⁾	Zusammensetzung	2007	–
5	Puzzolanität	2005	ISO 863
6	Mahlfeinheit	1990	–
7	Probenahme	2008	–
8, 9	Hydratationswärme	2004	ISO/DIS 29582-1/-2
10	Wasserlösliches Chromat	2006	–

¹⁾ Zusätzlich EN 196-2.2 (ISO/DIS 29581-2) für die Röntgenfluoreszenzanalyse in Arbeit

²⁾ Veröffentlichung als CEN-Bericht CEN/TR 196-4

Hydraulische Tragschichtbinder

Ein weiteres Projekt betrifft die Fertigstellung einer europäischen Tragschichtbindernorm. Die Norm sieht verschiedene Ausgangsstoffe vor und erlaubt eine variable Zusammensetzung mit verschiedenen Binderbestandteilen. Damit ist eine stärkere Anpassung an die jeweiligen örtlichen Verhältnisse möglich. Der Normentwurf wurde inzwischen auf langsam erhärtende Bindemittel erweitert, die den Nachweis der Festigkeit erst nach zwei Monaten liefern müssen. Neu ist, dass die Bindemittel nicht nur für die Tragschicht, sondern auch stärker für Bodenverbesserung und -verfestigung zum Einsatz kommen sollen. Geplant ist, die Norm auch für Mischbindemittel zugänglich zu machen. Dies erfordert eine entsprechende Modifikation der Prüfverfahren, die in Ringversuchen erprobt wurde. Vorgesehen ist, die Kalkkomponente in einem Vorversuch gezielt vorzulöschen und dann die üblichen Normverfahren anzuwenden.

Prüfverfahren

Parallel zu den Produktnormen werden auch die Prüfnormen in regelmäßigen Abständen überarbeitet und aktualisiert. **Tafel IV-6** gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Prüfverfahren der Reihe EN 196. Nicht einbezogen sind in dieser Darstellung die Performance-Prüfverfahren, die gemeinsam mit dem Betonnormungsgremium CEN/TC 104 entwickelt werden. Die wesentlichen Prüfverfahren nach EN 196 wurden inzwischen in entsprechende ISO-Normen umgewandelt, sodass in vielen Ländern der Welt vergleichbare Prüfverfahren angewendet werden können.

Im Berichtszeitraum wurden die Prüfnormen zur Bestimmung der Mahlfeinheit nach EN 196-6 unter Einbeziehung der Luftstrahlsiebung, eine Prüfnorm zur Be-

stimmung der Hydratationswärme mit dem Wärmeflusskalorimeter, ein CEN-Bericht zur Bestimmung der Zusammensetzung, die Prüfverfahren zur chemischen Analyse mit der Röntgenfluoreszenzverfahren sowie das Verfahren zur Probenahme weiterentwickelt (vgl. Kapitel III).

Chromatreduktion von Zementen und zementhaltigen Zubereitungen ■

Für die Bestimmung von wasserlöslichem Chromat in Zement steht seit Oktober 2006 ein europäisch harmonisiertes Prüfverfahren zur Verfügung. Dieses in der europäischen Norm EN 196-10 beschriebene Verfahren ist das Referenzverfahren zur Überprüfung des Grenzwerts von 2 ppm wasserlöslichen Chromats in Zement.

Auch für zementhaltige Zubereitungen gilt der Grenzwert. Allerdings ist der Anteil des wasserlöslichen Chromats nicht auf die gesamte Masse der Zubereitung, sondern auf die Trockenmasse des in der Zubereitung enthaltenen Zements zu beziehen.

Bei der Prüfung der Gehalte wasserlöslichen Chromats zementhaltiger Zubereitungen wurde festgestellt, dass selbst bei zementhaltigen Zubereitungen aus Zementen, deren Gehalte an wasserlöslichem Chromat durch Zugabe von Chromatreduzierern unter 0,1 ppm gesenkt wurden, der in der Zubereitung gemessene Chromatgehalt bezogen auf den Zementanteil oberhalb von 2 ppm liegen kann.

Untersuchungen zur Eignung des Prüfverfahrens nach DIN EN 196-10 für zementhaltige Zubereitungen

Das Prüfverfahren nach EN 196-10 kann unter Berücksichtigung der Empfehlungen im informativen Anhang B der EN 196-10

auch für zementhaltige Zubereitungen verwendet werden.

Die Bestimmungsgrenze des Prüfverfahrens gemäß EN 196-10 liegt nach Erfahrungen verschiedener Laboratorien für Zement in der Größenordnung von 0,1 bis 0,3 ppm Cr(VI). Der zu prüfende Zement wird mit Wasser und Normsand zu einem Normmörtel nach EN 196-10 verarbeitet, dessen Zementanteil 25 M.-% der Mörteltrockenmasse beträgt. Die Analysen werden an dem Filtrat dieses Mörtels durchgeführt.

Bei der Untersuchung zementhaltiger Zubereitungen wird kein weiterer Sand zugegeben, sondern die Zubereitung als solche mit Wasser suspendiert. Bei einem Zementanteil von beispielsweise 10 M.-% in einer zementhaltigen Zubereitung ergibt sich rechnerisch eine Bestimmungsgrenze von ungünstigstenfalls ca. $2,5 \times 0,3 \text{ ppm} = 0,75 \text{ ppm}$. Allerdings ist die Verwendung einer entsprechend angepassten größeren Teilmenge des für die Analyse erzeugten wässrigen Extrakts der Zubereitung möglich. Dadurch lässt sich die absolute Menge des analysierten Chromats in der Messlösung erhöhen und die Bestimmungsgrenze des Analyseverfahrens verbessern.

Das Prüfverfahren nach EN 196-10 sieht statt des in der ehemaligen TRGS 613 verwendeten sehr giftigen Bromwassers die Verwendung von Natriumperoxodisulfat für die Oxidation reduzierender Substanzen in der Messlösung vor. Bei den durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, dass trübende organische Bestandteile zementhaltiger Zubereitungen mit diesem Oxidationsmittel zerstört und abgeschieden werden können, was zu einer für die Analyse erforderlichen klaren Messlösung führt.

Untersuchungen zur Beeinflussung des Gehalts wasserlöslichen Chromats durch die weiteren Bestandteile zementhaltiger Zubereitungen

Der Anteil wasserlöslichen Chromats in Zementen und zementhaltigen Zubereitungen ist Bestandteil eines chemischen Gleichgewichts. Beim Suspendieren eines reinen Zementklinkers in Wasser wird zunächst annähernd das gesamte Chromat des Klinkers gelöst. Das gelöste Chromat wird jedoch gleichzeitig insbesondere in aluminiumhaltigen Verbindungen (z. B. Chromatettringit) gebunden. Das chemische Gleichgewicht zwischen gebundenem und gelöstem Chromat kann durch andere Bestandteile beeinflusst werden. So verdrän-

gen Sulfat-Ionen, die über den Erstarrungsregler Calciumsulfat in den Zement eingebracht werden, den Anteil an Chromat-Ionen aus seinen Verbindungen, der letztlich als wasserlösliches Chromat des eigentlichen Zementes gemessen wird. In besonderem Maße können gelöste Carbonat-Ionen aus entsprechenden Bestandteilen zementhaltiger Zubereitungen (z. B. Alkali-carbonate) den Anteil gelöster Chromat-Ionen aus Zementklinker erhöhen. Wird ein Portlandzement nicht mit reinem, sondern mit Natriumcarbonathaltigem Wasser extrahiert, dann verbleiben nicht nur ca. 20 bis 30 M.-%, sondern mehr als 80 M.-% des Gesamtchromgehalts des Zements als Chromat in der Lösung. Deshalb wurde untersucht, ob die neben Zement in üblichen Zubereitungen enthaltenen Bestandteile die Löslichkeit von Chromat beeinflussen können.

Einfluss einzelner Bestandteile zementhaltiger Zubereitungen auf die Chromatlöslichkeit

Für die Untersuchungen wurde ein Portlandzement sowohl mit den bereitgestellten verschiedenen einzelnen Bestandteilen als auch mit den Compounds (Summe der Mischungsbestandteile marktüblicher zementhaltiger Zubereitungen) verwendet. Die Mischungsanteile des Zements entsprachen dabei denen praxisüblicher Mischungen. In ergänzenden Untersuchungen wurde ein Tonerdezement dem Prüfzement auch zu 50 % und 5 % der praxisüblichen Dosierung zugemischt. Anschließend wurde der wasserlösliche Chromatgehalt dieser Mischungen nach unterschiedlichen Lagerzeiten sowohl nach EN 196-10 als auch nach der Analysevorschrift im Anhang der ehemaligen TRGS 613 bestimmt. Die Analyseergebnisse beziehen sich – wenn nicht anders angegeben – auf den Zementanteil in der Mischung.

In **Bild IV-8** sind die Ergebnisse dieser Chromatbestimmung nach TRGS 613 an dem Prüfzement mit den einzelnen Bestandteilen zementhaltiger Zubereitungen dargestellt. Bei einigen Mischungen erhöht sich der Anteil wasserlöslichen Chromats des Prüfzements um bis zu 4 ppm, wenn unmittelbar nach der Herstellung (0 Monate) geprüft wird. In einzelnen Mischungen verringert sich der gelöste Chromatanteil im Vergleich zum reinen Prüfzement um bis zu 6 ppm.

Besonders stark, nämlich unter die Bestimmungsgrenze des Analyseverfahrens, verringert sich der wasserlösliche Chromatanteil in der Mischung mit der üblichen Menge Tonerdezement (Mischung 4). Bei einer

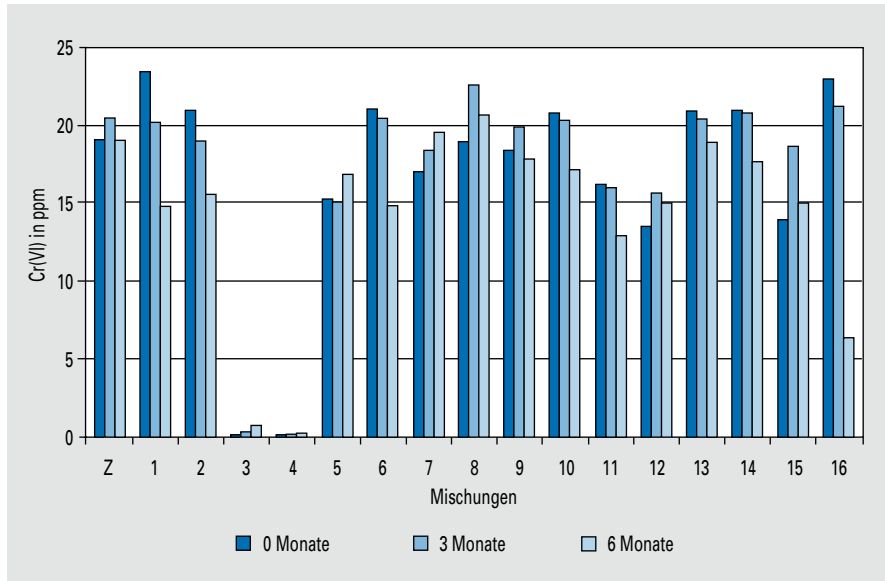


Bild IV-8: Wasserlöslicher Chromatanteil von Mischungen des Prüfzements (Z) mit verschiedenen Bestandteilen zementhaltiger Zubereitungen (Bestimmung nach TRGS 613; Analyseergebnisse bezogen auf den Zementanteil)

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1: Z + Weinsäure; | 10: Z + Natriumoleat; |
| 2: Z + Citronensäure S40; | 11: Z + Methylcellulose 1; |
| 3: Z + Tonerdezement (50 M.-%); | 12: Z + Methylcellulose 2; |
| 4: Z + Tonerdezement (100 M.-%); | 13: Z + Luftporenbildner; |
| 5: Z + Tonerdezement (5 M.-%); | 14: Z + Kalksteinmehl; |
| 6: Z + Melment F 10 Verflüssiger; | 15: Z + Methyl-Hydroxyethyl-Cellulose; |
| 7: Z + Lithiumcarbonat; | 16: Z + Mischung aus Citronensäure (0,3 M.-%) und Kalksteinmehl (4 M.-%) |
| 8: Z + Vinnapas 5044 N; | |
| 9: Z + Zinkstearat; | |

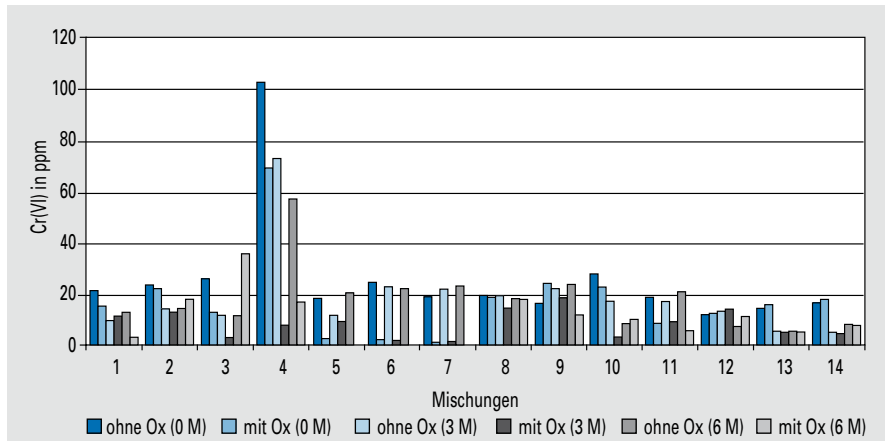


Bild IV-9: Wasserlöslicher Chromatanteil von Mischungen des Prüfzements mit verschiedenen Compounds zementhaltiger Zubereitungen (Bestimmung nach TRGS 613; Analyseergebnisse bezogen auf den Zementanteil; # M = Lagerzeit der Prüfzement/Compound-Mischung in Monaten; Ox = Oxidation mit Natriumperoxodisulfat; gestrichelte Linie = wasserlöslicher Chromatanteil des reinen Prüfzements)

Dosierung von 50 M.-% der praxisüblichen Menge reduziert der Tonerdezement den wasserlöslichen Chromatanteil annähernd genauso stark. Selbst eine Dosierung von nur 5 M.-% der üblichen Menge führt noch zu einer merklichen Verringerung des Anteils wasserlöslichen Chromats. Ursache für diese starke Senkung des Anteils wasserlöslichen Chromats ist nicht etwa dessen chemische Reduktion zu dreiwertigem Chrom, sondern die bereits oben diskutier-

te verstärkte Einbindung von Chromat durch die Reaktion mit den reaktiven Aluminaten des Tonerdezements. Die Analyseergebnisse zeigen, dass durch die untersuchten Bestandteile zementhaltiger Zubereitungen keine gravierende Erhöhung des wasserlöslichen Chromats hervorgerufen wird. Bei der Kombination von zwei Bestandteilen (Bild IV-8, Mischung 16) können sich die Einflüsse der einzelnen Komponenten jedoch addieren.

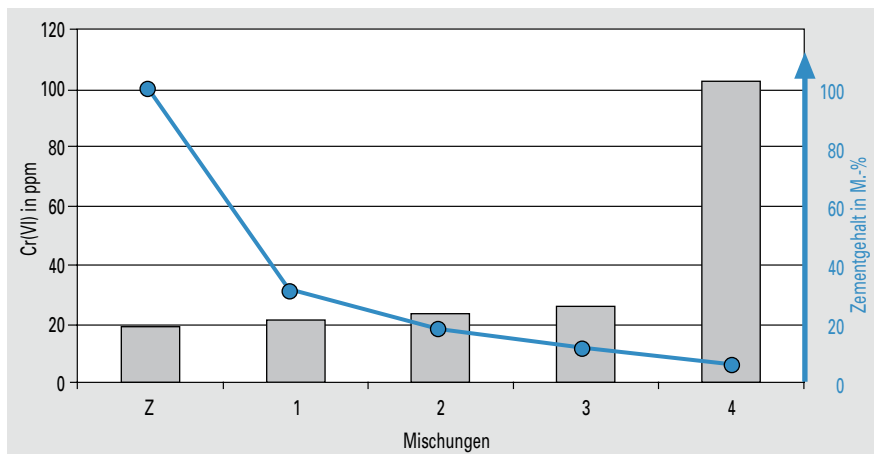


Bild IV-10: Wasserlöslicher Chromatanteil (Balken) und Zementgehalt (Kurve) von Mischungen des Prüfzements (Z) mit den Compounds 1, 2, 3 und 4 (Bestimmung nach TRGS 613 ohne Oxidation; Analyseergebnisse bezogen auf den Zementanteil)

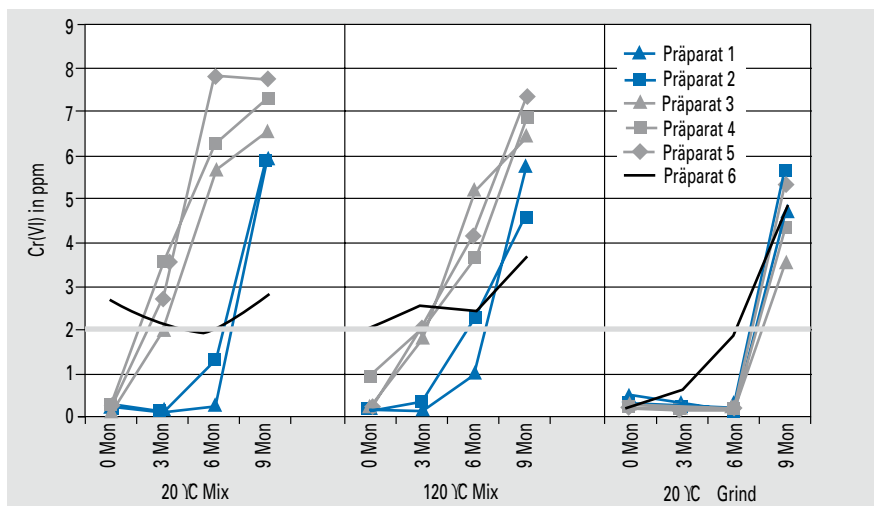


Bild IV-11: Ergebnisse der Cr(VI)-Bestimmung an Prüfzement/Zinn(II)-Präparat-Mischungen nach DIN EN 196-10 („Mix“: durch Mischen hergestellt; „Grind“: durch gemeinsame Mahlung hergestellt; Temperaturangaben: Misch- bzw. Mahltemperaturen; # Mon: Prüftermin in Monaten nach der Zinn(II)-Präparat-Zugabe)

Einfluss der Summe aller Bestandteile zementhaltiger Zubereitungen
Zementhaltige Zubereitungen enthalten i. d. R. nur geringe Anteile Zement. Diese Anteile liegen oft in der Größenordnung von 10 bis 20 M.-%, teilweise jedoch sogar deutlich unter 10 M.-%. Die Summe der neben dem Zement in der Zubereitung enthaltenen Bestandteile, die sog. Compounds, ist im Vergleich zum Zement eindeutig Hauptbestandteil der Zubereitungen. Ihr Einfluss auf die Freisetzung von Chromat kann daher erheblich sein. Um dies zu untersuchen, wurde ein Prüfzement mit Compounds entsprechend den Masseverhältnissen in den authentischen Produkten gemischt und der Gehalt des wasserlöslichen Chromats dieser Mischungen bestimmt (Bild IV-9). Die meisten Compounds führen zu keiner signifikanten Erhöhung des aus dem Zement gelösten

Chromats. Augenfällige Ausnahme ist diesbezüglich lediglich Compound 4. Im Verlauf der Lagerzeit der Mischungen verringern sich zudem die gemessenen Chromatgehalte in den meisten Mischungen.

Reduzierende Substanzen müssen durch einen Oxidationsschritt zerstört werden, denn sie führen ansonsten bei der Analyse zu einem falschen (zu geringen) Chromatgehalt der Probe. Manche Compounds (z. B. 4, 5, 6, 7 und 11) erzeugen jedoch erst dann geringere Chromatgehalte, wenn die Analyse mit einem solchen Oxidationsschritt ausgeführt wird. Möglicherweise werden erst infolge einer unvollständigen Oxidation kritische reduzierende Substanzen erzeugt. Aus den Analyseergebnissen für die Compounds 1 bis 4 lässt sich ableiten, unter welchen Bedingungen sich der Anteil des löslichen Chromats deutlich er-

höhen kann (Bild IV-10). Diese vier Compounds enthalten u. a. fein gemahlene Kalkstein. Je geringer der Zementgehalt der Zubereitung, desto höher ist der gemessene Chromatgehalt bezogen auf diesen Zementanteil. Selbst ein nur geringer Anteil gelösten Carbonats aus dem Kalksteinmehl führt zu einem veränderten Gleichgewicht hinsichtlich gelösten und gebundenem Chromats in der Suspension dieser Zubereitungen.

Beeinflussung der Wirksamkeit der Chromatreduzierer

Wechselwirkungen werden nicht nur zwischen den Bestandteilen zementhaltiger Zubereitungen und dem Zement, sondern auch zwischen diesen Bestandteilen und den Chromatreduzierern beobachtet. Zinn(II)-sulfat-Präparate sind sehr effiziente Chromatreduzierer. In vielen Fällen aber steigen die Chromatgehalte bereits nach wenigen Monaten wieder deutlich an. Die nachlassende Wirksamkeit von Chromatreduzierern kann verschiedene Ursachen haben:

- fortschreitende Oxidation des Reduktionsmittels (z. B. durch Luftsauerstoff)
- Reaktionen des Reduktionsmittels mit anderen Bestandteilen in der Zubereitung
- Verringerung der Löslichkeit des Reduktionsmittels mit der Zeit (z. B. durch passivierende Krusten)

Verschiedene Zinn(II)-Präparate wurden deshalb auf ihre Reduktionswirkung gegenüber wasserlöslichem Chromat in Zement und deren Dauerhaftigkeit hin untersucht. Hierbei sollte festgestellt werden, welche Eigenschaften ein Chromatreduzierer auf Basis von Zinn(II)-Salzen aufweisen muss, um dauerhaft wirksam zu sein. Insgesamt wurden sieben Zinn(II)-Präparate getestet, die sich durch ihren Gehalt an Restschwefelsäure sowie durch ihre Vorlagerungsbedingungen und Beimengungen unterscheiden (Tafel IV-7). Die Chromatreduzierer wurden einem Prüfzement auf unterschiedliche Weise zudosiert. Bezogen auf ihren Zinn(II)-Gehalt wurden alle Präparate auf eine Menge entsprechend 0,02 M.-% Zinn(II)-sulfat dosiert. Diese Dosierung führte nicht zu einer vollständigen Reduktion des wasserlöslichen Chromats im Prüfzement, wodurch ein Vergleich der Wirksamkeit der einzelnen Präparate möglich war. Alle Präparate zeigen im Verlauf der Lagerzeit von neun Monaten eine meist starke Abnahme ihrer Wirksamkeit, die sich in Bild IV-11 in steigenden Chromatgehalten darstellt. Die pulverförmigen Präparate 1 und 2 zeigen

grundsätzlich eine gute Reduktionswirkung über einen Zeitraum von sechs Monaten. Spätestens nach neun Monaten jedoch nimmt die Wirksamkeit dieser beiden Präparate auf ein den anderen Präparaten vergleichbares Niveau ab.

Im Vergleich zu den Präparaten 1 und 2 lässt die Wirksamkeit der kristallinen Präparate 3 bis 5 kontinuierlich über die Lagerzeit nach, wenn sie dem Prüfzement durch Mischen bei 20 °C bzw. 120 °C zugegeben werden. Erfolgt ihre Zugabe jedoch durch gemeinsame Vermahlung mit dem Prüfzement bei 120 °C, so entspricht ihre Wirksamkeit der der Präparate 1 und 2. Diese gute Übereinstimmung der Wirksamkeit ist auf die Angleichung der Korngröße durch die Mahlung zurückzuführen.

Fazit

Die neben Zement in zementhaltigen Zubereitungen enthaltenen Bestandteile können die Anteile wasserlöslichen Chromats des Zements erhöhen. Bei geringen Zementgehalten in Gegenwart großer Mengen solcher Bestandteile kann diese Erhöhung des wasserlöslichen Chromatanteils sehr deutlich sein. Bestandteile mit löslichem Carbonat sind in diesem Zusammenhang als besonders kritisch einzustufen. Zur sicheren Reduktion auch der auf diese Weise zusätzlich gelösten Chromatanteile wird eine zusätzliche Chromatreduktion empfohlen.

Tafel IV-7: Zinn(II)-Präparate, die für Dauerhaftigkeitsuntersuchungen verwendet wurden

Bezeichnung	Zusammensetzung	freie Schwefelsäure in M.-%	sonstige Eigenschaften
1	reines Zinn(II)-sulfat	0,3	Pulver
2	reines Zinn(II)-sulfat	0,1	Pulver
3	reines Zinn(II)-sulfat	< 0,1	kristallin
4	reines Zinn(II)-sulfat	0,01	kristallin
5	reines Zinn(II)-sulfat	0,1	kristallin
6	reines Zinn(II)-sulfat	nicht bekannt	3 Jahre alt

Die Dosierung von Zinn(II)-sulfat-Präparaten zu Zement sollte bei erhöhten Temperaturen unter gemeinsamer Vermahlung erfolgen. Die nachträgliche Dosierung von Zinn(II)-sulfat zu zementhaltigen Zubereitungen erfolgt üblicherweise lediglich durch Mischen und bei geringen Temperaturen. Inwieweit eine Konditionierung von Zinn(II)-sulfaten unter erhöhten mechanischen und thermischen Belastungen zum gleichen Ergebnis wie bei gemeinsamer Vermahlung bei erhöhten Temperaturen von Zement und Chromatreduzierer führt, ist im Einzelfall zu prüfen.

Bestimmte Eigenschaften von Zinn(II)-sulfaten können ihre (Langzeit-)Wirksamkeit je nach Dosierstrategie (Temperatur, Me-

chanik) unterschiedlich beeinflussen. Maßgeblich sind hierbei nach den vorliegenden Ergebnissen die Feinheit der Reduzierer und ihr Gehalt an freier Schwefelsäure. Allerdings lässt die Wirksamkeit der Chromatreduzierer bei allen untersuchten Prüfzement/Reduzierer-Mischungen spätestens nach neun Monaten deutlich nach.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die Komplexität der chemischen und physikalischen Einflussgrößen bei der Reduktion wasserlöslichen Chromats in zementhaltigen Zubereitungen auf. Sie ermöglichen aber auch die Ableitung von Strategien zur erfolgreichen Herstellung ausreichend dauerhaft chromatarmer zementhaltiger Zubereitungen.



Betonausgangsstoffe, Betontechnologie und Betonbautechnik



Erster Kreisverkehr aus Beton in Deutschland (Bad Sobernheim)

Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen ■

Zu allen Zeiten wurden auf der Basis der regional verfügbaren Rohstoffe leistungsfähige Zemente für eine sichere Betonbauweise hergestellt. Insofern hat die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen eine lange und erfolgreiche Tradition. Aufgrund der stetig steigenden Anforderungen an den Umweltschutz kommt heute der Herstellung und Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen wegen ihrer ökologischen Vorteile eine immer größere Bedeutung zu.

Bezogen auf die Verhältnisse in Deutschland belegt der erfolgreiche Einsatz in der Baupraxis die Leistungsfähigkeit von CEM II- und CEM III-Zementen für anspruchsvolle und dauerhafte Betonbauwerke. Die anwendungstechnischen Eigenschaften dieser Zemente, die ökologischen Vorteile ihrer Verwendung sowie praktische Anwendungsbeispiele wurden in der VDZ-Broschüre „CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau – Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton“ des Vereins Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ) kundenorientiert aufbereitet (zu beziehen über www.beton.org).

Ökologische Vorteile

Die positive ökologische Wirkung des zunehmenden Einsatzes von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zeigt sich in der Veränderung des Baustoffprofils für eine Tonne Zement in Deutschland (**Tafel V-1**). Der Beitrag zum Treibhauseffekt und zu anderen Umweltwirkungen wurde für einen über die deutsche Produktion gemittelten Zement bestimmt, der entsprechend den durchschnittlichen Anteilen von Zementklinker und anderen Hauptbestandteilen im Jahr 2006 zusammengesetzt ist. Dabei wurden auch die Umwelteinflüsse der sogenannten Vorketten, z. B. auf Grund der Erzeugung des benötigten Stroms, berücksichtigt. Gegenüber dem Jahr 1996 hat sich der Beitrag zum Treibhauseffekt um 23 % und der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern um 38 % verringert, Beiträge zu anderen Umweltwirkungen sanken ebenfalls beträchtlich. Die Minderungen spiegeln u. a. wider, dass in Deutschland vermehrt Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen produziert werden, aber auch, dass der gestiegene Einsatz von Sekundärbrennstoffen viele Kennwerte positiv beeinflusst.

Anwendungsregeln in Deutschland

Die aktuellen Betonnormen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 enthalten die Anwendungsregeln für Normzemente in Ab-

Tafel V-1: Baustoffprofil Zement: Wirkungspotenziale und Aufwand an Primärenergie (aus nicht erneuerbaren Energieträgern) für die Herstellung von 1 t Zement in Deutschland (Durchschnitt)

		1996	2006		
Wirkungskategorie	global	Treibhauseffekt (GWP)	872	670	kg CO ₂ -Äq.
		Ozonabbau (ODP) ¹⁾	0	1,6 · 10 ⁻⁵	kg R11-Äq.
	regional	Versauerung (AP)	1,68	0,92	kg SO ₂ -Äq.
		Überdüngung (NP)	0,20	0,12	kg PO ₄ ³⁻ -Äq.
		Sommersmog (POCP) ²⁾	0,07	0,10	kg C ₂ H ₄ -Äq.
Primärenergie (nicht erneuerbar)		4 355	2 713	MJ	

¹⁾ Indikator wurde 1996 zu Null gesetzt

²⁾ Indikator lag 1996 ein anderes Berechnungsverfahren zugrunde

hängigkeit von den Expositionsclassen. Zum Zeitpunkt der Einführung dieser Normen galten für einige Normzemente Anwendungsbeschränkungen, die vor allem auf die in Deutschland noch nicht hinreichenden praktischen Erfahrungen zurückzuführen waren. In diesen Fällen wurde der Nachweis der Eignung für die Anwendung in bestimmten Expositionsclassen durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Anwendungszulassung AZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erbracht.

Aktuell dürfen in Deutschland folgende Zementarten in allen Expositionsclassen verwendet werden:

- Portlandzement CEM I
- Portlandhüttenzemente CEM II/A-S und CEM II/B-S
- Portlandschieferzemente CEM II/A-T und CEM II/B-T
- Portlandkalksteinzemente CEM II/A-LL
- Portlandflugaschzemente CEM II/A-V und CEM II/B-V
- Portlandkompositzemente CEM II/A-M mit den weiteren Hauptbestandteilen S, LL, T, D bzw. V
- Portlandkompositzemente CEM II/B-M mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Anwendungszulassung AZ)
- Hochofenzemente CEM III/A^{*)}

^{*)} Expositionsklasse XF4: CEM III/A der Festigkeitsklasse $\geq 42,5$ N oder der Festigkeitsklasse 32,5 R mit bis zu 50 M.-% Hütten sand

Seit dem Jahr 2003 wurden in Deutschland insgesamt 19 allgemeine bauaufsichtliche Anwendungszulassungen für CEM II/B-M (S-LL) und vier Zulassungen für CEM II/B-M (V-LL) erteilt. Neben den Zulassungen für die CEM II/B-M (V-LL) sind aktuell 16 Zulassungen für CEM II/B-M (S-LL) gültig. In allen Zulassungen wird einheitlich die Verwendung in Beton, Stahlbeton und Spannbeton nach DIN EN 206-1

in Verbindung mit DIN 1045-2 für die Expositionsclassen XC3, XC4, XD1 bis XD3, XS1 bis XS3, XF1 bis XF4, XA1 bis XA3, XM1 bis XM3 in Ergänzung zu den bereits in DIN 1045-2 erlaubten Expositionsclassen X0, XC1 und XC2 zugelassen. In allen Zulassungen wird noch Bezug genommen auf die Anwendung in Mörtel und Beton nach der alten DIN 1045:1988 und der früheren Spannbetonnorm DIN 4227-1. Nicht erlaubt ist die Verwendung in Einspressmörtel für Spannglieder nach DIN EN 447. In insgesamt vier Zulassungen wurde zwischenzeitlich auch die Verwendung für die Herstellung von Bohrpfählen nach DIN EN 1536 in Verbindung mit dem DIN-Fachbericht 129 und zur Herstellung von flüssigkeitsdichtem Beton (FD-Beton) nach der DAfStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ aufgenommen. Die Erweiterung gilt technisch für alle diese Zulassungen. Es bedarf allerdings formal eines Antrags beim DIBt durch den Zulassungsinhaber. In Ergänzung zu den genannten Anwendungsgebieten können CEM II-M-Zemente mit allgemeiner bauaufsichtlicher Anwendungszulassung in allen Bereichen eingesetzt werden, in denen das entsprechende Regelwerk einen Bezug auf Zement nach DIN EN 197-1, nach DIN 1164 oder Zement mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung enthält und keine speziellen Anwendungsbeschränkungen aufführt. Die nachfolgende Aufzählung zeigt einige Beispiele:

- DIN 1053-1 Mauerwerk
- DIN 4158 Zwischenbauteile aus Beton für Stahlbeton- und Spannbetondecken
- DIN EN 12843 Betonmaste
- DIN 4261-1 Kleinkläranlagen
- DIN 18551 Spritzbeton
- DIN 18148 (DIN 18162) Hohlwandplatten aus Leichtbeton (unbewehrt)
- DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel“ (Trockenbeton-Richtlinie)

- DAFStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“

Eine weiterführende Übersicht über die Verwendung von Zement nach EN 197-1 findet man in der Bauregelliste A Teil 1 Anlage 1.33 (2006/1). Beim Bau von Ingenieurbauwerken im Bereich von Bundesfernstraßen (ZTV-ING) bedarf die Verwendung von CEM II-M-Zementen noch der Zustimmung des Auftraggebers. Trotz der Einschränkung belegen auch in diesem Anwendungsbereich mittlerweile zahlreiche Praxisbeispiele die Eignung der CEM II/B-M-Zemente mit Anwendungszulassung. Langfristig sollte dieser Zusatz daher entfallen können.

Eine Arbeitsgruppe des CEN/TC 104/SC1 „Beton“ hat eine Synopse der nationalen Anwendungsdokumente (NAD) zur europäischen Betonnorm EN 206-1 erarbeitet. Dabei zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede für die Zementanwendung. Hier spiegeln sich neben den traditionell unterschiedlichen Gegebenheiten des Markts und der Baupraxis ebenfalls Philosophien der Regelsetzung wider (vgl. VDZ-Tätigkeitsbericht 2005–2007). Während in der deutschen Anwendungsnorm DIN 1045-2 für alle 27 Grundzementarten und zusätzlich eine Reihe von CEM-II-M-Zementen Festlegungen für deren Anwendung getroffen wurden, regeln andere NAD die Anwendung nur einiger weniger Zementarten, die traditionell im jeweiligen nationalen Markt eine Rolle spielen.

Zementeigenschaften

Die Eigenschaften von CEM II- und CEM III/A-Zementen wurden im Zuge der technischen Entwicklung der Herstellungsverfahren ständig verbessert, den aktuellen Anforderungen der Praxis angepasst und dadurch die Bandbreite der Anwendungen deutlich erweitert. Insbesondere hinsichtlich ihrer Anfangsfestigkeit sind CEM II- und CEM III/A-Zemente von den Herstellern so eingestellt, dass sie vergleichbar zu den CEM I-Zementen eingesetzt werden können (Bild V-1).

Baupraktische Betoneigenschaften

Über die umweltschonende Herstellung hinaus haben CEM II- und CEM III/A-Zemente aufgrund ihrer Zusammensetzung insbesondere unter den immer differenzierteren betontechnologischen Vorgaben bei der Anwendung in Frisch- bzw. Festbeton eine Reihe von Vorteilen. Für spezifische Einsatzbereiche – vom Brückenbau über den Tunnel- bis zum Straßen- und Gebäudebau – lassen sich optimal abgestimmte

Bild V-1: Mittelwerte der Normdruckfestigkeiten verschiedener Zementarten auf der Basis der Ergebnisse der Fremdüberwachung

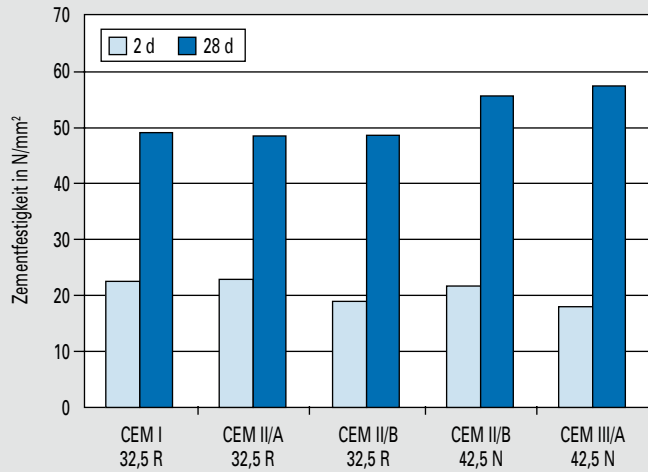
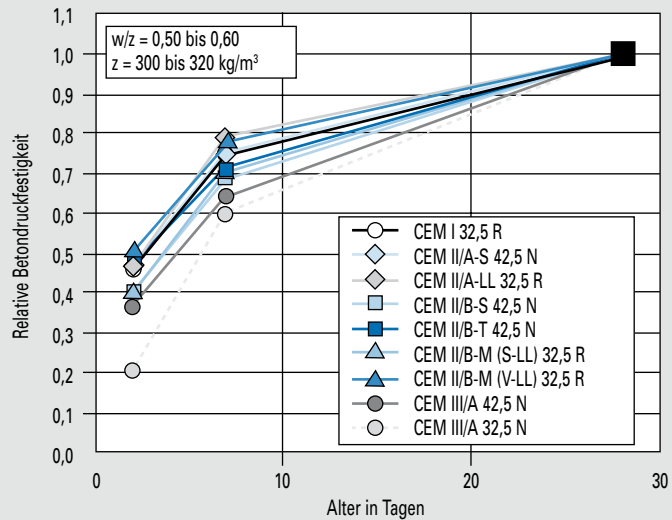


Bild V-2: Relative Druckfestigkeit von Betonen mit verschiedenen CEM II- und CEM III/A-Zementen im Vergleich zum CEM I-Beton



Betone produzieren. Nachfolgend einige wichtige Eigenschaften im Überblick.

Festigkeitsentwicklung

Die Festigkeitsentwicklung von Betonen mit CEM II- und CEM III/A-Zementen ist unter baupraktischen Bedingungen vergleichbar mit der von CEM I-Betonen. Um den Anforderungen der Praxis an die Frühfestigkeit zu genügen, werden CEM II/B- und CEM III/A-Zemente auch in der Festigkeitsklasse 42,5 N angeboten. In Bild V-2 ist die relative Druckfestigkeitsentwicklung von Betonen auf Basis handelsüblicher CEM I-, CEM II- und CEM III/A-Zemente bei vergleichbaren Betonzusammensetzungen und Lagerungsbedingungen beispielhaft dargestellt. Die Relativwerte ergeben sich aus dem Bezug der Betondruckfestigkeit im Alter von 2, 7 bzw. 28 Tagen auf die 28-Tage-Druckfestigkeit des Betons. Zum Vergleich sind ergänzend die Prüfwerte für einen CEM III/A 32,5 N enthalten. Die ausgewiesenen Ergebnisse ermöglichen die Einstufung der

untersuchten Betone in die mittlere bzw. langsame Festigkeitsentwicklung. Dementsprechend ist hier der Beton mit dem Zement CEM III/A 32,5 N als langsam einzustufen. Diese Einstufung ist maßgebend für die Dauer der Nachbehandlung.

Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit des Betons ist eine der zentralen Anforderungen an jedes Betonbauwerk. Dabei geht es vor allem darum, dass die zum Einsatz kommenden Betonbauteile bei ausreichender Wartung und Instandhaltung über den geplanten Nutzungszeitraum widerstandsfähig gegen Lasten und Umwelteinflüsse sein müssen.

Carbonatisierung

Untersuchungen an Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken, die mit Betonen verschiedener Festigkeitsklassen und unterschiedlicher Zusammensetzung hergestellt wurden, haben gezeigt, dass bei im Freien bewitterten Bauteilen üblicherweise kein deutlicher Einfluss der in Deutschland ein-

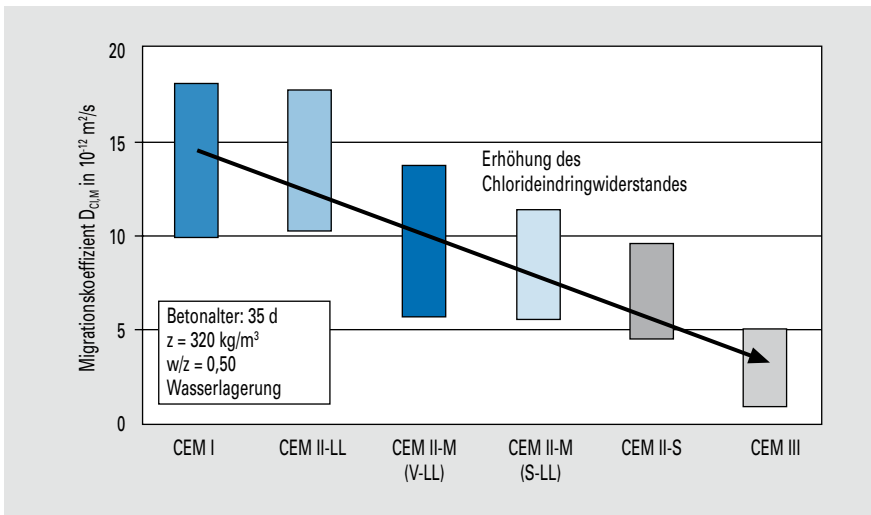


Bild V-3: Einfluss der Zementart auf den Chlorideindringwiderstand mittels Schnelltest von Beton

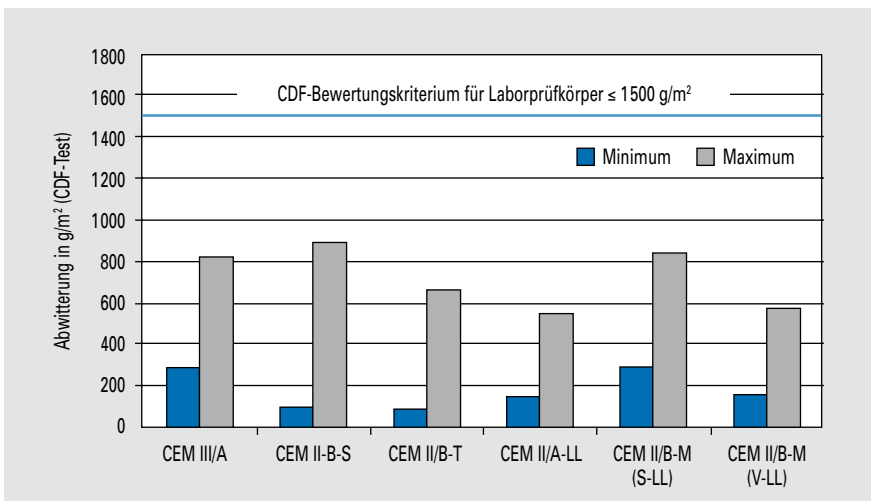


Bild V-4 Frost-Tausalz-Widerstand von Luftporenbetonen bei Prüfung mit dem CDF-Verfahren, Zementgehalt 320 bis 365 kg/m³; w/z-Wert 0,41 bis 0,50; Festigkeitsklasse der Zemente: 32,5 R und 42,5 N

gesetzten Zementarten auf das Carbonatisierungsverhalten zu erkennen ist. Obwohl sich an trockenen Innenbauteilen höhere Carbonatisierungstiefen ergeben können, besteht aufgrund des geringen Feuchtegehaltes dieser Bauteile kein Risiko der Korrosion der Bewehrung.

Chlorideindringwiderstand

Die Verwendung hüttensand- und flugaschehaltiger Zemente führt aufgrund der Verfeinerung des Porensystems zum Teil zu einer deutlichen Erhöhung des Widerstands des Betons gegen das Eindringen von Chloriden (**Bild V-3**). Bei Betonen für massive Bauteile nach DAfStb-Richtlinie und bei Verwendung eines CEM III/A- oder CEM III/B-Zements in den Expositionsclassen XD3 und XS3 kann daher der höchstzulässige Wasserzementwert von 0,45 auf 0,50 bei gleich bleibendem Korrosionsschutz der Bewehrung erhöht werden.

Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand

Bei sachgemäßer Zusammensetzung, Verarbeitung und Nachbehandlung nach DIN 1045 weisen Betone mit CEM II- und CEM III/A-Zementen zuverlässig einen hohen Frost- sowie Frost-Tausalz-Widerstand auf. Besonders für Ingenieurbauwerke oder Verkehrsflächen sind diese daher sehr gut geeignet. Lediglich CEM III/A der Festigkeitsklasse 32,5 N sowie CEM III/A 32,5 R mit mehr als 50 M.-% Hüttensand sind für die Expositionsclassen XF4 ausgeschlossen. In **Bild V-4** sind beispielhaft Ergebnisse aus Frost-Tausalz-Prüfungen mit dem CDF-Verfahren an Betonen mit verschiedenen Zementen dargestellt. Sofern die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes gefordert ist, wird zur Beurteilung der Ergebnisse im Allgemeinen folgendes Bewertungskriterium verwendet: Die Abwitterung nach 28 Frost-Tau-Wechseln darf für einen Beton mit ausreichendem

Frost-Tausalz-Widerstand nicht größer als 1500 g/m² sein. Das entspricht einer Abwitterungstiefe von nur ca. 0,6 mm. Dieses Kriterium kann nicht für an Bauwerken entnommene Proben angewendet werden.

Anwendungsbeispiele

Die bisher in Deutschland produzierten und im Betonbau eingesetzten CEM II- und CEM III/A-Zemente haben sich im Hinblick auf ihre Verarbeitungseigenschaften, die Festigkeitsentwicklung und die Dauerhaftigkeit des Betons in jahrzehntelangem Praxiseinsatz bewährt. Die aktuelle VDZ Broschüre „CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau – Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton“ enthält zahlreiche Praxisbeispiele aus verschiedenen Bereichen des Betonbaus.

Ausblick

Als energie- und rohstoffintensive Industrie ist die Zementindustrie von Anforderungen an die Schonung der Ressourcen, an die Verringerung des Energieeinsatzes und an den globalen Klimaschutz in ganz besonderem Maße betroffen. Die Zementhersteller stellen sich dieser Herausforderung, indem sie ihre Herstellprozesse im Hinblick auf Rohstoff- und Energieeinsatz in den vergangenen Jahren fortlaufend optimiert haben.

Aus dem Ziel, diesen Weg konsequent weiter zu beschreiten, erwächst auch die Frage nach Zementarten, die bisher nur vereinzelt hergestellt und angewendet oder in der europäischen Zementnorm DIN EN 197-1 gar nicht enthalten sind, auch wenn ihre Zusammensetzung sich nicht zwangsläufig deutlich von den Zementen der DIN EN 197-1 unterscheidet. Mit Untersuchungen an diesen und ähnlichen Zementzusammensetzungen befasst sich eine aktuelle Forschungsarbeit mit dem Titel „Ökologisch und technisch optimierte Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen“. Diese Arbeit wird im Rahmen der Fördermaßnahme „klimazwei – Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen“ (www.klimazwei.de) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) durchgeführt.

Im Fokus der Untersuchungen stehen neben Portlandkalksteinzementen mit 30 bzw. 35 M.-% Kalkstein auch Zemente mit 10 bis 25 M.-% Kalkstein in Kombination mit Hüttensand bzw. Steinkohlenflugasche. Die zu untersuchenden Zemente wurden sowohl labortechnisch als auch großtechnisch hergestellt. Bei der Herstellung wurde die granulometrische Optimierung der Ze-

Tafel V-2: Zusammensetzung der Versuchszemente mit mehreren Hauptbestandteilen

Zement	Kalkstein Feinheit ca. 7000 cm ² /g (Blaine)	Hüttensand Feinheit ca. 4000 cm ² /g (Blaine)	Flugasche Feinheit ca. 4000 cm ² /g (Blaine)	Feinheit des Zementes in cm ² /g (Blaine)	Wasseranspruch für Normsteife in M.-%	Herkunft der Ausgangsstoffe
30% LL	30 M.-% Kalkstein mit 70 M.-% CaCO ₃	–	–	6265	31,5	Standort 1
10% S 25% LL	25 M.-% Kalkstein mit 70 M.-% CaCO ₃	10 M.-% Hüttensand	–	6195	30,5	Standort 1
20% S 20% LL	20 M.-% Kalkstein mit 80 M.-% CaCO ₃	20 M.-% Hüttensand	–	5150	30,5	Standort 2
40% S 10% LL	10 M.-% Kalkstein mit 80 M.-% CaCO ₃	40 M.-% Hüttensand	–	4970	30,0	Standort 2
10% V 25% LL	25 M.-% Kalkstein mit 70 M.-% CaCO ₃	–	10 M.-% Steinkohlenflugasche	6325	30,0	Standort 1
20% V 20% LL	20 M.-% Kalkstein mit 70 M.-% CaCO ₃	–	20 M.-% Steinkohlenflugasche	5955	29,0	Standort 1

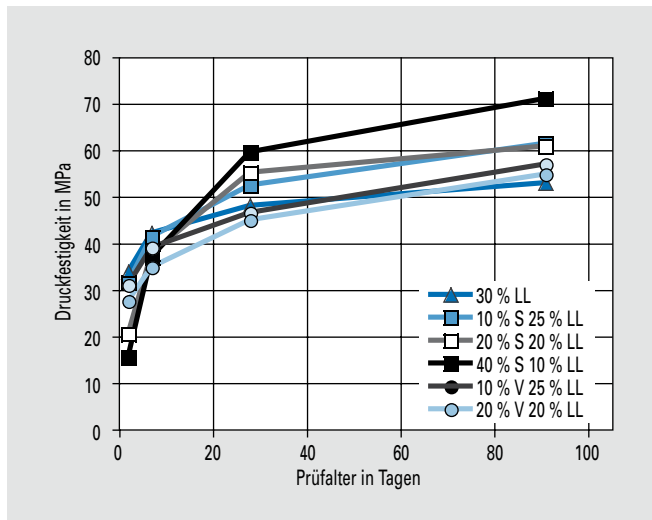


Bild V-5: Druckfestigkeit der Zemente in Abhängigkeit vom Prüfalter

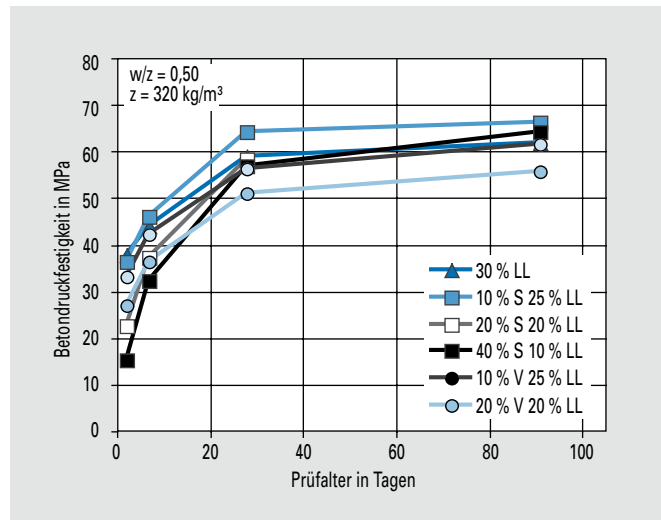


Bild V-6: Druckfestigkeit des Betons in Abhängigkeit vom Prüfalter

menthauptbestandteile sowie die Sulfatträgeroptimierung mit Blick auf ein angemessenes Erstarrungsverhalten der Zemente berücksichtigt. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Arten von Hauptbestandteilen (z. B. nach ihrer Herkunft) variiert. Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde auf die Dauerhaftigkeit der mit diesen Zementen hergestellten Betone gesetzt. Im Folgenden werden ausgewählte Untersuchungsergebnisse vorgestellt, eine Übersicht einiger Zemente und ihrer Zusammensetzung gibt **Tafel V-2**. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse können nicht verallgemeinert werden. Sie können aber als Grundlage für weitere Entwicklungsarbeiten genutzt werden.

Druckfestigkeitsentwicklung

Die Druckfestigkeitsentwicklung einiger labortechnisch hergestellter Zemente ist im **Bild V-5** dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die für die Dauerhaftigkeitsuntersuchungen hergestellten Laborze-

mente i. W. eine praxisübliche Festigkeitsentwicklung aufwiesen. Für die Herstellung der Betone wurden Gesteinskörnungen (Rheinkiessand aus den Beständen der Forschungsstelle) mit der Kornzusammensetzung A16/B16 nach DIN 1045-2, Anhang L verwendet. Die Mischungszusammensetzungen der Betone orientierten sich an den Grenzwerten für die Zusammensetzung und die Eigenschaften von Betonen nach DIN Fachbericht 100 „Beton“.

Bild V-6 zeigt beispielhaft die Druckfestigkeitsentwicklung des Betons mit einem Wasserzementwert $w/z = 0,50$ und einem Zementgehalt $z = 320 \text{ kg/m}^3$ unter Verwendung von ausgewählten Laborzementen. Erwartungsgemäß waren die Frühfestigkeiten der Betone mit den CEM II-Zementen im Vergleich zu den Betonen, die mit den Zementen außerhalb der DIN EN 197-1 hergestellt wurden, höher. Die Betone wiesen im Alter von 28 Tagen ein Festigkeitsniveau auf, das einen Vergleich

der dauerhaftigkeitsrelevanten Eigenschaften in der Regel bereits in diesem Alter ermöglicht.

Carbonatisierung

Bild V-7 zeigt beispielhaft die zeitliche Entwicklung der Carbonatisierungstiefen einiger untersuchter Betone. Die Betone wurden mit einem Zementgehalt von $z = 260 \text{ kg/m}^3$ und einem Wasserzementwert von $w/z = 0,65$ hergestellt. Die Carbonatisierungstiefen der Betone unter Verwendung der hier untersuchten Laborzemente lagen fast ausschließlich unterhalb der Werte des als Referenz angegebenen CEM III/A-Betons. CEM III/A kann für alle Anwendungsbereiche (Expositionsklassen) eingesetzt werden.

Chlorideindringwiderstand

Der Widerstand des Betons gegenüber eindringenden Chloriden wurde mithilfe eines Schnellverfahrens (Migrationstest) ermittelt. Die Prüfkörper wurden bis zum Prüf-

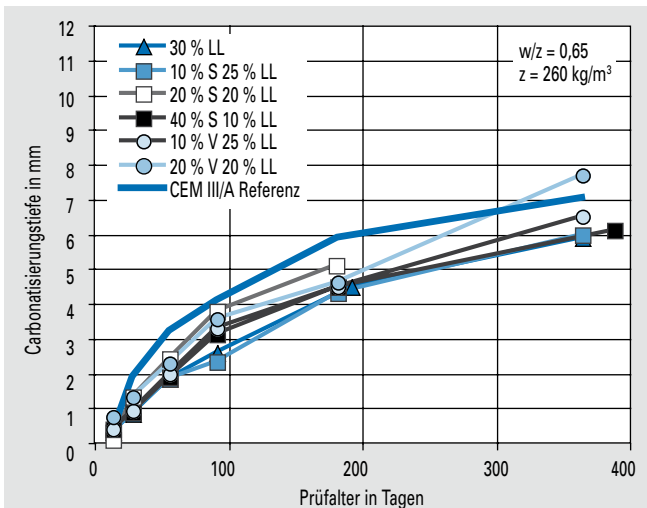


Bild V-7: Carbonatisierungstiefe des Betons in Abhängigkeit vom Prüfalter

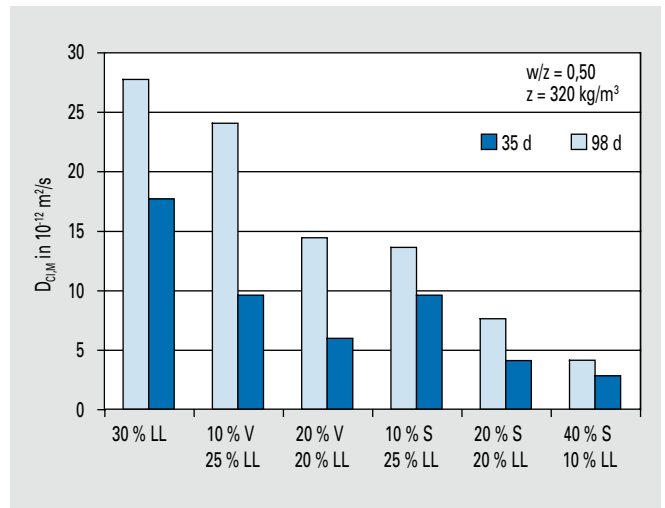


Bild V-8: Chloridmigrationskoeffizienten der Betone in Abhängigkeit vom Prüfalter

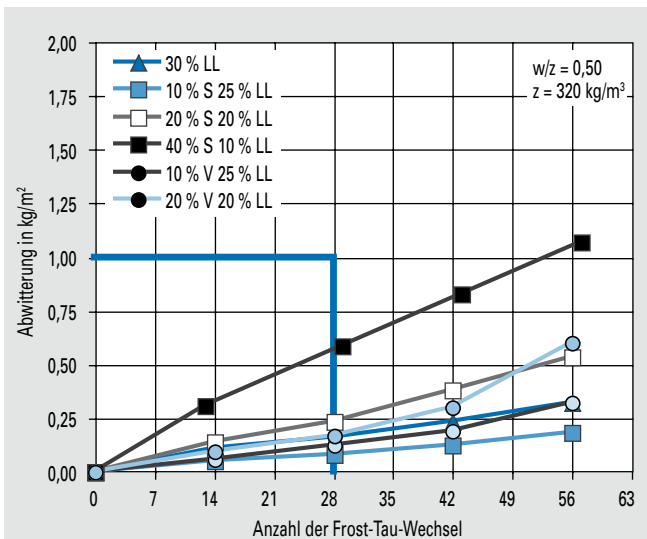


Bild V-9: Abwitterungen von Betonen im CF-Verfahren in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel

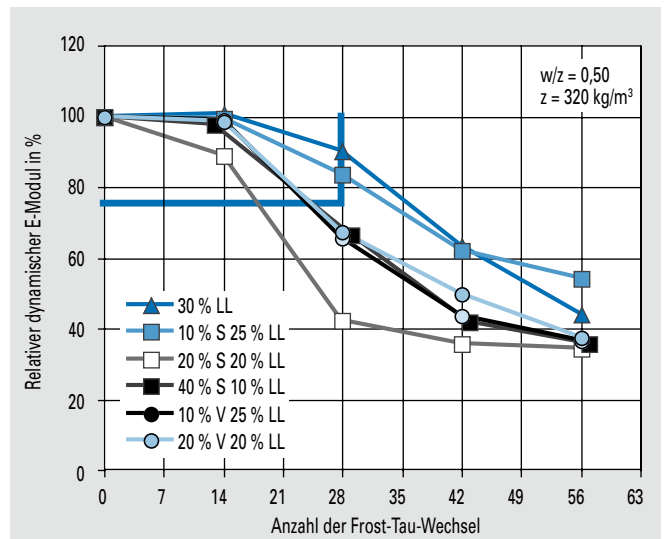


Bild V-10: Relativer dynamischer E-Modul von Betonen im CIF-Verfahren in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel

alter von 35 Tagen bzw. 98 Tagen wasser-gelagert. Betone entsprechend der Expo-sitionsklasse XD2/XS2 wurden mit einem Wasserzementwert $w/z = 0,50$ und einem Zementgehalt $z = 320 \text{ kg/m}^3$ hergestellt. Die ermittelten Chloridmigrationskoeffizienten $D_{Cl,M}$ (Bild V-8) bei Verwendung des Laborzements mit 30 M.-% Kalkstein lagen bei ca. $28 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ im Alter von 35 Tagen bzw. bei ca. $18 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ nach 98 Tagen und damit in der Größenordnung von Betonen mit Portlandzement. Die unter Verwendung flugasche- bzw. hüttsand-haltiger Zemente hergestellten Betone wiesen einen geringeren Chloridmigrationskoeffizienten $D_{Cl,M}$ auf, der in der Größenordnung von ca. 4 bis $24 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ im Alter von 35 Tagen sowie von ca. 3 bis $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ im Alter von 98 Tagen lag.

Frost- und Frost-Tausalz-widerstand
Im Folgenden werden Ergebnisse der Prüfungen des Frostwiderstandes nach dem CF-/CIF-Verfahren sowie Ergebnisse der Prüfungen des Frost-Tausalz-Widerstandes nach dem CDF-Verfahren dargestellt und bewertet. In Deutschland wurden Grenzwerte für Abwitterungen (CF-/CDF-Verfahren) und Grenzwerte für innere Gefügeschädigungen (CIF-Verfahren) von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ festgelegt.

In den durchgeführten Versuchen zeigten die Betone (Zementgehalt $z = 320 \text{ kg/m}^3$, Wasserzementwert $w/z = 0,50$) im CF-Verfahren Abwitterungen deutlich unterhalb des im Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) festgelegten Bewertungskriteriums

von $1,0 \text{ kg/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln (Bild V-9). Das BAW-Bewertungskriterium für das CIF-Verfahren liegt bei einem relativen dynamischen E-Modul von 75 % nach 28 Frost-Tau-Wechseln. Wie im Bild V-10 dargestellt, wiesen die Betone, die unter Verwendung der Zemente mit 30 M.-% Kalkstein bzw. mit 10 M.-% Hüt-tensand und 25 M.-% Kalkstein hergestellt wurden, nach 28 Frost-Tau-Wechseln einen relativen dynamischen E-Modul von mehr als 80 % auf. Bei Verwendung der Zemente mit Zusammensetzungen außerhalb der Norm wurde das Kriterium im Rahmen der im Forschungsinstitut durchgeführten Untersuchungen nicht erfüllt.

Mit dem CDF-Test wird der Widerstand gegenüber einer Frost-Tauwechsel-Beanspruchung bei gleichzeitiger Taumittelbelastung geprüft. In der Regel wird eine definierte

Tausalzlösung (3 %ige NaCl-Lösung) verwendet. Bei der Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonen mit künstlichen Luftporen ist die Oberflächenabwitterung dominant und für die Beurteilung vorrangig. Der Frost-Tausalz-Widerstand wurde an Betonen mit einem Zementgehalt $z = 320 \text{ kg/m}^3$ und einem Wasserzementwert $w/z = 0,50$ geprüft. Die Ergebnisse sind im **Bild V-11** dargestellt. Die Abwitterungen der Betone lagen zwischen $0,35$ und $1,25 \text{ kg/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln und somit unterhalb des für dieses Verfahren eingesetzten Bewertungskriteriums von $1,5 \text{ kg/m}^2$ nach 28 Frost-Tau-Wechseln.

Bild V-12 und **Bild V-13** zeigen vergleichende Ergebnisse weiterführender Untersuchungen an Betonen, die unter Verwendung von Laborzementen sowie Werkzementen hergestellt wurden. Voraussetzung für die großtechnische Herstellung der Werkzemente war eine Anpassung des Herstellungsverfahrens an die vor Ort verfügbaren Ausgangsstoffe. Wie aus den Bildern beispielhaft hervorgeht, wurde die Dauerhaftigkeit der Betone unter Verwendung der Zemente mit 30 M.-% Kalkstein bzw. mit 20 M.-% Flugasche in Kombination mit 20 M.-% Kalkstein teilweise verbessert. Auslagerungsversuche unter Verwendung der Werkzemente unter XF3-Bedingungen werden zeigen, wie sich die Betone in der Praxis verhalten.

Zement und Zusatzmittel ■

Der Einsatz von Betonzusatzmitteln zur Steuerung von Frisch- und Festbetoneigenschaften ist Stand der Technik. Etwa 90 % der in Deutschland hergestellten Betone enthalten Betonzusatzmittel. Im Jahr 2007 betrug der Zusatzmittelverbrauch in Deutschland rd. 12 kg je Tonne Zement. Insgesamt stehen in Deutschland derzeit mehr als 550 Betonzusatzmittel zur Verfügung, die 15 unterschiedlichen Wirkungsgruppen zugeordnet sind. Betonverflüssiger (BV) und Fließmittel (FM) bilden mit einem Anteil von rd. 75 % die größte Gruppe der eingesetzten Betonzusatzmittel.

Über die genauen Wirkungsmechanismen einiger Betonzusatzmittel fehlen heute noch wissenschaftlich begründete Kenntnisse. Der Einfluss von Betonzusatzmitteln auf die Hydratation von Zement und somit auf die Frisch- bzw. Festbetoneigenschaften wird meist empirisch bestimmt und teilweise kontrovers diskutiert. Das gilt insbesondere für Fließmittel auf der Basis von Polycarboxylatethern, für Schwindreduzierer sowie für neuartige synthetische Luftporenbildner. Diese sind Gegenstand

Bild V-11: Abwitterungen von Luftporenbetonen im CDF-Verfahren in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel

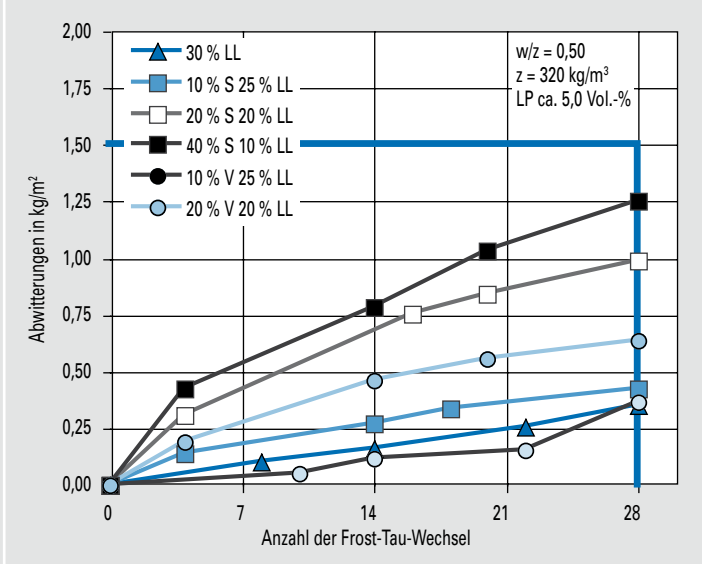


Bild V-12: Chloridmigrationskoeffizienten von Betonen mit Labor- und Werkzementen in Abhängigkeit vom Prüfalter

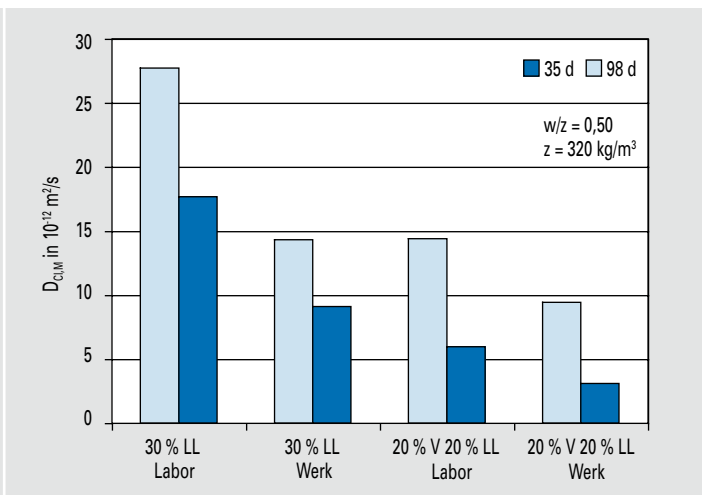
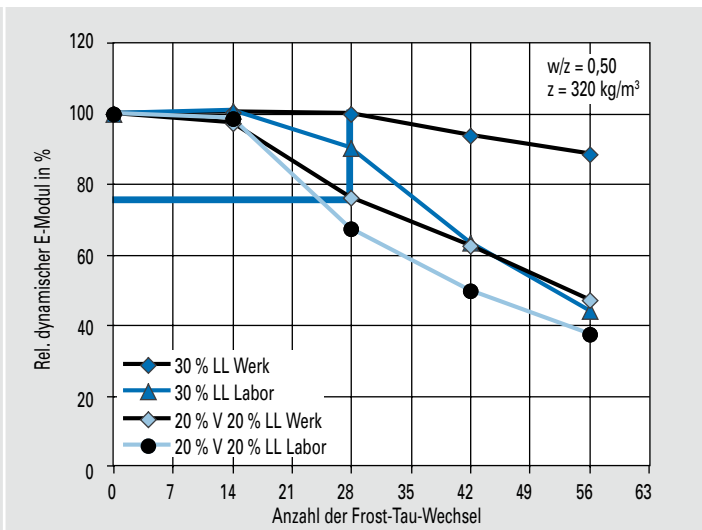


Bild V-13: Relativer dynamischer E-Modul von Betonen mit Labor- und Werkzementen im CIF-Verfahren in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel



umfangreicher Untersuchungen im Forschungsinstitut.

Fließmittel

Synthetische organische Polymere mit Carboxylsäuregruppen, wie Polycarboxylatether (PCE), stellen eine Weiterentwick-

lung auf dem Gebiet der Fließmittelwirkstoffe dar. Etwa 45 % aller verwendeten Fließmittel basieren bereits auf PCE, mit steigender Tendenz. PCE bestehen aus Hauptkettenmolekülen, wie Polyacrylsäure, und Seitenkettenmolekülen, z. B. Polyethylenoxid, die an die Hauptkette gebun-

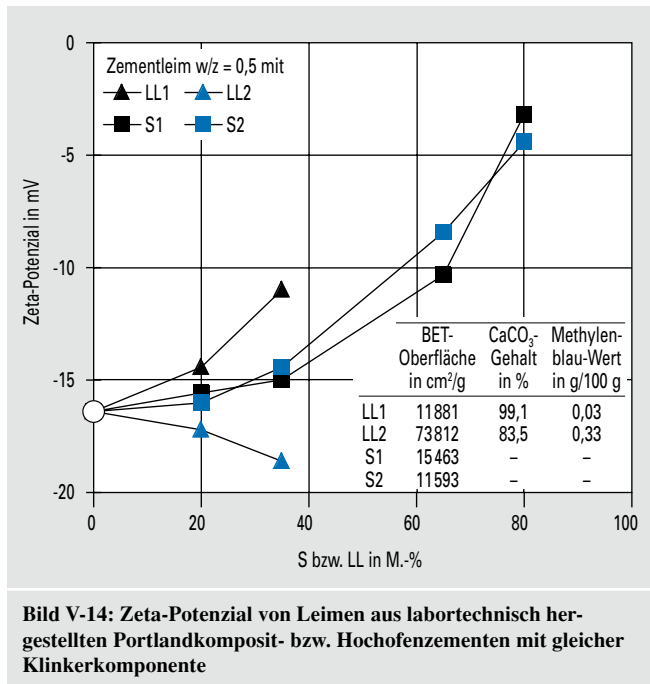


Bild V-14: Zeta-Potenzial von Leimen aus labortechnisch hergestellten Portlandkomposit- bzw. Hochofenzementen mit gleicher Klinkerkomponente

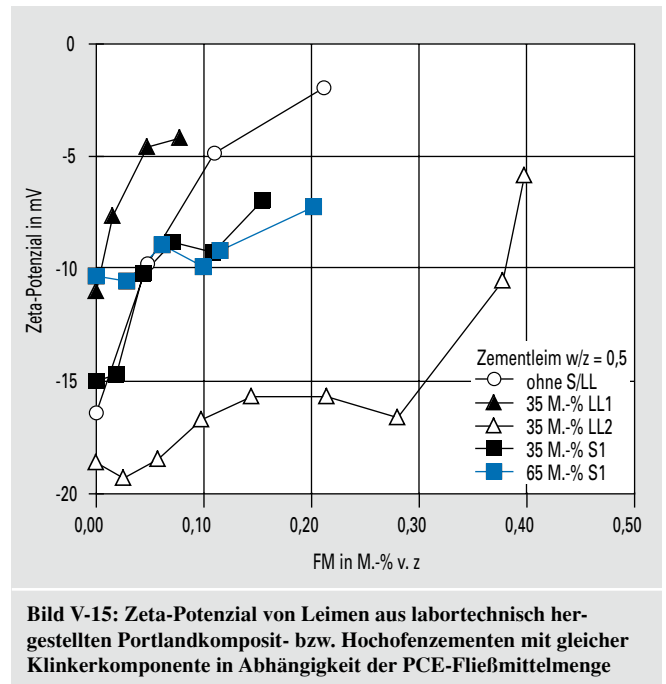


Bild V-15: Zeta-Potenzial von Leimen aus labortechnisch hergestellten Portlandkomposit- bzw. Hochofenzementen mit gleicher Klinkerkomponente in Abhängigkeit der PCE-Fließmittelmenge

den sind. Über die negativ geladene Hauptkette adsorbieren PCE an positiv geladene Oberflächen des Zements und seiner Hydrationsprodukte sowie anderer feiner Feststoffpartikel. Die dispergierende Wirkung ist hauptsächlich auf die sterische, d. h. räumliche Abstoßung der Seitenketten zurückzuführen. Durch Variation der Ladungsdichte und der Länge der Hauptkette bzw. Seitenketten lassen sich unterschiedliche Eigenschaften wie eine starke Anfangsverflüssigung bzw. eine verlängerte Verarbeitungszeit von Frischbeton erzielen.

Neben Parametern wie z. B. dem Zugabezeitpunkt, der Mischzeit und der Frischbetontemperatur beeinflusst auch der Zement die Wirkung von Fließmitteln. Wie die Praxis zeigt, kann ein und dieselbe Fließmittelart und -menge bei Verwendung ein und desselben Zements in ungünstigen Fällen zu schnellem Konsistenzverlust, zu Entmischungen, zu intensivem Bluten bzw. zur Verzögerung der Festigkeitsentwicklung führen. Während Erkenntnisse über Auswirkungen klassischer Fließmittel auf Portlandzement existieren, besteht Forschungsbedarf zu den Wechselwirkungen zwischen Portlandkomposit- bzw. Hochofenzementen und Fließmitteln auf der Basis von Polycarboxylatether.

Im Forschungsinstitut werden die Einflüsse der Zementhauptbestandteile Klinker, Hüttensand und Kalkstein auf die Fließmitteladsorption untersucht. In Verbindung mit rheologischen Messungen wird ermittelt, ob anhand des Zeta-Potenzials Rückschlüsse auf die Anfangsverflüssigung und die

Verflüssigungsdauer von Fließmitteln gezogen werden können. Ziel ist es, Stoffparameter zu ermitteln, deren Kenntnis für ein planmäßiges Zusammenwirken zwischen Zement und Fließmittel notwendig ist, um z. B. Verfärbungen von Sichtbetonoberflächen durch Sedimentationserscheinungen zu vermeiden.

Zeta-Potenzial-Untersuchungen

Das Zeta-Potenzial ist ein elektrokinetisches Potenzial in der Grenzfläche zwischen dem bewegten und dem starren Teil der Doppelschicht, die sich an der Phasengrenze zwischen Festkörpern und wässrigen Lösungen bildet. Das Potenzial gibt Hinweise über die Ladungsverhältnisse an Partikeloberflächen. Über die Veränderung dieses Potenzials bei Zugabe von Fließmitteln kann die Adsorption der Fließmittelmoleküle auf den Oberflächen verschiedener Zementhauptbestandteile untersucht werden. Im Forschungsinstitut kann das Zeta-Potenzial mittels elektroakustischer Messmethode an feststoffreichen Suspensionen mit praxisüblichen w/z-Werten bestimmt werden.

In **Bild V-14** ist der Einfluss verschiedener Anteile an Hüttensand (S1, S2) und Kalkstein (LL1, LL2) auf das Zeta-Potenzial von Leimen aus Laborzementen mit gleicher Portlandzementklinkerkomponente dargestellt. Das Zeta-Potenzial des Leims aus Zement ohne weitere Hauptbestandteile neben Klinker betrug rd. -17 mV.

Das Zeta-Potenzial der hüttensandhaltigen Zementleime verschob sich mit steigendem Gehalt an S1 bzw. S2 in gleicher Weise aus

dem negativen Bereich hin zum isoelektrischen Punkt (0 mV). Hierbei korrelierte die Abnahme des Zeta-Potenzials nicht mit dem steigenden Hüttensandgehalt. Die Hüttensande wiesen in Wasser ein Zeta-Potenzial von größer -15 mV auf. LL1 verminderte das negative Zeta-Potenzial der Leime. Dieser Verlauf ist i. A. bei Kalksteinen mit sehr hohen CaCO₃-Gehalten, die i. d. R. ein positives Zeta-Potenzial in Wasser aufweisen, zu erwarten. Dagegen bewirkte LL2 eine Zunahme des negativen Zeta-Potenzials der Leime. Das ist nach ersten Erkenntnissen auf die tonigen Bestandteile im LL2 zurückzuführen. Die Ergebnisse zeigen, dass Hüttensand bzw. Kalkstein das Zeta-Potenzial von Zementleimen deutlich beeinflussen kann. Die Sorption von Fließmittelmolekülen kann als Folge ebenfalls beeinflusst werden.

In **Bild V-15** ist der Verlauf des Zeta-Potenzials von Leimen ausgewählter Laborzemente mit Hüttensand bzw. Kalkstein bei steigender Fließmittelmenge (PCE, 35,1 M.-% Wirkstoff) dargestellt. Mit zunehmender Menge an anionischem PCE verschob sich das negative Zeta-Potenzial des Leims mit Zement ohne weitere Hauptbestandteile in Richtung des isoelektrischen Punkts. Dieses an sich widersprüchliche Verhalten wird auf eine Verschiebung der Messebene des Zeta-Potenzials durch die adsorbierten PCE-Moleküle zurückgeführt.

Das Zeta-Potenzial des Leims mit Zement mit 35 M.-% S1 bzw. 35 M.-% LL1 wurde bereits durch geringe Mengen Fließmittel in gleicher Weise wie auch beim Zement ohne weitere Hauptbestandteile deutlich

reduziert. Das Zeta-Potenzial des Leims mit Zement mit 65 M.-% S1 wurde durch die Zugabe des Fließmittels nur geringfügig beeinflusst. Vermutlich adsorbierten die Moleküle vorrangig an der Klinkerkomponente und nicht am Hüttensand S1 bzw. Kalkstein LL1.

Das Zeta-Potenzial des Leims mit 35 M.-% LL2 änderte sich bei einer Fließmittel-Zugabe bis rd. 0,3 M.-% v. z nur geringfügig. Dies wird mit der großen Oberfläche der tonigen Bestandteile begründet, an der die Fließmittelmoleküle zu einem gewissen Anteil unspezifisch adsorbierten. Höhere Zugabemengen an Fließmittel führten zu einer deutlichen Verschiebung des Zeta-Potenzials in Richtung des isoelektrischen Punkts.

Schwindreduzierende Zusatzmittel

Schwinden wird durch Feuchtegehaltsänderungen im Beton verursacht, die durch umgebungsbedingte oder innere Austrocknung im Beton zu Veränderungen der inneren Kräfte im Gefüge der Zementsteinmatrix führen. Dabei entstehen Zugspannungen, die ein Zusammenziehen der Zementsteinmatrix bewirken. Schwinden von Beton führt zu Verformungen, die bei Behinderung Spannungen im Betonbauteil hervorrufen können. Dadurch können Risse entstehen, die die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen. Ob das Schwinden von Beton und die möglichen negativen Auswirkungen durch schwindreduzierende Zusatzmittel signifikant vermindert werden können, wird derzeit im Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) untersucht.

Um das Schwinden von Beton zu verringern, wurden in Japan Anfang der 80er Jahre schwindreduzierende Zusatzmittel entwickelt, die seit ca. 1997 auch in Europa eingesetzt werden. Schwindreduzierer (SRA) kommen in Deutschland bislang bei der Herstellung von Estrichen sowie in zementären Zubereitungen zum Einsatz. Da eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für diese Zusatzmittelart derzeit noch nicht vorliegt, dürfen SRA in tragenden Bauteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton bisher nicht verwendet werden.

Im FIZ wurden Untersuchungen über die Wirkungsmechanismen schwindreduzierender Zusatzmittel in einem von der AiF geförderten Forschungsvorhaben durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die schwindreduzierende Wirkung nicht – wie in einigen anderen Untersuchungen vermutet – mit der Reduzierung der Oberflächenspannung der Porenlösung korrelierte. Wirkstoffe der SRA können dazu beitra-

Bild V-16: Gesamtschwinden (oben) und Schwindreduzierung (unten) von Beton mit Portlandzement und w/z = 0,50 bei Trockenlagerung im Klima 20/65; SRA-Dosierung: 4,5 M.-% v. w

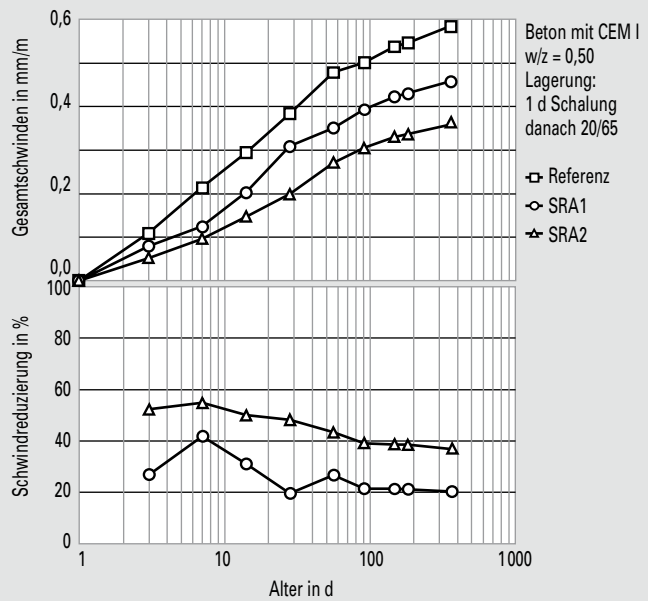
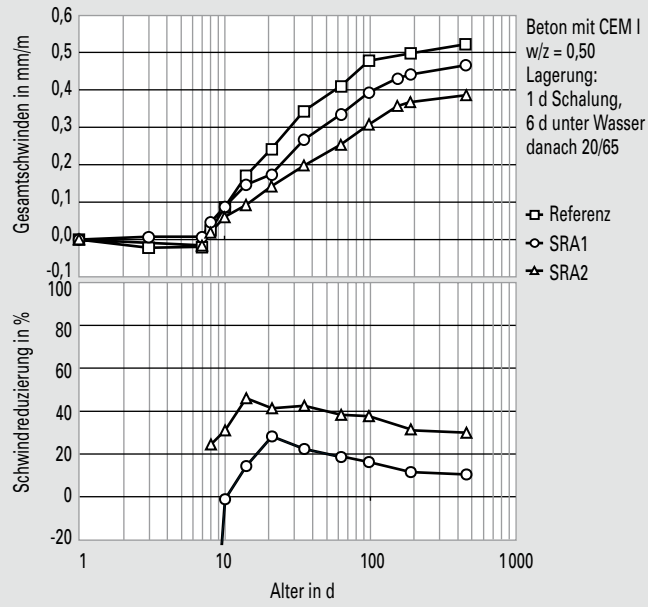


Bild V-17: Gesamtschwinden (oben) und Schwindreduzierung (unten) von Beton mit Portlandzement und w/z = 0,50 bei Lagerung sechs Tage unter Wasser und danach im Klima 20/65, SRA-Dosierung: 4,5 M.-% v. w



gen, dass die sogenannte Spaltdruckwirkung der Porenlösung, durch deren Abbau das Schwinden von Zementstein im Wesentlichen hervorgerufen wird, verstärkt wird. Eine erhöhte relative Feuchte im Zementstein kann die Spaltdruckwirkung der Porenlösung verstärken. Einige Wirkstoffe wiesen jedoch keine schwindreduzierende Wirkung auf. Sie verstärkten das Schwinden von Zementstein sogar, und zwar sowohl unter konservierenden Lagerungsbedingungen als auch bei Trocknung im Klima 20 °C und 65 % rel. Feuchte (Trockenlagerung). Grund hierfür kann u. a. eine im Vergleich zu Zementstein ohne SRA z. T. deutliche Zunahme des Gelporenanteils sein. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird derzeit ein von der AiF gefördertes Anschluss-Forschungsprojekt

durchgeführt. In diesem Projekt wird der Einfluss von SRA auf das Schwinden, die mechanischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit von Beton untersucht.

Einfluss von SRA auf das Schwinden von Beton

Erste Ergebnisse zeigen, dass die Frischbetoneigenschaften durch SRA unabhängig vom Wasserzementwert und Zementleimgehalt nicht signifikant beeinflusst wurden.

Das Gesamtschwinden von Beton mit Portlandzement CEM I 42,5 R kann in Abhängigkeit vom Zementleimgehalt und der Lagerungsart durch SRA um bis zu rd. 40 % reduziert werden. In Bild V-16 ist exemplarisch das Gesamtschwinden (oben) und

die Schwindreduzierung (unten) bei Lagerung im Klima 20 °C und 65 % rel. Feuchte (Klima 20/65) dargestellt. Die Schwindreduzierung ist hierbei das auf die Referenzprobe ohne SRA bezogene Schwinden von Betonen mit SRA. Bei der Lagerung (L1) trocknen die Probekörper bereits direkt nach dem Ausschalen im Alter von 24 Stunden aus. Das Gesamtschwinden wurde durch die Schwindreduzierer SRA1 bzw. SRA2 nach einem Jahr um rd. 20 % bzw. rd. 40 % reduziert (s. Bild V-16, unten). In **Bild V-17** ist das Gesamtschwinden (oben) und die entsprechende Schwindreduzierung (unten) von Beton mit Portlandzement CEM I 42,5 R bei Lagerung sechs Tage unter Wasser und anschließender Lagerung im Klima 20/65 (L2) dargestellt. Im oberen Bild ist zu erkennen, dass die Nachbehandlung der Betone in Wasser nur einen geringen Einfluss auf das Schwindmaß im Alter von einem Jahr hatte. Die jeweilige Schwindreduzierung (s. Bild V-17, unten) war bei Feuchtlagerung bis zum Alter von sieben Tagen im Vergleich zur Trockenlagerung nach einem Jahr etwas geringer und betrug rd. 10 % mit SRA1 und rd. 30 % mit SRA2. Ob dieses Verhalten auch bei Betonen mit anderen Zementen und anderen Wasserzementwerten auftritt, wird derzeit in dem Forschungsprojekt untersucht. Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der SRA auf das Schwinden von Beton mit variiertem Zementleimgehalt zeigen, dass das erhöhte Schwindmaß bei steigendem Zementleimgehalt durch SRA herabgesetzt werden kann. Somit können zementleimreiche, gut verarbeitbare Betone mit geringem Schwindmaß hergestellt werden.

Einfluss von SRA auf die mechanischen Eigenschaften von Beton

Aus einer Reihe von Veröffentlichungen geht hervor, dass die Druckfestigkeit von Betonen durch SRA reduziert werden kann. Der Einfluss der SRA auf die Betondruckfestigkeit wurde bislang an Betonen mit Portlandzement CEM I 42,5 R untersucht. Die Betone wurden im Klima (L1), (L2) und konserviert (L3) gelagert. Die Betone mit SRA1 und SRA2 wiesen weitestgehend unabhängig vom Alter und von der Lagerungsart eine um bis zu rd. 20 % (SRA2) geringere Betondruckfestigkeit auf als der jeweilige Referenzbeton ohne SRA. Der Beton mit Schwindreduzierer SRA1 wies hierbei in jedem Alter und in allen drei Lagerungen eine höhere Betondruckfestigkeit auf als der Beton mit Schwindreduzierer SRA2.

Der statische E-Modul von Beton mit Portlandzement und einem Wasserzementwert von $w/z = 0,50$ wurde durch die Schwind-

reduzierer SRA1 und SRA2 bei Lagerung L2 um bis zu 7 % im Alter von 91 Tagen herabgesetzt. Die Biegezugfestigkeit war bei Lagerung L1 im Alter von 2 Tagen um rd. 12 % (SRA2) bzw. rd. 20 % (SRA1) höher als bei dem Beton ohne SRA. Dagegen war die Biegezugfestigkeit der Betone mit SRA im Alter von zwei Tagen bei Wasserlagerung um rd. 15 % geringer als bei der Referenzprobe ohne SRA. Im Alter von 91 Tagen war der Einfluss der SRA auf die Biegezugfestigkeit nicht signifikant.

Die Ergebnisse zum Einfluss von SRA auf die mechanischen Eigenschaften von Beton bestätigen die bereits an Zementstein ermittelten Ergebnisse weitestgehend (vgl. VDZ-Tätigkeitsbericht 2005–2007).

Luftporenbildner

Luftporenbildner (LP-Bildner) sollen im Frischbeton viele kleine, gleichmäßig verteilte Luftporen mit einem Durchmesser $\leq 300 \mu\text{m}$ erzeugen. Im erhärteten Beton dienen die Poren als Ausweichraum zum Abbau des beim Gefrieren der Porenflüssigkeit entstehenden Drucks. Außerdem unterbrechen die Luftporen das Kapillarporensystem und verringern die Wasseraufnahme des Betons. Beide Wirkungsmechanismen führen zu einem ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand des Betons. Fahrbahndeckenbeton, der im Winter mit Tausalz beaufschlagt wird, muss als Luftporenbeton (LP-Beton) hergestellt werden. Weitere Anwendungsgebiete sind Brückenkappen, Räumlerlaufbahnen und Betone im Wasserbau (Expositionsklasse XF3).

Die Herstellung eines sachgerechten Luftporenbetons setzt eine Erstprüfung voraus, bei der wesentliche Einflüsse auf die Luftporenbildung aus Betonzusammensetzung, Frischbetontemperatur und Mischdauer festgestellt werden. Entsprechende Regelungen für die Zusammensetzung und Herstellung von Luftporenbeton sind im Regelwerk festgelegt und haben sich in der Vergangenheit bewährt. Klassische Fließmittel auf Melamin-, Naphthalin- und Ligninsulfonatbasis werden bereits seit langem zur Regelung der Konsistenz für die Herstellung von Luftporenbeton eingesetzt.

Bei der gleichzeitigen Verwendung von Luftporenbildner und Fließmitteln auf der Basis von Polycarboxylatether (PCE) hat sich gezeigt, dass die Anforderungen an das Luftporensystem nicht immer erfüllt werden. Danach ist das Luftporengefüge in einigen Fällen nicht stabil, wobei sich der Luftgehalt insgesamt und die Luftporenverteilung verändern können. Vereinzelt

wurden trotz Einhaltung des Gesamtluftgehalts im Frischbeton die Anforderungen an die am Festbeton ermittelten LP-Kennwerte (Abstandsfaktor und Mikro-Luftporengehalt) nicht erreicht. Die zielsichere Einstellung des Mikroluftporengefüges, das Frost- und Frost-Tausalz-Schäden verhindert, ist in diesem Fall nicht mehr gewährleistet. Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) hat zur Aufklärung des Sachverhalts 2006 eine Arbeitsgruppe unter Leitung des FIZ ins Leben gerufen. Zusätzlich wurde mit umfangreichen Forschungsarbeiten begonnen.

Forschung im Forschungsinstitut

Die genauen Wechselwirkungen zwischen LP-Bildnern und Fließmitteln, insbesondere PCE, sind nicht ausreichend bekannt. Daher wurde im Berichtszeitraum im Forschungsinstitut mit den Arbeiten an einem von der AiF geförderten Forschungsvorhaben begonnen. Die Untersuchungen sollen grundlegende Erkenntnisse zu den Wirkungsweisen und Wechselwirkungen der LP-Bildner/Fließmittel-Kombinationen im Zusammenwirken mit Zement liefern. Ziel ist die anforderungsgerechte Herstellung von LP-Beton unter Verwendung von Fließmitteln durch Identifikation von „robusten“ Zusatzmittelkombinationen, die die Luftporenbildung zielsicher ermöglichen.

Mit den unterschiedlichen LP-Bildner/Fließmittel/Zement-Kombinationen wird die Luftporenbildung an Zementleim, Mörtel und Beton untersucht. An Zementleim und Mörtel wird die Luftporen- bzw. Schaumbildung in Abhängigkeit der Zusatzmittel-Zement-Kombination untersucht. Die Sorption der Fließmittel an Zementpartikeln wird mit Leim- und Flotationsversuchen bestimmt. Mit ausgewählten Zusatzmittel-Zement-Kombinationen wird schließlich die Luftporenbildung am Frisch- und Festbeton ermittelt. Dabei werden die LP-Kennwerte am Festbeton bestimmt und der Frost-Tausalz-Widerstand der Betone mit dem CDF-Verfahren geprüft. Das Forschungsvorhaben wird in enger Abstimmung mit dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen durchgeführt. Dort steht u. a. auch die Erforschung von Wechselwirkungen zwischen LP-Bildner und Fließmittel bei Verwendung von Flugasche im Mittelpunkt.

Schaumbildung

Mit ersten Untersuchungen zum Schaumbildungsvermögen von LP-Bildner/Fließmittel-Kombinationen in Zementsuspensionen wurde begonnen. Als Zugabemenge des Fließmittels wurde die maximal zulässige Zugabemenge (3 M.-% v. z) gewählt.

In einem standardisierten Versuchsablauf wurden in einem Standzylinder Wasser, Zement und Zusatzmittel gemischt, feine Luftblasen in die Suspension eingebracht und die Höhe des entstehenden Schaums gemessen. **Bild V-18** zeigt beispielhaft die Schaumbildung in Abhängigkeit der Wirkstoffzugabemenge des LP-Bildners und des Fließmittels (PCE für Transportbeton). Der Versuch wurde abgebrochen, wenn der Schaum aus dem Zylinder herausragt (Schaumhöhe > 16 cm). Dieser Zustand ist durch die Pfeile in Bild V-18 kenntlich gemacht. Zunächst wurde in einem „Referenzversuch“ die Schaumentwicklung eines synthetischen LP-Bildners (syn. Tensid) und eines natürlichen LP-Bildners (modifiziertes Wurzelharz) ohne Verwendung des Fließmittels ermittelt (Nur LP). Danach wurde der Einfluss des Zeitpunkts der Fließmittel-Zugabe untersucht. In einem Fall wurde das Fließmittel vor dem LP-Bildner zugegeben (Erst FM) und im zweiten Fall zuerst der LP-Bildner (Schaumhöhe rd. 8 cm) und dann das Fließmittel (Erst LP). Mit der zweiten Variante sollte auch überprüft werden, ob durch die nachträgliche Fließmittel-Zugabe die Schaumbildung beeinträchtigt wurde.

Bei gleicher Wirkstoffkonzentration wies der LP-Bildner auf synthetischer Wirkstoffbasis eine wesentlich stärkere Schaumbildung auf als der LP-Bildner auf natürlicher Wirkstoffbasis. Außerdem beeinflusste die Reihenfolge der Zugabe der Zusatzmittel die Schaumbildung deutlich. Wenn zuerst mit dem LP-Bildner eine Schaumhöhe von rd. 8 cm erzeugt und anschließend das Fließmittel zugegeben wurde, war die Schaumbildung geringer. Dabei wurde die bereits vorhandene Schaumbildung durch die nachträgliche Fließmittel-Zugabe kaum beeinflusst, da nur ein geringer Rückgang der eingestellten Schaumhöhe von rd. 8 cm festgestellt wurde. Wenn zuerst das Fließmittel und danach der LP-Bildner zugegeben wurde, war die Schaumbildung wesentlich stärker ausgeprägt. Ursache hierfür ist möglicherweise die verringerte Sorption der LP-Bildner-Moleküle an den Zementpartikeln, wenn die Sorptionsplätze bereits durch die zuvor zugegebenen Fließmittel-Moleküle belegt sind. Die zugegebenen LP-Bildner-Moleküle können mehr Luftblasen stabilisieren und die Schaumentwicklung ist größer. Möglicherweise können in der Praxis aufgetretene Effekte bei der Luftporenbildung im Beton u. a. auf solche Unterschiede in der Zugabe-Reihenfolge zurückgeführt werden. Bei der Betonherstellung in der Praxis wird i. d. R. zuerst der LP-Bildner und anschließend das Fließmittel zugegeben.

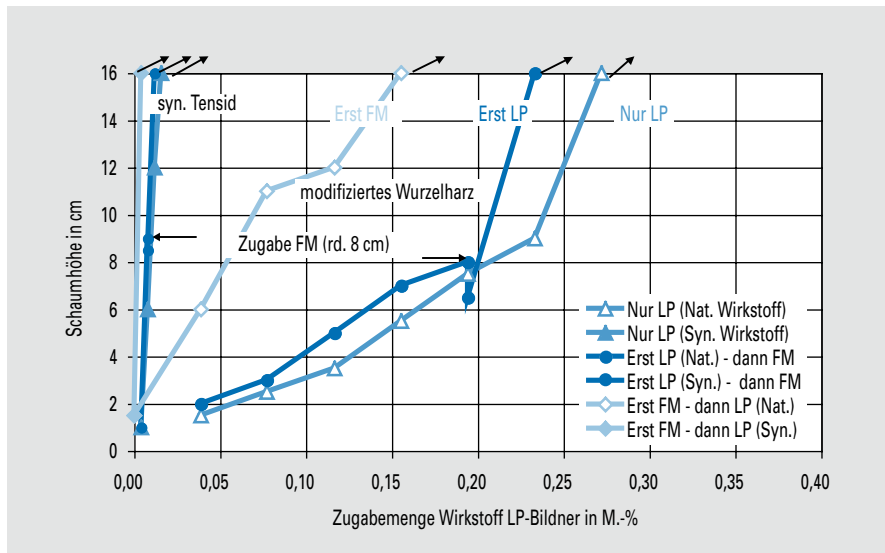


Bild V-18: Schaumbildung in einer Zementsuspension in Abhängigkeit der Art und Zugabemenge des LP-Bildners (LP) und des Zugabezeitpunkts des Fließmittels (FM)

Alkali-Kieselsäure-Reaktion ■

Bei der Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) reagieren alkaliempfindliche, kieselsäurehaltige Bestandteile der Gesteinskörnung mit den Alkalien der Porenlösung im Zementstein. Als Reaktionsprodukt bildet sich ein Alkalikieselgel, das bestrebt ist, Wasser aufzunehmen. Die damit verbundene Volumenvergrößerung wird als Treiben bezeichnet und kann zu Rissen im Beton führen. Eine AKR läuft in vielen Betonen ohne eine Schädigung ab. Die Auslösung und der Ablauf einer schädigenden AKR im Beton sind von Art, Reaktivität, Menge und Korngrößenverteilung der alkaliempfindlichen Gesteinskörnung, vom wirksamen Alkaligehalt in der Porenlösung sowie von einer ausreichenden Feuchtigkeit abhängig. Fehlt eine der drei genannten Voraussetzungen, tritt eine schädigende AKR nicht auf. Sind die Bedingungen für eine schädigende AKR gegeben, so können sichtbare Risse im Beton entstehen. Diese Risse lassen sich jedoch optisch nicht immer einwandfrei von Rissen unterscheiden, die aufgrund anderer Schadensabläufe, z. B. aufgrund eines Frostangriffs, entstanden sind. Wird in Bauteilen eine schädigende AKR vermutet, muss grundsätzlich eine eingehende Untersuchung durch einen Sachverständigen erfolgen, um zu klären, ob eine schädigende AKR vorliegt.

Regelwerk

In Deutschland ist zur Vermeidung von Schäden durch eine AKR in Betonkonstruktionen die Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen eine schädigende Al-

kalireaktion im Beton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) – kurz: Alkali-Richtlinie – anzuwenden. Mit Ausgabe Februar 2007 wurde die neueste Fassung der Alkali-Richtlinie veröffentlicht. Die bauaufsichtliche Einführung der Richtlinie erfolgte mit der Veröffentlichung in der Ausgabe 2008/1 der Bauregelliste A, Teil 1.

Die Richtlinie gliedert sich in drei Teile:
 Teil 1: Allgemeines
 Teil 2: Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint
 Teil 3: Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinskörnungen

Auswirkungen auf das Bauen mit Beton

Die Richtlinie bietet praxisgerechte Lösungen für das Bauen mit Beton, die allerdings auch eingesetzt werden müssen. In diesem Zusammenhang ist die Möglichkeit der Einstufung einer Gesteinskörnung auf der Grundlage einer petrographischen Beschreibung ohne weitere Prüfung als unbedenklich hinsichtlich Alkalireaktion (E I) hervorzuheben. Dies gilt für Gesteinskörnungen, die nicht in der Richtlinie genannt sind oder nicht aus den in der Richtlinie genannten Gewinnungsgebieten stammen. Voraussetzung ist, dass mit der Gesteinskörnung unter baupraktischen Bedingungen keine schädigende AKR aufgetreten ist (**Bild V-19**).

Auch für E II- und E III-eingestufte Gesteinskörnungen bieten sich im Bereich üblicher Betonanwendungen des Hoch- und Ingenieurbaus (Feuchtigkeitsklassen WO, WF und WA) zahlreiche Einsatzmöglichkeiten bei den heute üblicherweise verwen-

Gesteinskörnung ist ■ nicht aus dem Gewinnungsgebiet nach Teil 2 der Alkali-Richtlinie ■ keine gebrochene Gesteinskörnung nach Teil 3 und kein Kies mit mehr als 10 M.-% gebrochener Gesteinskörnung nach Teil 3	
Keine Schäden durch AKR in der langjährigen Anwendung – Petrographische Beschreibung	
E I	
Keine Einschränkungen	
Zemente / Zementgehalte Gesteinskörnungen	
WO, WF, WA, WS ¹⁾	
<small>¹⁾ Verwendung von Fahrbahndeckenzementen Regelungen der TL Beton-StB 07 und ARS sind zu beachten</small>	

Bild V-19: Voraussetzungen für die Einstufung einer Gesteinskörnung auf der Grundlage einer petrographischen Beschreibung ohne weitere Prüfung als unbedenklich hinsichtlich Alkali-reaktion (E I)

die Möglichkeit, flexibel auch auf neue Entwicklungen – wie zuletzt die Einführung der Waschbetonbauweise – reagieren zu können. Die Alkali-Richtlinie wird weiterhin die Beschreibung der Feuchtigkeitsklasse WS enthalten. Die Regelungen für diese Feuchtigkeitsklasse werden aber zukünftig in der TL Beton (vgl. Abschnitt Verkehrswegebau) und ggf. in ARS enthalten sein. Vorbeugende Maßnahmen bei Betonen für Flugbetriebsflächen werden nicht von der Alkali-Richtlinie vorgegeben, sondern müssen durch eine besonders fachkundige Person festgelegt werden, da auf Flugbetriebsflächen spezielle Enteisungsmittel eingesetzt werden.

Gesteinskörnung ist ■ aus dem Gewinnungsgebiet nach Teil 2 der Alkali-Richtlinie				
Prüfung nach Alkali-Richtlinie: Prüfvorschrift nach Teil 2 der Richtlinie				
E I-O/OF		E II-O/OF		EI II-O/OF²⁾
Keine Einschränkungen		Keine Einschränkungen		Keine Einschränkungen
Zemente / Zementgehalte Gesteinskörnungen		Zemente / Gesteinskörnungen		Zemente / Gesteinskörnungen
WO, WF, WA, WS ¹⁾		E II-O		E III-O
		E II-OF		E III-OF
		$z \leq 330 \text{ kg/m}^3$	$z \leq 330 \text{ kg/m}^3$ WO, WF (WA mit NA)	WO (WF mit NA)
		$z \leq 330 \text{ kg/m}^3$ WO, WF (WA mit NA)	$z \leq 330 \text{ kg/m}^3$ WO (WF, WA m. NA)	
<small>¹⁾ Verwendung von Fahrbahndeckenzementen Regelungen der TL Beton-StB 07 und ARS sind zu beachten</small>				
<small>²⁾ Gilt auch für nicht beurteilte Gesteinskörnungen</small>				

Bild V-20: Auswirkungen der AKR auf das Bauen mit Beton bei Verwendung von Gesteinskörnungen nach Teil 2 der Alkali-Richtlinie (z = Zementgehalt, NA = NA-Zement nach DIN 1164-10)

Alkaliempfindlichkeit von Betonzusammensetzungen

Die Alkali-Richtlinie fordert bei Gesteinskörnungen, die als bedingt brauchbar (E II-O, E II-OF) oder bedenklich eingestuft sind (E III-O, E III-OF, E III-S), Maßnahmen in Abhängigkeit von der Feuchtigkeitsklasse des Bauteils und vom Zementgehalt. Dieses sind bisher der Austausch der Gesteinskörnung oder der Einsatz von Zementen mit einem niedrigen wirksamen Alkaligehalt (NA-Zement). Um Gesteinskörnungen oder Zemente nicht unnötig von der Verwendung auszuschließen, kann im Rahmen von Gutachten die Alkaliempfindlichkeit einer Betonzusammensetzung in Performance-Prüfungen untersucht werden. Die Prüfung ermöglicht eine Aussage, ob für einen konkreten Beton in Abhängigkeit von der Exposition (Feuchtigkeitsklasse) die Gefahr besteht, dass eine AKR den Beton schädigt. Betone für die Feuchtigkeitsklassen WA und WS sowie für Flugbetriebsflächen werden zur Simulation der Beaufschlagung mit Tausalz oder Enteisungsmitteln mit einer Alkalizufuhr von außen geprüft.

Gesteinskörnung ist ■ gebrochene Gesteinskörnung nach Teil 3 bzw. Kies mit mehr als 10 M.-% gebrochener Gesteinskörnung nach Teil 3	
Prüfung nach Alkali-Richtlinie Mörtelschnelltest / Nebelkammer	
E I-S	E III-S ²⁾
Keine Einschränkungen	Keine Einschränkungen
Zemente / Zementgehalte Gesteinskörnungen	Zemente / Gesteinskörnungen
WO, WF, WA, WS ¹⁾	$z \leq 300 \text{ kg/m}^3$: WO, WF, WA, WS ¹⁾ $300 < z \leq 350 \text{ kg/m}^3$: WO, WF (WA mit NA) $z > 350 \text{ kg/m}^3$: WO (WF mit NA)
<small>¹⁾ Verwendung von Fahrbahndeckenzementen Regelungen der TL Beton-StB 07 und ARS sind zu beachten</small>	
<small>²⁾ Gilt auch für nicht beurteilte Gesteinskörnungen</small>	

Bild V-21: Auswirkungen der AKR auf das Bauen mit Beton bei Verwendung von Gesteinskörnungen aus dem Gewinnungsgebiet nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie (z = Zementgehalt, NA = NA-Zement nach DIN 1164-10)

In Deutschland werden als Performance-Prüfverfahren zurzeit der 60 °C-Betonversuch mit und ohne Alkalizufuhr von außen und das Verfahren der Klimawechsellagerung eingesetzt. Die Verfahren sollen ggf. in einem zukünftigen Teil 4 der Alkali-Richtlinie aufgenommen werden. Vergleichende Untersuchungen zur Performance-Prüfung am FIZ (60 °C- Betonversuch ohne und mit Alkalizufuhr von außen) und an der Bauhaus-Universität Weimar (Klimasimulationskammer) wurden durchgeführt. Als Grundlage für die Performance-Prüfungen wurde eine praxisnahe Betonrezeptur mit $w/z = 0,42$, $z = 370 \text{ kg/m}^3$, LP-Gehalt: $4,5 \pm 0,5 \text{ Vol.-%}$ gewählt.

deten Betonrezepturen respektive Zementgehalten. Die **Bilder V-20** und **V-21** verdeutlichen für Gesteinskörnungen, die nach Teil 2 und Teil 3 der Alkali-Richtlinie als E II oder E III eingestuft sind, dass in einer Vielzahl von Fällen auch bei diesen Gesteinskörnungen entweder keine Maßnahmen erforderlich sind oder technisch sichere und wirtschaftlich realisierbare Lösungen zur Verfügung stehen. Die Feuchtigkeitsklasse WA gilt dabei für Betonbauteile, die während ihrer Nutzung häufiger oder längere Zeit feucht sind und häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt sind. Beispiele sind z. B.

Bauteile mit Meerwassereinwirkung, Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung, wie z. B. Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern oder Brückenkappen (**Tafel V-3**).

Fahrbahndecken und Flugbetriebsflächen aus Beton erfordern aufgrund ihrer besonderen Beanspruchung eine Sonderstellung im Regelwerk. Für Fahrbahndecken werden daher in den Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) und in der TL Beton-StB auch in Zukunft über die Regelungen der Alkali-Richtlinie hinaus zusätzliche Anforderungen bestehen. ARS bieten

Als variable Größen wurden fünf unterschiedliche alkaliempfindliche Gesteins-

Tafel V-3: Feuchtigkeitsklassen nach Alkali-Richtlinie bzw. DIN 1045-2

Klassenbezeichnung	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen (informativ)
WO	Beton, der nach normaler Nachbehandlung nicht längere Zeit feucht und nach dem Austrocknen während der Nutzung weitgehend trocken bleibt.	Innenbauteile des Hochbaus; Bauteile, auf die Außenluft, nicht jedoch z. B. auf Niederschläge, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte einwirken können und/oder die nicht ständig einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80 % ausgesetzt werden.
WF	Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist.	Ungeschützte Außenbauteile, die z. B. Niederschlägen, Oberflächenwasser oder Bodenfeuchte ausgesetzt sind; Innenbauteile des Hochbaus für Feuchträume, wie z. B. Hallenbäder, Wäschereien und andere gewerbliche Feuchträume, in denen die relative Luftfeuchte überwiegend höher als 80 % ist; Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, wie z. B. Schornsteine, Wärmeübertragerstationen, Filterkammern und Viehställe; Massige Bauteile gemäß DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, deren kleinste Abmessung 0,80 m überschreitet (unabhängig vom Feuchtezutritt).
WA	Beton, der zusätzlich zu der Beanspruchung nach Klasse WF häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist.	Bauteile mit Meerwassereinwirkung; Bauteile unter Tausalzeinwirkung ohne zusätzliche hohe dynamische Beanspruchung (z. B. Spritzwasserbereiche, Fahr- und Stellflächen in Parkhäusern); Bauteile von Industriebauten und landwirtschaftlichen Bauwerken (z. B. Güllebehälter) mit Alkalisalzeinwirkung. Betonfahrbahndecken der Bauklasse IV–VI ¹⁾
WS	Beton, der hoher dynamischer Beanspruchung und direktem Alkalieintrag ausgesetzt ist.	Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynamischer Beanspruchung (Betonfahrbahnen der Bauklassen SV und I–III) ¹⁾

¹⁾ Bauklassen nach RStO; laut TL Beton-StB 07

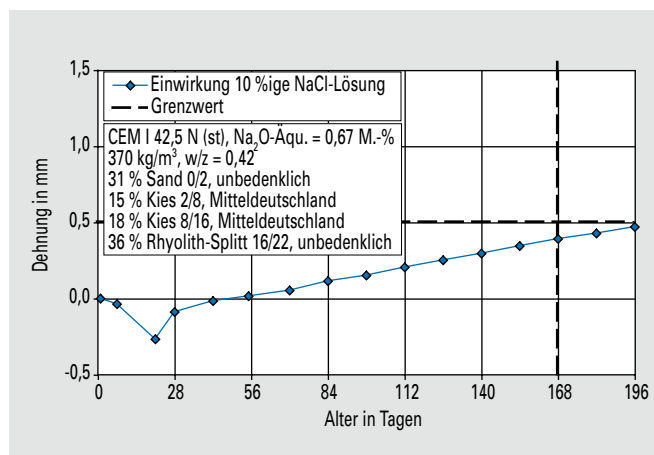


Bild V-22: Dehnung von Beton im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen

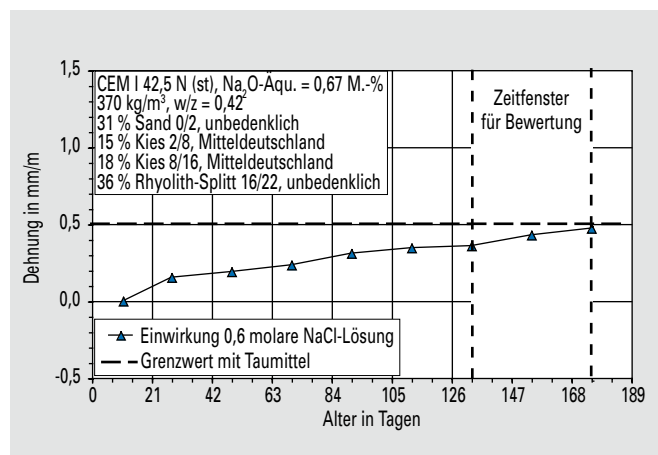


Bild V-23: Dehnung von Beton bei der FIB-Klimawechsellaagerung mit Taumittel-Einwirkung

körnungen sowie vier Portlandzemente CEM I (32,5 R und 42,5 N) mit Na₂O-Äquivalentwerten im Bereich zwischen 0,56 und 0,89 M.-% in das Versuchsprogramm einbezogen. Bild V-22 und Bild V-23 zeigen beispielhaft den Dehnungsverlauf für einen Beton bei Verwendung des 60 °C-Betonversuchs mit 10 %iger Natriumchloridlösung und Klimasimulationskammer mit 0,6 molarer Natriumchloridlösung. Zusammenfassend ergaben die Untersuchungen folgendes Bild:

- Insgesamt zwölf Betonzusammensetzungen für Fahrbahndecken aus Beton

wurden mit der FIB-Klimawechsellaagerung (AKR-Performance-Prüfung) und dem 60 °C-Betonversuch mit und ohne Alkalizufuhr (NaCl) von außen geprüft.

- Bei der Prüfung von Betonen für die Feuchtigkeitsklasse WS in Performance-Prüfungen mit Alkalizufuhr von außen wurden bei elf Betonzusammensetzungen vergleichbare Ergebnisse mit beiden Verfahren gefunden; nur bei einer Betonzusammensetzung ergab sich eine unterschiedliche Bewertung.
- Gleiche Ergebnisse wurden bei der Prüfung von zwölf Betonen für die Feuch-

tigkeitsklasse WF (ohne Alkalizufuhr) gefunden.

Prüfzement

Zur Prüfung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie wird Prüfzement mit einem hohen Alkaligehalt verwendet. Zement, der die Anforderung an Prüfzement nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie erfüllt, ist in Deutschland nicht mehr verfügbar. Das FIZ führte Untersuchungen durch, um zukünftige Anforderungen an Prüfzement zu empfehlen.

Tafel V-4: Zemente und Alkaligehalte

Zement	Zementart	Werk	K ₂ O in M.-%	Na ₂ O in M.-%	Na ₂ O-Äqu. in M.-%
„Prüfzement A“	CEM 32,5 R	C	1,52	0,26	1,26
„Prüfzement B“	CEM 32,5 R	D	1,55	0,18	1,20
Zement 1	CEM 32,5 R	A	1,02	0,20	0,86
Zement 2	CEM 32,5 R	B	1,21	0,13	0,93
Zement 3	CEM 32,5 R	C	1,19	0,24	1,02

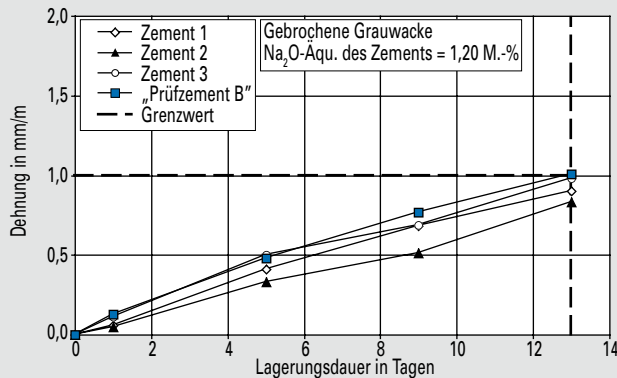


Bild V-24:
Dehnungen von Mörtelprismen im Mörtelschnelltest mit dem Schnellprüfverfahren (Referenzverfahren) nach Alkali-Richtlinie

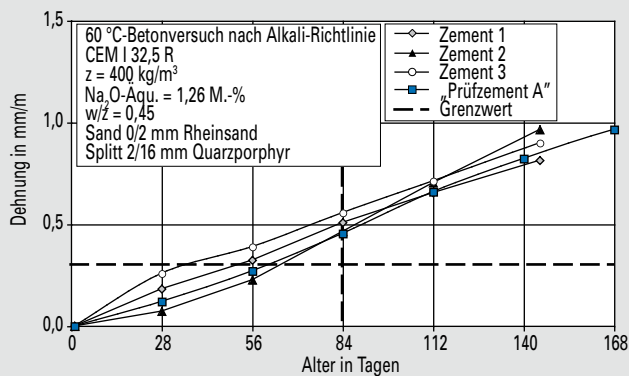


Bild V-25:
Dehnungen von Betonprismen im 60 °C-Betonversuch von Beton mit verschiedenen Zementen und einem Na₂O-Äquivalent von 1,26 M.-% bezogen auf den Zement

Dazu wurden drei Portlandzemente mit einem Na₂O-Äquivalent von $0,90 \pm 0,15$ M.-% ausgewählt (Tafel V-4). Die Zemente wurden mit Kaliumsulfat auf ein Na₂O-Äquivalent von 1,20 bzw. 1,26 M.-% (Alkaligehalte der früheren Lieferchargen des Prüfzements, nachfolgend mit Prüfzement A bzw. Prüfzement B bezeichnet) aufdotiert.

Mit den dotierten Zementen wurden Zementsteine hergestellt. Die chemische Zusammensetzung von ausgepressten Porenlösungen und überstehenden Lösungen gemäß TGL 28104/17 wurde bestimmt. Die pH-Werte der dotierten Zemente waren mit denen des „Prüfzements A“ vergleichbar. Die Zugabe von Kaliumsulfat ist geeignet, um einen vergleichbaren pH-Wert in der

Porenlösung zu erzielen wie mit undotiertem Zement.

Mörtelschnelltests mit dem Schnellprüfverfahren (Referenzverfahren) wurden unter Verwendung einer gebrochenen Grauwacke und der dotierten Zemente durchgeführt. Die Untersuchungen würden in allen Fällen zur gleichen Einstufung der Gesteinskörnung in die Alkaliempfindlichkeitsklasse EI-S führen (Bild V-24). Die Schnellprüfung mit dem Zement 3 reproduzierte die Ergebnisse der Schnellprüfung mit dem Prüfzement am besten.

Betonversuche bei 60 °C über Wasser nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie, informativer Anhang B, wurden mit gebrochenem Quarzporphyr durchgeführt (Bild V-25).

Im Fall der dotierten Zemente lagen die Dehnungen im Alter von 84 Tagen mit 0,47 mm/m, 0,51 mm/m und 0,56 mm/m geringfügig über der Dehnung von 0,45 mm/m für den „Prüfzement A“. Mit Zement 3 trat die höchste Dehnung auf. Die Gesteinskörnung wurde im Betonversuch bei 60 °C über Wasser unter Verwendung der dotierten Zemente wie mit dem undotierten „Prüfzement A“ als alkaliempfindlich identifiziert.

Auswirkung der Alkaliempfindlichkeit von Prüfсандen auf die Bewertung potenziell alkaliempfindlicher Gesteinskörnungen

Die Alkali-Richtlinie sieht zur Prüfung von potenziell alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen u. a. Betonversuche vor, bei denen der zu prüfende Splitt im Korngrößenbereich von > 2 mm eingesetzt wird. Als Kornfraktion < 2 mm ist ein „inertes Natursand“ zu verwenden. Aus dem Beton werden Prüfkörper hergestellt, die in Gesteinskörnungsprüfungen (Betonversuche mit Nebelkammerlagerung (40 °C), 60 °C-Betonversuch) untersucht werden.

Bei einer früheren Prüfung einer Gesteinskörnung in Kombination mit verschiedenen Sanden wurden am Beton Unterschiede im Dehnungsverhalten beobachtet, die ggf. auf eine Alkaliempfindlichkeit der eigentlich als inert angesehenen, quarzreichen Sandfraktion in der Laborprüfung zurückzuführen sind. Nach dem jetzigen Kenntnisstand gibt es keine ausreichenden Kriterien, die die Eignung eines Prüfandes für Gesteinskörnungsprüfungen belegen können. Somit könnten Beurteilungen für grobe Gesteinskörnungen, die unter Einsatz eines nicht geeigneten Sandes erstellt werden, mit systematischen Fehlern behaftet sein.

Zur Quantifizierung der Auswirkungen eines nicht völlig inerten Prüfandes auf die Ergebnisse von AKR-Betonuntersuchungen wurde ein Forschungsvorhaben initiiert, das durch die AiF gefördert wird.

Zunächst wurden quarzreiche Natursande verschiedener Provenienzen ausgewählt, die sich z. B. in ihrer Mineralogie oder Korngrößenverteilung unterscheiden. Weiterhin wurde ein aus reinem Kalkstein gebrochener Splitt < 2 mm als inerte Sand sowie ein aus alkaliempfindlicher Grauwacke gebrochener Splitt gleicher Körnung als reaktiver Sand eingesetzt. Die Charakterisierung der Sande (Petrographie, Alkalilöslichkeit, Kalkbindevermögen) zeigen im Detail zwar Unterschiede, ohne aber eindeutig alkaliempfindliche Sande definieren zu können. Die Prüfung

nach ASTM C289 (lösliche Kieselsäure) leistete ebenfalls keine Differenzierung der Sande. Im Mörtelschnelltest mit dem Referenzprüfverfahren nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie führt der Einsatz der Sande anstelle der gebrochenen Gesteinskörnungen zu z. T. unterschiedlichem Dehnungsverhalten (**Bild V-26**). Alle quarzischen Sande bewirken im Mörtel Dehnungszunahmen, die bei manchen Sorten aber eine degressive Tendenz aufweisen. Andere Sande führen zu einer stetigen Dehnungszunahme, so dass bei verlängerter Prüfdauer sogar die Dehnungsbeträge des Mörtels mit dem reaktiven Grauwackebrechsand übertroffen wurden.

Diese Sande wurden für die Betonversuche ausgewählt und dort mit inertem Kalksteinsplitt oder reaktiven groben Gesteinskörnungen im Verhältnis 30 % Sand zu 70 % Splitt kombiniert. Die Betone wurden mit einem Prüfzement nach Alkali-Richtlinie hergestellt. Die Prüfung der Betone erfolgte gemäß der Alkali-Richtlinie nach Lagerung in der Nebelkammer, in Freilagerung sowie im 60 °C-Betonversuch. Die im Mörteltest angedeutete Reaktivität der Sande wirkte sich unabhängig vom Prüfverfahren nicht auf die Beurteilung der Gesteinskörnungen aus (**Bild V-27**). Lediglich mit dem reaktiven Grauwackebrechsand wurde in Kombination mit inertem Kalksteinsplitt eine Betondehnung erreicht, die im Bereich des vorläufigen Grenzwerts lag. Die Kombination der quarzischen Sande mit den reaktiven Gesteinskörnungen führten zwar teilweise zu geringeren Betondehnungen als bei Verwendung von inertem Kalksteinbrechsand. Trotzdem lagen die Dehnungswerte in jedem Fall deutlich oberhalb der für die Prüfverfahren angesetzten Grenzwerte. Die falsche Bewertung eines alkaliempfindlichen Splitts als unbedenkliche Gesteinskörnung ist also durch eine Reaktivität von quarzitischem Prüfsand nicht zu befürchten. Zur Abschätzung, ob sich die beobachteten, geringen Einflüsse ggf. bei der Performance-Prüfung von Betonzusammensetzungen auswirken, werden zurzeit weitere Untersuchungen mit Fahrbahndeckenzement (CEM I mit Na₂O-Äqu. ≤ 0,80 M.-%) und CEM II/B-S durchgeführt.

Auslagerungsversuche

Wie bei allen dauerhaftigkeitsrelevanten Prüfungen an Betonen im Labor muss die Frage nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse der Laborprüfungen auf das Verhalten der Betone in der Praxis gestellt werden. Das EU-PARTNER-Projekt, teilweise finanziert durch die Europäische Gemeinschaft, hatte das übergeordnete Ziel, ein ein-

Bild V-26:
Dehnungen von Mörtelprismen im Mörtelschnelltest mit dem Schnellprüfverfahren (Referenzverfahren) nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie für unterschiedliche Sande

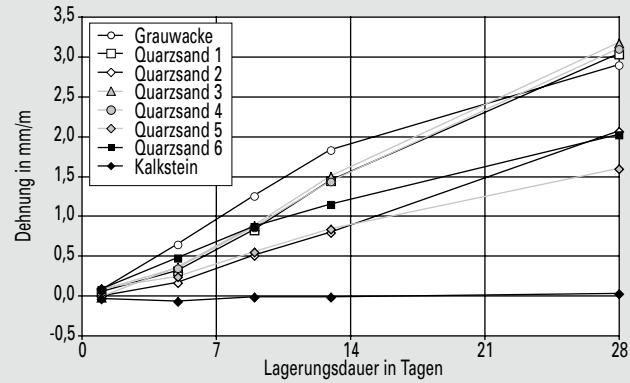
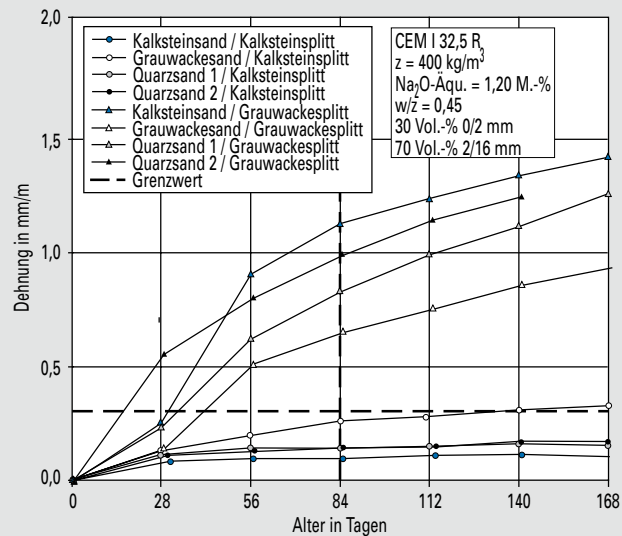


Bild V-27:
Dehnungen von Betonprismen im 60 °C-Betonversuch für unterschiedliche Kombinationen aus Sand und Splitt



heitliches Verfahren zur Bestimmung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen zu erarbeiten. Im Projekt wurde die Eignung von RILEM-Prüfverfahren und einigen regionalen Prüfverfahren mit unterschiedlichen Gesteinskörnungen bzw. Gesteinskörnungsarten, die in Europa gewonnen werden, untersucht. Die Ergebnisse der beschleunigten Laboruntersuchungen wurden mit dem Verhalten dieser Gesteinskörnungen in realen Betonbauwerken und in Betonprobekörpern in Außenlagern verglichen. Das Forschungsinstitut leitete das Teilprojekt mit Außenlagerungsversuchen.

Um den Einfluss unterschiedlicher klimatischer Bedingungen in Europa zu berücksichtigen, wurde das Verhalten von Betonprobekörpern in verschiedenen Außenlagern untersucht. Dabei wurde auch der Frage nachgegangen, ob Beton, der teilweise in Wasser steht, schneller und stärker infolge einer AKR geschädigt wird als Beton, der ausschließlich dem Niederschlag ausgesetzt ist. Laborversuche hatten in der Vergangenheit zudem gezeigt, dass Betonproben sich stärker dehnen, wenn sie Tausalzungen anstelle Wasser ausgesetzt sind. Es wird daher im Allgemeinen davon ausgegangen, dass Tausalze eine schädli-

gende AKR in Betonen mit reaktiven Gesteinskörnungen begünstigen können.

Für die Außenlagerungsversuche wurden für jedes Gesteinskörnungsgemisch bzw. jede Gesteinskörnung Betonwürfel in einem Labor hergestellt und diese anschließend zu den Laboren bzw. Außenlagern der beteiligten Partner transportiert. 13 Gesteinskörnungsgemische, mit denen in fünf Laboren Beton hergestellt wurde, wurden in acht unterschiedlichen Außenlagern von Norwegen bis Spanien beobachtet und untersucht. (**Bild V-28**). In Schweden lagern Probekörper in einem Wald in Borås und neben einer Autobahn zwischen Borås und Göteborg, um den zusätzlichen Einfluss einer Alkalizufuhr von außen zu untersuchen.

Je Außenlager wurden zwei 300 mm Betonwürfel für jedes zu prüfende Gesteinskörnungsgemisch hergestellt. Die Betonzusammensetzung entsprach der der Betonbalken der RILEM-Tests AAR-3 (Betonversuch bei 38 °C) bzw. AAR-4 (Betonversuch bei 60 °C). Die Probekörper wurden mit einem Zementgehalt von 440 kg/m³ und einem Portlandzement mit einem hohen Alkaligehalt (1,26 M.-% Na₂O-Äquivalent) hergestellt. Zur Erfas-



Bild V-28:
Außenlager

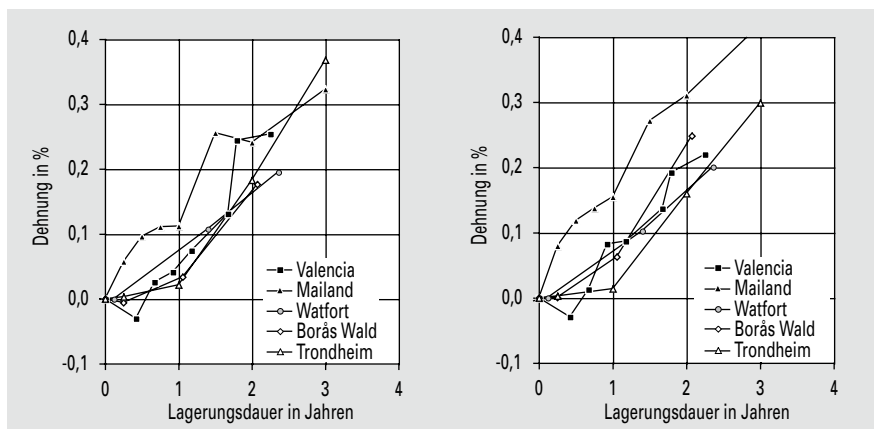


Bild V-29: Durchschnittliche Dehnung von Betonwürfeln B1(C+NRF). Links: Die Unterseite des Würfels steht rd. 5 cm tief im Wasser. Rechts: Der Würfel ist ausschließlich dem Niederschlag ausgesetzt.

sung einer möglichen Schädigung infolge einer AKR wurden die Längenänderungen auf der Oberseite und auf zwei aneinander grenzenden Seitenflächen sowie die Rissbreite periodisch gemessen.

Im Jahr 2008 lagerten die Probekörper rd. vier Jahre im Außenlager. Dieser Zeitraum ist für langsam reagierende Gesteinskörnungen zu kurz, um eine schädigende AKR zu verursachen. Deshalb sind nur vorläufige Schlussfolgerungen möglich. **Tafel V-5** fasst die aktuellen Ergebnisse der Auslagerungsversuche und der Laborprüfungen zusammen, um sie vergleichen zu können.

Die Ergebnisse der beschleunigten Laborprüfungen wurden anderen Teilprojekten des PARTNER-Projekts entnommen.

Die Betonwürfel mit dem Gesteinskörnungsgemisch B1(C+NRF) zeigten starke Dehnungen > 0,04 % (**Bild V-29**) und Risse mit einer maximalen Rissweite von $\geq 0,20$ mm in allen Außenlagern von Norwegen bis Spanien unabhängig von der Art der Lagerung.

Die Gesteinskörnungsgemische D2, G1, N1 und UK1 zeigten stärkere Dehnungen und größere Risse in milden (Düsseldorf,

Watford) und in warmen Klimaten (Mailand, Valencia). **Bild V-30** verdeutlicht dies für das Gesteinskörnungsgemisch N1, das starke Dehnungen in Valencia, Düsseldorf und Watford zeigte, sich aber bisher nicht in kalten Klimaten (Borås, Trondheim) dehnte. Die Zunahme der Dehnung war in Südeuropa (Valencia) höher als in Mitteleuropa (Düsseldorf, Watford). **Bild V-31** zeigt die Dehnung des Gesteinskörnungsgemischs G1, das Kies-Edelsplitt vom Oberrhein enthält.

Die Ergebnisse deuten an, dass eine schädigende AKR in Nord- und Südeuropa in der gleichen Weise und nur mit dem Unterschied auftritt, dass die Reaktion bei gleicher Betonzusammensetzung in Südeuropa früher stattfinden kann, was wahrscheinlich auf die höhere Durchschnittstemperatur zurückzuführen ist.

Es ist erwähnenswert und überraschend, dass sich häufiger die Proben stärker dehnten und größere Risse zeigten, die nur dem Niederschlag ausgesetzt sind als jene, die zusätzlich teilweise in Wasser lagern.

Bisher sind keine Unterschiede im Verhalten der Betone erkennbar, die in einen Wald in Borås (ohne Alkalizufuhr) und am Rand einer Autobahn zwischen Borås und Göteborg (mit Alkalizufuhr von außen) lagern.

Die langsam reagierenden Gesteinskörnungen IT2, N2, N4, S1 und P1 sowie die alkaliunempfindlichen Gesteinskörnungen F1 und F2 zeigten nach vier Jahren Lagerung im Außenlager keine erkennbaren Dehnungen oder Risse.

Eine der Schlussfolgerungen des PARTNER-Projekts war, dass in den meisten Fällen die RILEM-Prüfverfahren geeignet waren, die Alkaliempfindlichkeit der untersuchten Gesteinskörnungen zu identifizieren (Tafel V-5). Die Tests haben sich besonders zur Identifizierung von Gesteinskörnungskombinationen bewährt, die entweder in einem „normalen“ Zeitraum (d. h. fünf bis 20 Jahre) reagieren oder alkaliunempfindlich sind. Weniger Gewissheit bestand bei der Identifizierung von langsam reagierenden Gesteinskörnungen, die nach mehr als 20 Jahren reagieren. Ob diese Erfahrungen verallgemeinert werden können, muss durch weitere Untersuchungen verifiziert werden. In den Fällen, in denen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Laborprüfungen und den Praxiserfahrungen auftraten, werden sie im Allgemeinen entweder auf Schwankungen im Gesteinskörnungsvorkommen, auf pessi-

Tafel V-5: Vergleich von Ergebnissen von Laborversuchen mit dem Verhalten in den Auslagerungsversuchen und in der Praxis. Die Ergebnisse wurden anderen Teilprojekten des PARTNER-Projekts entnommen.

Gesteinskörnung	Fraktion/ Kombination	Reaktivität/Bewertung							Reaktivität in Bauwerken?
		AAR-1	AAR-2	AAR-3	AAR-4/ AAR- Alt	TI-B51/ Chat- terji	Deutsch- land/ Norwegen	Außen- lagerungs- versuch nach 4 Jahren*	
„Normal“ reaktive Gesteinskörnungsgemische									
B1 - Kieselkalk	F	R	R			R/R			ja
	C	R							
	C+F			R	R/R		R/R	R	
	C+NRF			R	R/R			R	
UK1 - Grauwacke	F	R	R			R/R			ja
	C	R							
	C+F			R	R/R		R/R	R	
G1 - Kies-Edelsplitt mit Kieselkalk und Chert	C	R	R			R/-			ja
	C+NRF			R	R/R		R/-	R	
G2 - Kies mit Opal- sandstein und Flint	C	R	R			R/-			ja
N1 - Kataklastit	C	R	R			R/R			ja
	C+NRF			R	R/R		R/R	R	
D2 - Mariner Kies mit mitteldichtem Flint	F	R	R			R/R			ja, 10–15 Jahre
	C	R	R						
	F+NRC			NR/MR?	R/MR			R	
„Langsam“ reagierende Gesteinskörnungsgemische									
IT2 - Kies mit Quarzit	F	R	R			NR/-			ja, 50 Jahre
	C	R	R						
	C+F			NR	R/R			n.r.	
N2 - Sandstein	C	R	R			NR/R			ja, 15–20 Jahre
	C+NRF			R			-/R	n.r.	
N4 - Kies mit Sandstein und Kataklastit	F	R	R			R/R			ja, 20–25 Jahre
	C	R	R						
	C+F			MR	R/-		MR/MR	n.r.	
Nicht reaktive Gesteinskörnungsgemische									
F1 - Kies mit Flint	C	R	NR			NR/R			nein, aber pessi- males Verhalten bekannt
	C+NRF			NR	NR/NR		NR/-	n.r.	
F2 - Nicht reaktiver Kalkstein	F	NR	NR						nein
	C	NR							
	C+F			NR	NR/NR		NR/NR	n.r.	
S1 - Kies mit Metarhy- olith und Grauwacke	F	R	R			R/R			ja, aber Schwan- kung im Vorkom- men
	C	R							
	C+F			NR	MR/-		NR/MR	n.r.	
P1 - Kieselkalk	C	R	NR			NR/-			ja, aber die In- formationen zur Gesteinskörnung sind unsicher
	C+NRF			NR	MR/MR			n.r.	

- F = feine Gesteinskörnung
- C = grobe Gesteinskörnung
- NRF = nicht reaktive feine Gesteinskörnung (=N3F)
- NRC = nicht reaktive grobe Gesteinskörnung (=F2C)
- R = reaktiv bzw. bedenklich hinsichtlich Alkalireaktion (gemäß der Grenzwerte für die unterschiedlichen Prüfverfahren)
- NR = nicht reaktiv bzw. unbedenklich hinsichtlich Alkalireaktion (gemäß der Grenzwerte für die unterschiedlichen Prüfverfahren)
- MR = geringfügig reaktiv (d. h. die Dehnung war gerade über dem Grenzwert für die unterschiedlichen Prüfverfahren)
- n.r. = eine Bewertung ist noch nicht möglich
- * = Die Bewertung der vorläufigen Ergebnisse der Auslagerungsversuche basiert auf der Messung der maximalen Rissweite nach vier Jahren Lagerung im Außenlager und der Dehnungen während der letzten drei Jahre. (Die Messung der Dehnungen wurde im Jahr 2005 neu gestartet, da in machen Außenlagern Probleme bei der Nullmessung auftraten.)
- AAR-1 = RILEM Verfahren AAR-1: Petrographische Methode
- AAR-2 = RILEM Verfahren AAR-2: Mörtelschnelltest bei 80 °C in 1-molarer Natronlauge
- AAR-3 = RILEM Verfahren AAR-3: Betonversuch bei 38 °C an Betonbalken
- AAR-4 = RILEM Verfahren AAR-4: Betonversuch bei 60 °C an Betonbalken
- TI-B51 = Dänischer Mörtelschnelltest bei 50 °C in gesättigter Natriumchloridlösung
- Chatterji = Chemisches Prüfverfahren nach Chatterji
- Deutschland = Betonversuch an Betonbalken- und Würfeln mit Lagerung in der 40 °C-Nebelkammer nach Alkali-Richtlinie
- Norwegen = Norwegischer Betonversuch bei 38 °C an Betonbalken

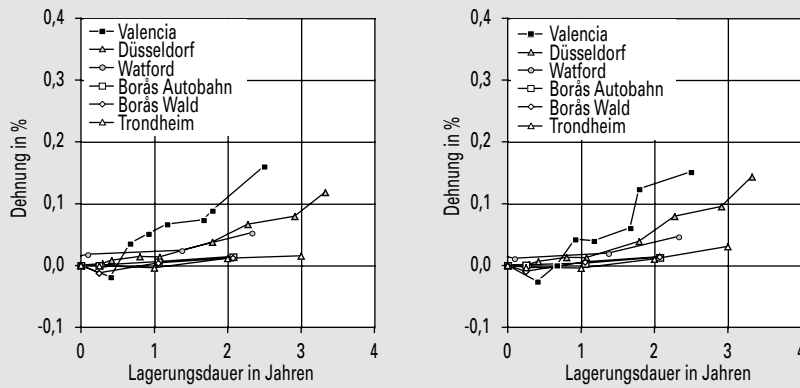


Bild V-30: Durchschnittliche Dehnung von Betonwürfeln N1. Links: Die Unterseite des Würfels steht rd. 5 cm tief im Wasser. Rechts: Der Würfel ist ausschließlich dem Niederschlag ausgesetzt.

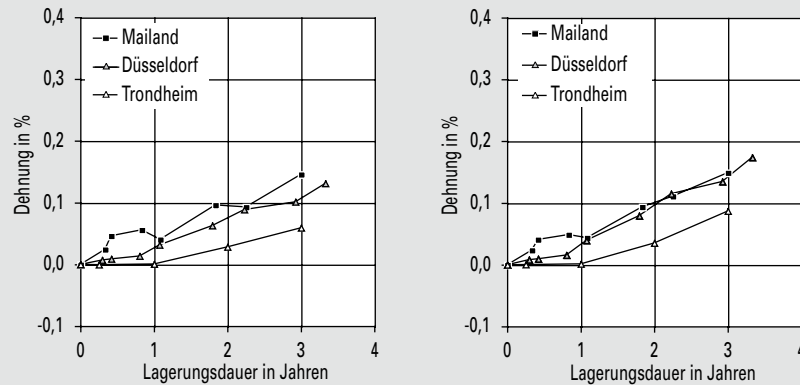


Bild V-31: Durchschnittliche Dehnung von Betonwürfeln G1. Links: Die Unterseite des Würfels steht rd. 5 cm tief im Wasser. Rechts: Der Würfel ist ausschließlich dem Niederschlag ausgesetzt.

males Verhalten oder auf unsichere Informationen zum Praxisverhalten der Gesteinskörnung zurückgeführt. Der Mörtelschnelltest (RILEM AAR-2) und der 60 °C-Betonversuch (RILEM AAR-4) spiegeln in vielen Fällen die Erfahrungen der Praxis wider. Eine Ausnahme bilden anscheinend Gesteinskörnungen mit pessimalem Verhalten. Mit diesen Verfahren stehen somit geeignete Methoden zur Verfügung, um vor dem Hintergrund lokaler Erfahrungen Gesteinskörnungen ohne pessimales Verhalten dort zu beurteilen, wo dieses Schadensfälle in der Praxis notwendig erscheinen lassen.

Sulfatwiderstand ■

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) hat 2006 ein Sonderforschungsvorhaben mit dem Titel „Vertiefte Untersuchungen zum Sulfatwiderstand von Beton“ initiiert. Gefördert durch Mittel des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV), des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB), der VGB Power Tech und des VDZ wurden Versuche zur Absicherung der bestehen-

den Sulfatwiderstandsregelung beim Einsatz flugaschehaltiger Betone begonnen. Insbesondere sollten durch Auslagerungsversuche unter natürlichen Sulfatangriffsbedingungen Ergebnisse von Laborversuchen überprüft werden. Das Versuchsprogramm wurde Ende 2006 gestartet. Nach Ende der zweijährigen Expositionszeit wurden Anfang 2009 die bisher gewonnenen Erkenntnisse in Berichtsform zusammengestellt. Am Forschungsprogramm waren neben dem Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) auch das Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der TU München und das F. A. Finger-Institut für Baustoffe (FIB) der Universität Weimar beteiligt.

Einfluss carbonathaltiger Gesteinskörnung / Prüfung in synthetischen Böden und Wässern
Insbesondere aus England sind Untersuchungsergebnisse bekannt, nach denen Carbonat aus dem Bindemittel oder aus der Gesteinskörnung bei einem Sulfatangriff als Reaktionspartner zu einer schädigenden Thaumasilbildung beitragen kann. Kalksteinhaltige Zemente und kalkstein-

haltige Gesteinskörnungen stehen seitdem unter Verdacht, den Sulfatwiderstand von normgerecht hergestellten Betonen negativ zu beeinflussen. Da zudem bei den üblichen Sulfatwiderstandsprüfungen nur quarzitisches Sande und Kiese eingesetzt werden, fehlten bisher Erfahrungen zum Einfluss einer carbonathaltigen Gesteinskörnung. Aus diesem Grunde wurden im Arbeitspaket des Forschungsinstituts Betonprüfkörper mit quarzitischem und carbonathaltigen Gesteinskörnungen hergestellt und einem praxisnahen Sulfatangriff ausgesetzt. **Tafel V-6** zeigt die Rezepturen der im Forschungsprogramm eingesetzten Betone.

Das Forschungsinstitut führte die Auslagerungsversuche in einem Gips-/Anhydrit-Tagebau in Niedersachsen durch. Insgesamt wurden 60 Betonprüfkörper in einem calciumsulfatgesättigten See bei Stadtoldendorf eingelagert. Nach ein und zwei Jahren Exposition wurden Prüfkörper dem See entnommen und untersucht. Die verbleibenden Prüfkörper sollen möglichst lange (geplant ist eine Auslagerungszeit von zehn Jahren) im sulfathaltigen Seewasser weiter gelagert werden. Erst hierdurch werden Aussagen zum Langzeitverhalten der Betone möglich.

Im zweiten Untersuchungsschwerpunkt des Forschungsinstituts wurden Betonprüfkörper in einem synthetischen Boden einem definierten praxisnahen Sulfatangriff ausgesetzt. Ein 300 l fassender Kunststoffbehälter, Lysimeter genannt, wurde hierzu abwechselnd mit Schichten aus Kalksteinsplitt, Grauwackesplitt und -mehl, Quarzsand und Blumenerde beschickt. In diesen „synthetischen Boden“ wurden die Betonprüfkörper gelagert. Der Sulfatangriff erfolgte durch eine Natriumsulfatlösung (1 500 mg Sulfat/l), mit der das Bodenmaterial gesättigt wurde. In regelmäßigen Abständen wurde die Sulfatlösung abgelassen, damit der Boden trockengelegt und anschließend wieder mit frischer Lösung befüllt werden konnte. Hierdurch wurden natürliche Grundwasserschwankungen simuliert. Die Lagerung erfolgte bei 8 °C und orientierte sich an der mittleren Bodentemperatur in Deutschland.

Ergebnisse

Zu Beginn der Untersuchung und bei jeder Probenbegutachtung wurden Wasserproben genommen und auf ihre Zusammensetzung untersucht. Die Sulfatkonzentration schwankte beim Wasser des Sees zwischen rund 1 500 und 1 800 mg/l. Neben rund 600 mg/l Calcium wurden auch etwa 500 mg/l Natrium und etwa 50 bis 70 mg/l

Tafel V-6: Bezeichnungen und Rezepturen der sechs verwendeten Betone. Angaben in kg/m³ bzw. M.-% des Zements.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Zementart	CEM I-HS	CEM I-HS	CEM III/B	CEM III/B	CEM I	CEM II/A-LL
Zementgehalt	360	360	360	360	327	327
Flugasche	–	–	–	–	82	82
Wasser	180	180	180	180	180	180
Q 0/02	98	–	97	–	–	94
Q 0/2	409	–	407	–	–	393
Q 1/2	80	–	79	–	–	77
Q 2/8	569	–	566	–	–	547
Q 8/16	622	–	619	–	–	698
K 0/2	–	591	–	587,5	569	–
K 2/8	–	591	–	587,5	569	–
K 8/16	–	665	–	661	641	–
Q/K gesamt	1778	1847	1768	1836	1779	1709
FM	–	1 %	–	0,75 %	2 %	–

Q: Quarzitische Gesteinskörnung
K: Carbonatische Gesteinskörnung (Kalkstein)

Magnesium als Kationen vorgefunden (Tafel V-7). Gemäß DIN 4030 gelten Gehalte erst ab 300 mg/l Magnesium als schwach angreifend.

Weder bei den im Lysimeter noch bei den im See gelagerten Betonprüfkörpern konnten am Ende des Beobachtungszeitraums Schäden festgestellt werden (Bild V-32). Es wurden keine Abplatzungen, Risse oder partielle Oberflächenaufweichungen beobachtet. Partielle Oberflächenverfärbungen gehen auf Algenablagerungen und Kontakt zu unterschiedlichem Umgebungsmaterial (z. B. Boden) zurück. In Bild V-33 sind die Druckfestigkeiten der Prüfkörper dargestellt. Bei allen sechs Betonen war auch im zweiten Jahr noch eine Festigkeitszunahme feststellbar. Obwohl keine Schäden erkennbar waren, wurden mittels Rasterelektronenmikroskopie Untersuchungen an randnahen Betonsteingefügen durchgeführt. In allen Betonen wurden ungestörte, dichte Gefüge ohne Anzeichen von Treibreaktionen oder Gefügeentfestigung beobachtet.

Im Unterschied zu den Ergebnissen des Forschungsinstituts ergaben die Auslagerungsversuche des FIB Schäden bei den Betonen auf Basis von Portlandkalksteinzement mit Flugasche (M6). Die im sulfathaltigen Wasser einer Gipshöhle gelagerten Betonprüfkörper zeigten schon nach einem Jahr Abplatzungen und eine Oberflächenentfestigung. Es kam zur Bildung von Ettringit und Thaumasit. Die Gründe für die unterschiedlichen Beobachtungen sollen mit ergänzenden Untersuchungen aufgeklärt werden. Diese Untersuchungen wurden durch den Deutschen

Tafel V-7: Sulfat- und Kationengehalte von Wasserproben aus den beiden Lagerstätten See und Lysimeter

See		Januar 2007	Juli 2007	Januar 2008	Juli 2008	März 2009
Sulfat	mg/l	1825	1744	1482	1774	1477
Calcium	mg/l	–	610	588	656	564
Natrium	mg/l	–	568	527	564	183
Kalium	mg/l	–	12,3	8,2	9,6	6,5
Magnesium	mg/l	–	70,2	61,3	73,8	49,8
Lysimeter		Februar 2007	Juli 2007	Januar 2008	Juli 2008	Januar 2009
Sulfat	mg/l	1449	1197	1537	1514	1152
Calcium	mg/l	235	96	102	115	106
Natrium	mg/l	432	685	788	749	760
Kalium	mg/l	158	62,0	48,7	50,3	37,4
Magnesium	mg/l	–	–	13,3	12,4	17,9

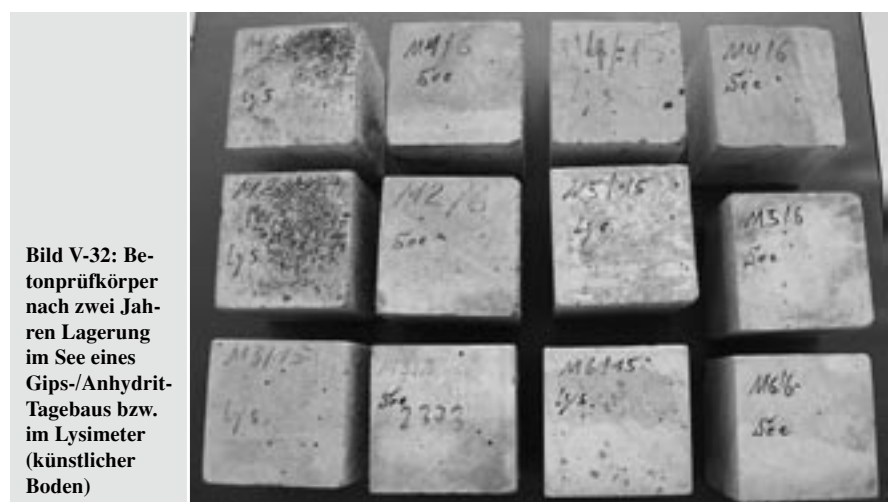


Bild V-32: Betonprüfkörper nach zwei Jahren Lagerung im See eines Gips-/Anhydrit-Tagebaus bzw. im Lysimeter (künstlicher Boden)

Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) gefördert. Beteiligt sind wiederum die zuvor genannten Forschungseinrichtungen. Im Fokus steht insbesondere die gleichzeitige

Einwirkung von Sulfat und Magnesium. Im Berghöhlenwasser (Untersuchung FIB) trat eine Magnesiumkonzentration von bis zu 180 mg/l auf.

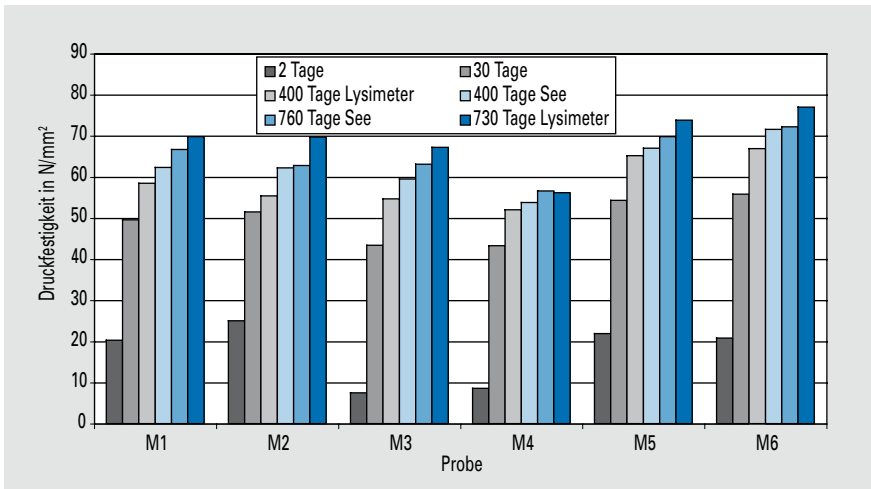


BILD 33: Druckfestigkeitsentwicklung der über zwei Jahre im See bzw. im synthetischen Boden (Lysimeter) gelagerten Betonprüfkörper

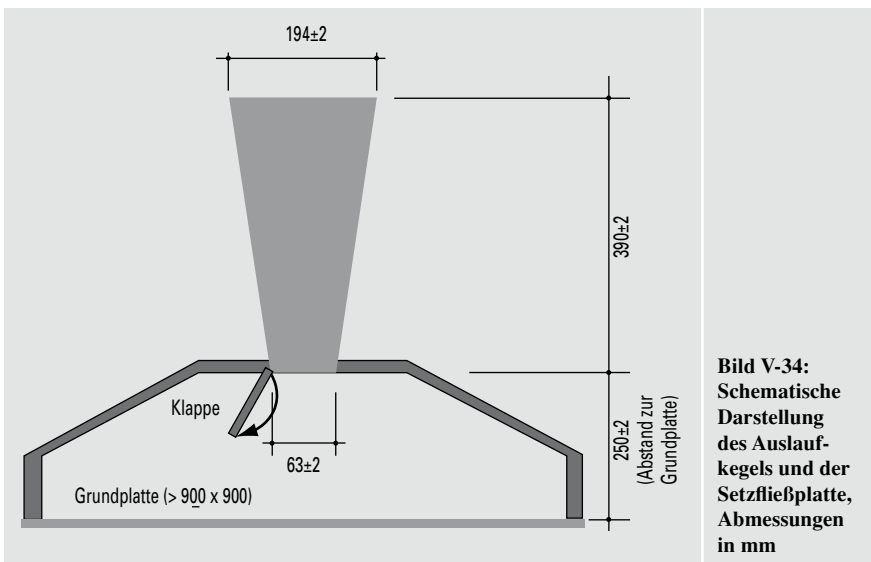


Bild V-34: Schematische Darstellung des Auslaufkegels und der Setzfließplatte, Abmessungen in mm

Tafel V-8: Präzisionsdaten für das mit dem Auslaufkegel ermittelte Kegelsetzfließmaß und die Kegelauflaufzeit in mm bzw. in % bezogen auf den Mittelwert. Werte in Klammern berechnet aus Daten eines europäischen Ringversuchs (Setzfließmaß nach EN 12350-8, Auflaufzeit nach EN 12350-9)

Kegelsetzfließmaß	in mm	in % des Mittelwerts
Wiederholpräzision r	29	3,9 (ca. 2,5–7,5)
Vergleichspräzision R	81	10,8 (6,0)
Kegelauflaufzeit	in s	
Wiederholpräzision r	1,1	20,8 (ca. 30–40)
Vergleichspräzision R	1,4	28,4 (39,0)

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die Kernaussagen des Statuspapiers des DAfStb „Sulfatangriff auf Beton“ aus dem Jahre 2003 Bestand haben: „Bei Beachtung der Normfestlegungen für Beton mit hohem Sulfatwiderstand sind bisher keine Schäden bekannt geworden.“

Selbstverdichtender Beton ■

Zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit selbstverdichtender Betone sind nach der DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ bei der Erstprüfung, der werkeigenen Produktionskontrolle des Herstellers und der Übergabe des Betons auf der

Baustelle das Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit zu prüfen. Dafür sind nach der Normenreihe DIN EN 12350 zwei getrennte Prüfverfahren erforderlich, nämlich der Setzfließversuch (engl. Slump-flow test) nach Teil 8 und der Auslauftrichterversuch (engl. V-funnel test) nach Teil 9. Eine Alternative zu diesen Verfahren bietet der Auslaufkegelversuch (engl. Flow-cone test), mit dem an einer Betonprobe in einem Versuch eine Kegelauflaufzeit und ein Kegelsetzfließmaß bestimmt werden können.

Präzisionsdaten für Auslaufkegel

Der Auslaufkegel (**Bild V-34**) wurde in den Jahren 2002 bis 2006 im Forschungsinstitut der Zementindustrie entwickelt. In früheren Versuchen konnte gezeigt werden, dass das Kegelsetzfließmaß und das Setzfließmaß nach DIN EN 12350-8 nicht signifikant voneinander abweichen. Die Kegelauflaufzeit ist proportional zur Auslaufzeit nach DIN EN 12350-9. Um das Verfahren europäisch normen zu können, fehlte es bislang an den entsprechenden Präzisionsdaten. Diese wurden in einem Ringversuch unter Federführung des Forschungsinstituts ermittelt. Der Ringversuch wurde finanziert durch den Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie, den Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein und den Verein Deutscher Zementwerke.

Es wurden Betonprüfer aus vier Unternehmen der Transportbetonindustrie in das Forschungsinstitut eingeladen. Zusammen mit einem Betonprüfer des Instituts prüften sie zwei Tage lang insgesamt sieben Mischungen eines Selbstverdichtenden Betons (SVB) mit dem Auslaufkegel. Der für die Prüfungen verwendete SVB (Mehlkorn) wies gemäß DIN EN 12350 ein mittleres Setzfließmaß von 770 mm und eine mittlere Auslaufzeit von 5,0 s auf. Für die Ermittlung der Präzisionsdaten nach ISO 5725-2 wurde von einer 5 %igen Irrtumswahrscheinlichkeit ausgegangen. Die Vergleichspräzision R (unterschiedliche Prüfer) und die Wiederholpräzision r (ein Prüfer) ergeben sich dann als 2,78fache Standardabweichung. Zwei Einzelergebnisse unter Wiederhol- bzw. Vergleichsbedingungen unterscheiden sich danach mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit höchstens um den Wert r bzw. R. **Tafel V-8** zeigt die anhand der mittleren Standardabweichung ermittelten Präzisionsdaten für die Prüfung des Kegelsetzfließmaßes und der Kegelauflaufzeit mit dem Auslaufkegel. Die Werte in Klammern zeigen zum Vergleich Ergebnisse eines Ringversuchs für entsprechende Prüfungen nach DIN EN 12350 Teil 8 und 9.

Ultrahochfester Beton ■

Aufgrund seines sehr dichten Gefüges ist Ultrahochfester Beton (UHFB) im ungeschädigten Zustand sehr dauerhaft. Allerdings ist bislang nicht geklärt, ob und unter welchen Umständen es aufgrund des hohen autogenen Schwindens zu einer die Dauerhaftigkeit beeinträchtigenden Rissbildung kommen kann. Bereits seit Ende 2005 wird das Forschungsinstitut der Zementindustrie von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Nachhaltiges Bauen mit Ultrahochfestem Beton“ gefördert, um diesen für die Praxis wichtigen Aspekt zu erforschen.

Freies autogenes Schwinden

Das autogene Schwinden ist die überwiegende Schwindkomponente bei Betonen, die deutlich weniger Wasser enthalten, als für die vollständige Reaktion ihrer hydraulisch reaktiven Bestandteile erforderlich wäre. Dies trifft besonders auf UHFB zu. Hier liegt der äquivalente Wasserzementwert i. d. R. zwischen 0,15 und 0,25. Der überwiegende Teil des autogenen Schwindens findet in den ersten 24 bis 48 Stunden statt. Da seine Ursache eine innere Austrocknung ist und UHFB ein sehr dichtes Gefüge hat, kann das autogene Schwinden durch äußere Nachbehandlung nur unwesentlich beeinflusst werden. Werden die Verformungen, wie in der Praxis häufig der Fall, behindert, kann es zu erheblichen Zwangsspannungen und zu einer hohen Rissneigung kommen.

Beginn und Messung des autogenen Schwindens

Das autogene Schwinden ist ein Teil des chemischen Schwindens. Letzteres setzt mit dem Kontakt von Wasser und Zement ein; die bei der Hydratation entstehenden Reaktionsprodukte nehmen ein kleineres Volumen ein als die Ausgangsstoffe. Das autogene Schwinden beginnt, sobald sich ein festes Porensystem ausbildet und die relative Feuchte in den zunächst wassergesättigten Poren aufgrund fortschreitender Hydratation sinkt. Die innere Austrocknung des zunehmend festeren Gefüges bewirkt eine makroskopische Volumenverringerng.

Es ist äußerst schwierig, genau zu bestimmen, wann die innere Austrocknung beginnt. Daher werden experimentelle Konventionen verwendet, um das autogene chemische Schwinden vom davor stattfindenden chemischen Schwinden abzugrenzen. Der mit ihrer Hilfe festzulegende, betonspezifische und temperaturabhängige

Tafel V-9: Untersuchte Betonzusammensetzungen (Angaben in kg/m³)

	1 A	1A SAP	1 A SRA	1A HSM
Zement (z) ¹⁾	800	800	800	200
Zugabewasser (w)	168	168	168	176
Silicastaub (s) ²⁾	130	130	130	130
Fließmittel ³⁾	24	24	24	13
Quarzsand ⁴⁾	1019	1019	1000	1019
Quarzmehl ⁵⁾	220	220	220	220
SAP ⁶⁾	–	2,4	–	–
SRA ⁷⁾	–	–	7,56	–
Hüttensandmehl	–	–	–	600

¹⁾ CEM I 52,5 R-HS/NA

²⁾ 16,2 M.-% v. z.; Anteil an amorphem SiO₂ ca. 98 %

³⁾ auf Basis von Polycarboxylatether (3,0 M.-% v. z)

⁴⁾ Korngröße 0,125–0,5 mm

⁵⁾ Korngröße 0–0,125 mm

⁶⁾ Super-absorbierende Polymere (0,3 M.-% v. z)

⁷⁾ Schwindreduzierendes Zusatzmittel (4,5 M.-% v. w)

Beginn des autogenen Schwindens wird als „time-zero“ (t₀, Nullzeitpunkt) bezeichnet. Der Definition des Japan Concrete Institute gemäß ist der Erstarrungsbeginn per Nadelpenetrationsverfahren zu ermitteln. Ähnlich häufig wird jedoch auch das Erstarrungsende als Kriterium verwendet. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere Methoden zur Bestimmung von time-zero vorgeschlagen, u. a. die Schwindrate, die Ultraschalllaufzeit und der Temperaturverlauf. Je nach verwendetem Kriterium kann sich der Beginn und damit das Ergebnis des autogenen Schwindens deutlich unterscheiden.

Eine weitere Schwierigkeit stellt die Messung dar. Weltweit existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Prüfverfahren, bei denen das autogene Schwinden linear oder volumetrisch, horizontal oder vertikal und an Probekörpern unterschiedlicher Form und Größe gemessen wird. In Kombination mit der oben erläuterten Frage des Auswertungsbeginns (time-zero) führten die unterschiedlichen Messverfahren in der Vergangenheit zu erheblichen Streuungen. Es bedurfte daher einer Verbesserung der Methodik. Ein neu zu entwickelndes Prüfverfahren musste nachweislich über gute Wiederhol- und Vergleichsgenauigkeiten verfügen. Darüber hinaus sollte es wirtschaftlich sein, um eine möglichst große Anzahl von Messungen zu ermöglichen. Der Messaufbau sollte im Idealfall ein für Dritte zu beziehendes Serienprodukt sein. Um den Einfluss der Temperatur auf das autogene Schwinden untersuchen zu können, sollte die Betontemperatur aktiv beeinflusst werden können. Nicht zuletzt die experimentellen Schwierigkeiten haben bislang eine Klärung dieses Zusammenhangs verhindert.

Vor diesem Hintergrund wurde mithilfe des Schwindkegels der Firma Schleibinger, mit

dem gewöhnlich das plastische Schwinden untersucht wird, eine neue Methode entwickelt. Mit einer Vielzahl von Versuchen wurde die neue Schwindkegelmethode zur Bestimmung des autogenen Schwindens optimiert und ihre gute Wiederhol- und Vergleichsgenauigkeit bei konstanter Temperatur von 20 °C nachgewiesen. Die Versuche sollen in Kürze mit verschiedenen europäischen Partnern für andere Temperaturen fortgesetzt werden.

Behindertes autogenes Schwinden

Für die Untersuchung der Zwangsspannungen und der Rissneigung infolge behinderten autogenen Schwindens wurde der so genannte Ring-Test adaptiert. Dieses Verfahren ist besonders in den USA zur Untersuchung der Rissneigung infolge behinderten Trocknungsschwindens verbreitet. Die Schwindverkürzung eines Rings aus Beton wird dabei durch einen innen liegenden Ring aus Stahl behindert. An der Innenseite des Stahlrings angebrachte Dehnmessstreifen ermöglichen die Messung der Zwangsverformung, aus der sich die maximale Zugspannung im Beton berechnen lässt. Um die Rissneigung zu berechnen, wird die ermittelte Zwangsspannung ins Verhältnis zur Zugfestigkeit gesetzt. Ein sprunghafter Rückgang der Stahlringstauchung zeigt die Entstehung eines größeren Risses an.

In einem umfangreichen Versuchsprogramm wurde die Rissneigung unterschiedlicher ultrahochfester Betone geprüft (Tafel V-9). Ausgehend von einem Referenzbeton (1A) wurde durch Zugabe superabsorbierender Polymere (1A SAP) und die Verwendung eines Hüttensandmehls (1A HSM) sowie eines schwindreduzierenden Zusatzmittels (1A SRA) das freie autogene Schwinden in unterschiedlichem Umfang verringert (Bild V-35). Die Riss-

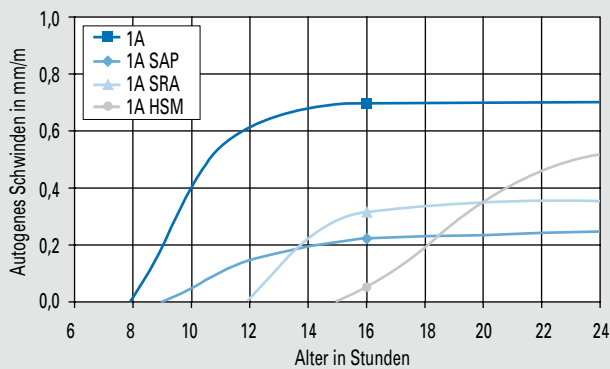


Bild V-35: Autogenes Schwinden der Betone 1A, 1A SAP, 1A SRA und 1A HSM bis zum Alter von 24 h, Mittelwerte von jeweils 3 Messungen mit der Schwindkegelmethode, Auswertung ab dem Zeitpunkt der Entstehung von Zwangsspannungen im Ring-Test

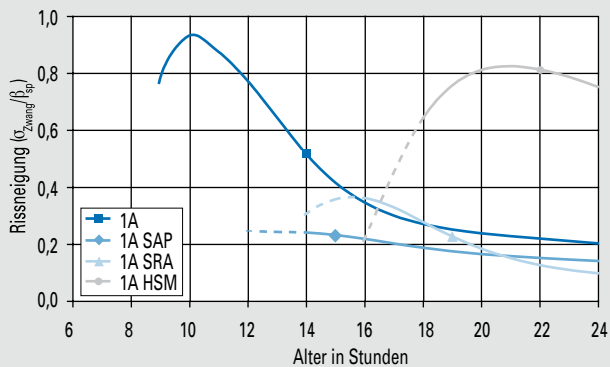


Bild V-36: Rissneigung als Verhältnis der Zwangsspannung zur Spaltzugfestigkeit, gestrichelter Bereich: extrapolierter Verlauf

neigung verringerte sich bei den Betonen 1A SAP und 1A SRA deutlich (**Bild V-36**). Der Beton 1A HSM zeigte trotz des geringeren Schwindens eine ähnlich hohe Rissneigung wie Beton 1A. Dies war vor allem auf die sehr langsame Festigkeitsentwicklung zurückzuführen. Beim Beton 1A HSM traten sehr kleine, für die Dauerhaftigkeit nicht relevante Risse auf. Bei den anderen Betonen entstanden keine sichtbaren Risse. Bei allen Betonen ergab sich die maximale Rissneigung in den ersten 24 Stunden. Bis zu rd. 70 % der Spannungen, die bei rein elastischem Verhalten des Betons in diesem Zeitraum zu erwarten gewesen wären, wurden durch Kriechen kompensiert. Der Behinderungsgrad lag bei allen Betonen in den ersten 24 Stunden über 80 %.

Der Ring-Test hat sich in den durchgeführten Untersuchungen als vielversprechende Methode zur Prüfung der autogenen Schwindrissneigung erwiesen. Darüber hinaus hat diese vergleichsweise einfache Methode großes Potenzial für die weitere Forschung. Bei den hier verwendeten feinkörnigen Betonen konnten die Querschnitte so klein gewählt werden, dass sowohl quasi-isotherme als auch nicht-isotherme Ver-

suche ohne Weiteres möglich sind. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Beantwortung offener Fragen zum Einfluss der Temperatur. Inwieweit die hier unter quasi-isothermen Bedingungen ermittelten Rissneigungen geeignet sind, das Verhalten der Betone bei praxisüblichen Temperaturverläufen zu beschreiben, ist noch zu klären. Mit dem Schwindkegelverfahren und dem Ring-Test stehen hierfür geeignete Methoden zur Verfügung.

Erdfeuchte Betone ■

Erdfeuchte Betone werden u. a. für Pflastersteine, Platten, Bordsteine oder Betonrohre verwendet. Durch intensive Rüttel-Press-Verdichtung werden die Betone in Stahlformen kompaktiert und behalten aufgrund ihrer Grünstandfestigkeit sofort ihre Form. Bei sachgerechter Zusammensetzung erreichen die verdichteten Betone eine hohe Festigkeit und Dichtheit sowie einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand.

Modifizierter Slab-Test

Derzeit wird das Regelwerk für Betonwaren, die Normenreihe EN 1338, 1339

und 1340, überarbeitet. Der modifizierte Slab-Test steht als Verfahren zur Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstands auf dem Prüfstand. Das Verfahren unterscheidet sich im Wesentlichen vom Slab-Test nach DIN CEN/TS 12390-9 durch die Größe und Beschaffenheit der Prüfflächen, die Prüfkörpervorlagerung, das Prüfalter und die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel (**Tafel V-10**).

Die Auswertung von rd. 40 Prüfungen von VDZ-Mitgliedsunternehmen mit dem modifizierten Slab-Test ergab Abwitterungen von rd. 20 g/m² bis rd. 850 g/m² nach 28 Frost-Tau-Wechseln. Frost-Tausalz-Schäden in der Praxis an Betonwaren, die im Labor derartige Ergebnisse erzielten, wurden nicht vorgelegt. Dies würde die maximale Abwitterung von 1000 g/m² nach Norm als hinreichendes Kriterium für dauerhafte Betonwaren bestätigen. Neben der Prüfstreuung scheinen vor allem die Probenahme, die Probenbeschaffenheit und die Probenanzahl für die teils große Streubreite der Einzelabwitterungen verantwortlich zu sein. Deshalb wird die Erhöhung der Probekörperanzahl von derzeit drei auf mindestens fünf sowie eine repräsentative Probenahme empfohlen. Erfahrungen und Empfehlungen werden im BDB-VDZ-Gesprächskreis „Qualität von Betonbauteilen“ intensiv diskutiert und sollen in den Regelwerken berücksichtigt werden.

Farbtonschwankungen von Betonwaren

Im o. g. Gesprächskreis wurde über mögliche Ursachen teilweise auftretender Farbtonschwankungen von Betonwaren diskutiert. Über die Ursachen von Farbtonschwankungen von Betonwaren existieren kaum systematische Erkenntnisse.

Derzeit wird im Gesprächskreis ein Untersuchungsprogramm erarbeitet, mit dem Einflüsse aus der Betonzusammensetzung, den Zementeigenschaften und der Produktionstechnik systematisch untersucht werden sollen.

Estrich ■

Zementestriche werden seit Jahrzehnten im Wohnungs-, Gewerbe- und Industriebau mit Erfolg eingesetzt. Sie zeichnen sich gegenüber anderen mineralisch gebundenen Estrichen vor allem durch ihre Beständigkeit bei Feuchtebeanspruchung aus und können daher sowohl im Innen- als auch im Außenbereich verwendet werden. Die Herstellung von Zementestrichen ist ein

Tafel V-10: Vergleich von Slab-Test nach DIN CEN/TS 12390-9 und modifiziertem Slab-Test nach EN 1338 bis 1340, Anhang D

Parameter	Slab-Test (CEN/TS 12390-9)	Modifizierter Slab-Test (EN 1338 bis 1340, Anhang D)
Prüfkörper	Vier Platten 150 x 150 x 50 mm ³ A = 90000 mm ²	7500 < A < 25000 mm ² , d < 103 mm, Annahmeprüfung: drei Steine
Prüffläche	gesägt (Würfelmitte)	Oberfläche
Nachbehandlung	1 d Form; 6 d Wasser 20 °C 21 d (20 °C/65 % relative Luftfeuchte (20/65))	–
Vorlagerung	3 d mit 3%iger NaCl-Lösung	7 d in 20/65, 3 d H ₂ O, 0,25 bis 0,5 h mit 3-%iger NaCl
Prüfalter bei Vorlagerung	28 d	≥ 28 d, bei Annahmeprüfung < 35 d
Prüfrichtung	einseitig	einseitig
T _{min} /T _{max} ; zul ΔT bei T _{min} Kühl-/Taugeschwindigkeit	-18 °C/+20 °C; bis ± 2 K 2,5 K/h; 6,5 K/h	-18 °C/+20 °C; bis ± 2 K 2,5 K/h; 6,5 K/h
Dauer/Anzahl FTW	24 h / 56 FTW	24 h / 28 FTW
Prüfkriterium (Abwitterung)	< 1,0 kg/m ² nach 56 FTW	< 1,0 kg/m ² nach 28 FTW Einzelwert < 1,5 kg/m ³

komplexer Prozess, auf den die Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe und die Rahmenbedingungen auf der Baustelle wie Transport, Lagerung, Mischen, Fördern und Verlegen am Einbauort einen wesentlichen Einfluss haben.

Vereinzelte Probleme bei der Herstellung von Zementestrichen in der Praxis führen immer noch zu Vorbehalten in der Praxis gegenüber der Verwendung von Portlandkomposit- und Hochofenzementen in diesem Bereich. Der Bundesverband Estrich und Belag e. V. (BEB) mit Sitz in Troisdorf hatte Vertreter der Zement- und der Zusatzmittelindustrie zu einem Erfahrungsaustausch zum Thema CEM II-Zemente zur Herstellung von Estrichen eingeladen. Dabei konnte ein alleiniger Zementart-Einfluss und damit eine Monokausalistik aus den Fallbeispielen nicht abgeleitet werden. Einflüsse aus den weiteren Ausgangsstoffen, dem Einbau oder den Baustellenbedingungen müssen in die Überlegungen einbezogen werden. Der VDZ und seine Mitglieder sind der Frage des Zementart-Einflusses auf die Eigenschaften von Estrichen nachgegangen.

Das Forschungsinstitut hat eine Auswertung von Vergleichsuntersuchungen an zementgebundenen Estrichen mit variierenden Zementzusammensetzungen bei ansonsten jeweils gleicher Zusammensetzung der Estriche und identischen Herstellungs- und Prüfbedingungen durchgeführt. Aus einer Datenbank mit mehr als 700 Einzelergebnissen wurden im Wesentlichen folgende Eigenschaften analysiert: die Verarbeitbarkeit und der Luftgehalt, die Festigkeitsentwicklung (Bild V-37), die Endfestigkeit und die Oberflächenfestig-

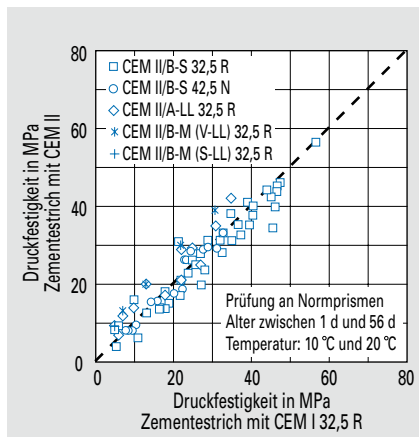


Bild V-37: Druckfestigkeit zementgebundener Estriche (z zwischen 270 kg/m³ und 320 kg/m³; w/z zwischen 0,42 und 0,79; mit und ohne Zusatzmittel)

keit, die Restfeuchte (Bild V-38) sowie das Schwinden und das Aufschüsseln. Es konnte kein signifikanter Zementart-Einfluss festgestellt werden. Die bautechnischen Eigenschaften von Zementestrichen mit CEM I-, CEM II- und CEM III/A-Zementen im Labor und unter baupraktischen Bedingungen waren vergleichbar. Einflüsse auf die Prüfergebnisse durch die Temperatur, die Prüfkörperform oder die Prüfmethode waren in den ausgewerteten Untersuchungen von der Zementart weitgehend unabhängig.

Derzeit werden insbesondere die folgenden CEM II-Zemente für die Herstellung von Zementestrichen eingesetzt:

- Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL 32,5 R
- Portlandölschieferzement CEM II/B-T 42,5 N

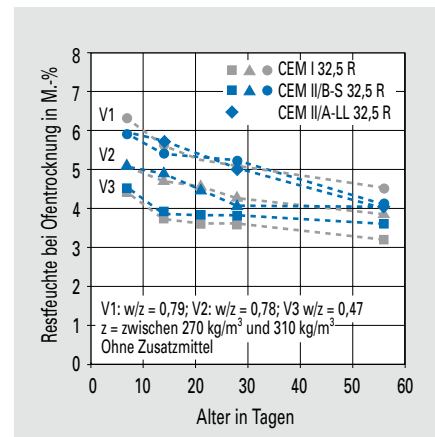


Bild V-38: Altersabhängige Restfeuchte bei Ofentrocknung bei 105 °C

- Portlandhüttenzement CEM II/A-S 32,5 R,
- Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R,
- Portlandhüttenzement CEM II/B-S 42,5 N
- Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R.

Aus der Praxis wird von Estrichlegern vereinzelt von Problemen (z. B. zu geringere Oberflächenfestigkeit, Hohlstellenbildung, langsame Austrocknung) bei der pauschalen Umstellung von CEM I-Zement auf CEM II-Zement berichtet. Bei einigen der aus der Praxis gemeldeten Fälle scheinen Zemente verwendet worden zu sein, die nicht der Fremdüberwachung durch die Überwachungsgemeinschaft des VDZ unterliegen und deren Hersteller keine VDZ-Mitgliedsunternehmen sind. Zum Teil werden – wie berichtet wird – auch „CEM II-M-Zemente“ ohne Angabe der Hauptbestandteile bzw. ohne Konformitätsbescheinigung bzw. das nationale Über-



Bild V-39: Tränkung der Betonfahrbahndecke mit Leinölfirnis

einstimmungszeichen geliefert. Diese Produkte sollten nicht eingesetzt werden.

Die Gespräche zwischen dem Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ), dem Bundesverband Estrich und Belag e. V. (BEB) und der Bundesfachgruppe Estrich und Belag im Zentralverband des Deutschen Bauwesens e. V. (ZDB) führten im Mai 2008 zu einer gemeinsamen Erklärung „Hinweise zur Herstellung zementgebundener Estriche“. Diese Erklärung bereitet den Weg zur Sicherung und Verbreitung einer qualitativ hochwertigen Zementestrichbauweise. Hierfür sind der VDZ gemeinsam mit dem BEB und mit Vertretern der Zement- und Zusatzmittelindustrie der Frage der Qualität der Herstellung von Zementestrichen in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflüssen nachgegangen. Dabei sind die Einflüsse der Ausgangsstoffe sowie die Einflüsse aus Herstellung, Einbau und Baustellenbedingungen berücksichtigt worden.

Grundlage zur Herstellung von Estrichen ist die Zusammenstellung aller Anforderungen, die für die Bauweise und für die konkrete Baumaßnahme nach DIN EN 13813 bestehen. Der Estrichleger überprüft die Eignung der Estrichzusammensetzung mit den vorgesehenen Ausgangsstoffen in der Regel bei der Erstprüfung bei baustellenüblicher Verarbeitungskonsistenz. Werden unerwünschte Estrichmörteleigenschaften (z. B. mangelnde Verarbeitbarkeit, unzureichende Festigkeiten) festgestellt, ist die Estrichmörtelqualität durch geeignete Maßnahmen zu verbessern. Hierzu zählen die Auswahl einer anderen Gesteinskörnung (Qualität, Lieferant, Sieblinie), eines anderen Estrichzusatzmittels (Zusatzmittelart, Zusatzmittelersteller, Zusatzmitteldosierung) oder eines anderen Zements (Zementart, Zementhersteller, Zementfestigkeitsklasse) bzw. die Änderung des Mischungsverhält-

nisses des Mörtels sowie die Verlängerung der Nachbehandlung und der Sperrfristen.

Die Ergebnisse der Zusammenarbeit zwischen dem VDZ und BEB sind in einem Leitfaden zur Herstellung von Zementestrichmörtel im Innenbereich erfasst.

Verkehrswegebau ■

Die Prognosen zur Entwicklung des Verkehrsaufkommens gehen von einem langfristigen Anstieg der Verkehrsleistung insbesondere im Güterverkehr aus. Ein großer Anteil des Güterverkehrs wird trotz des Ausbaus eines europaweiten Schienennetzes auf das Fernstraßennetz entfallen. Vorteilhaft sind daher dauerhafte und unterhaltungsarme Bauweisen, die den Verkehrsteilnehmern ohne Verkehrsbehinderungen z. B. durch Baustellen zur Verfügung stehen. Im Rahmen des Infrastrukturprogramms werden ab 2009 Finanzmittel für den Ausbau von Infrastruktureinrichtungen bereitgestellt. Die Betonbauweise zeichnet sich durch eine hohe Tragfähigkeit und Verformungsstabilität, geringe Unterhaltungskosten und lange Lebensdauer aus und wird bisher insbesondere für den Bau von Fernstraßen mit einem hohen Schwerverkehrsanteil angewendet. Darüber hinaus soll auch der Bereich des kommunalen Straßenbaus weiter für die Betonbauweise erschlossen werden. Wichtige Voraussetzung für die angestrebte Erweiterung des Anwendungsbereichs ist eine hohe Dauerhaftigkeit der Betonbauweise. Insbesondere Fragen der Dauerhaftigkeit waren daher wesentliche Schwerpunkte der Aktivitäten des FIZ.

Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Im Berichtszeitraum wurde die Neufassung der Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkali-Reaktion im Beton“ verabschiedet. Fahr-

bahndecken aus Beton der Bauklassen SV und I bis III sind der Feuchtigkeitsklasse „feucht + Alkali-Zufuhr von außen + starke dynamische Beanspruchung“ (WS) zuzuordnen, Fahrbahndecken der Bauklasse IV bis VI der Feuchtigkeitsklasse „feucht + Alkali-Zufuhr von außen“ (WA). Zusätzlich enthalten die TL Beton-StB 07 Anforderungen an die Zemente und die Gesteinskörnungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (siehe Abschnitt Alkali-Kieselsäure-Reaktion). Die dort getroffenen Maßnahmen sollen zukünftig das Auftreten einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) verhindern.

Frühzeitige Maßnahmen zur baulichen Erhaltung von bereits AKR-geschädigten Decken können möglicherweise deren Lebensdauer verlängern. In einer Arbeitsgruppe des Bundesverkehrsministeriums mit Beteiligung des Forschungsinstituts wurden technische Möglichkeiten zur baulichen Erhaltung dieser Betonfahrbahndecken zusammengestellt. Durch gezielten Einsatz geeigneter Maßnahmen soll die Lebensdauer der betroffenen Baulose verlängert und eine vorzeitige Erneuerung vermieden werden. Die Maßnahmen wurden in Abhängigkeit vom Schädigungsgrad festgelegt. Dabei wurden drei Schadenskategorien gebildet: 1 – beginnende Rissbildung, 2 – starke Rissbildung und 3 – sehr starke Rissbildung mit Ausbrüchen von Beton (Verlust der Tragfähigkeit). Decken der Schadenskategorien 2 und 3 müssen zur Verbesserung der Tragfähigkeit mit unterschiedlich dicken Asphaltdeckschichten überbaut werden. Bei einer der Kategorie 1 zugeordneten Decke, die nur Risse geringer Tiefe aufweist und deren Tragfähigkeit noch nicht reduziert ist, soll die Wirksamkeit anderer Maßnahmen untersucht werden. Hierzu wurde eine Versuchsstrecke auf einem Baulos der Autobahn A14 (Baujahr 2000) angelegt. Die Decke weist einen zweischichtigen Aufbau auf, bei der eine reaktive Gesteinskörnung im Oberbeton verwendet wurde. Im Sommer 2008 wurden verschiedene Versuchsabschnitte angelegt. Untersucht wurden zwei Verfahren, die im Rahmen der Straßenerhaltung z. B. zur Verbesserung der Griffigkeit eingesetzt werden: Eine Bitumenemulsion als Dünnschichtbelag im Kalteinbau (DSK) und eine Epoxidharzbeschichtung. Dabei wurden DSK bzw. Beschichtung auf die Fahrbahn aufgebracht und anschließend eine polierresistente Gesteinskörnung eingestreut. Außerdem wurden zwei Abschnitte mit Leinölfirnis (Bild V-39) bzw. einem Hydrophobierungsmittel getränkt. Bei diesen vier Varianten wird die Feuchteaufnahme des Betons reduziert. Wenn die Wirkung dauerhaft ist,

entfällt eine Voraussetzung für eine schädigende AKR – das Quellen des entstehenden Gels infolge Wasseraufnahme. In einer weiteren Variante wurde die Oberfläche der Betondecke mit einer Lithiumnitratlösung beaufschlagt. Lithium wird deutlich besser an die Alkalisilicatgele gebunden als Natrium oder Kalium. Das entstehende Gel neigt bei Wasserzutritt weniger stark zum Quellen. Voraussetzung ist, dass das Lithium ausreichend tief in den rd. 7 cm dicken geschädigten Oberbeton eindringen kann. In einem vorlaufenden Forschungsvorhaben des FIZ im Auftrag des BMVBS waren zuvor die Grundlagen für die Lithiumbeaufschlagung erarbeitet worden. Um den Erfolg der Maßnahmen zu beurteilen, werden die Versuchs- und zusätzliche Referenzabschnitte ohne Behandlung von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beobachtet. Dabei wird die Rissentwicklung zu verschiedenen Zeitpunkten festgestellt.

Beton im kommunalen Straßenbau
Einsatzgebiete für Verkehrsflächen aus Beton im kommunalen Bereich sind u. a. Kreisverkehre, Bushaltestellen und Busspuren, innerstädtische Kreuzungsbereiche, stark befahrene Einfahrtsstraßen in die Großstädte oder auch der Überbau von Asphalt durch Beton (Whitotopping). Die Anwendung der Betonbauweise in diesen Bereichen ist in Deutschland bisher wenig verbreitet und es bestehen entsprechende Potenziale. Für die genannten Aufgabefelder sollen daher Pilotprojekte umgesetzt werden, um Erfahrungen von der Planung bis zur Ausführung sammeln zu können. Die vorgesehene Gerätetechnik muss jeweils den Bedingungen vor Ort angepasst werden. Mit den örtlich ansässigen Betonlieferanten ist ggf. eine partnerschaftliche Kooperation aufzubauen. Die Umsetzung der Baumaßnahmen kann durch regional tätige Bauunternehmen realisiert werden. Voraussetzung hierfür sind ausreichende Erfahrungen auf dem Gebiet des Betonbaus. Nach Abschluss der Pilotprojekte sollen die gewonnenen Erkenntnisse umfassend dokumentiert und veröffentlicht werden.

Ein Beispiel für ein erfolgreiches Pilotprojekt ist die erste deutsche Kreisverkehrsanlage aus Beton aus dem Jahr 2008 (**Bild V-40**). „Betonkreisel“ haben sich mittlerweile in Österreich, Belgien, den Niederlanden und der Schweiz vielfach bewährt.

Regelwerke

Für eine einheitliche Gestaltung der Vertragsgrundlagen im Hinblick auf die speziellen Belange des kommunalen Straßenbaus wäre eine Anpassung der Regelwerke



Bild V-40:
Kreisverkehrsanlage aus Beton in Bad Sobernheim

(TL und ZTV Beton-StB 07) von Vorteil. Entsprechende Merkblätter z. B. für Kreisverkehrsplätze sollen erarbeitet werden. Erfahrungsgemäß wird damit die Umsetzung entscheidend erleichtert.

Modellierung ■

Anhand von 50 in Deutschland hergestellten praxisüblichen Zementen unterschiedlicher Zusammensetzung wurde im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens Nr. 14767 N im Forschungsinstitut untersucht, unter welchen Randbedingungen mithilfe der Software „Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory (VCCTL)“ die Berechnung der Zementnormdruckfestigkeit im Alter von 28 Tagen anhand von Zementkennwerten möglich ist.

Als Eingabedaten für die Simulationsberechnung dienten chemisch-mineralogische bzw. physikalische Parameter von Zement und Gesteinskörnung sowie Kennwerten, die über digitale Bildanalyse (z. B. Klinkerphasenverteilung) ermittelt wurden. Den Simulationsberechnungen wurden die Ergebnisse aus den experimentellen Untersuchungen (z. B. Hydratationswärme, Zusammensetzung der Porenlösung, Porosität, Druckfestigkeit) gegenübergestellt.

Simulation der Zementhydratation

Die altersabhängige Simulation der Zementhydratation erfolgte durch Iteration bis zu einem gewünschten Endzeitpunkt. Der Zusammenhang zwischen den Iterationsschritten und dem tatsächlichen Hydratationsfortschritt wurde in VCCTL für jeden Zement über einen Zeitumrechnungsfaktor, der den zeitlichen Abgleich mit der gemessenen Hydratationswärme darstellt, bestimmt. Zur Simulation der Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen wurde für den Abgleich der Wert der Hydratationswärme im Alter von sieben Tagen gewählt.

Bild V-41 zeigt den Hydratationswärmeverlauf für zwei Portlandzemente CEM I 32,5 R unterschiedlicher Herkunft. Der 7-Tage-Abgleich der simulierten Hydratationswärme auf die mittels Wärmeflusskalorimetrie (TAM) bestimmte Hydratationswärme ergab bei manchen Zementen (**Bild V-41**, links) eine gute bzw. bei anderen (**Bild V-41**, rechts) eine weniger gute Übereinstimmung der Hydratationswärmeverläufe.

Der simulierte Verlauf der Hydratationswärmeverläufe wich bei vielen Zementen von der gemessenen Hydratationswärme ab. Häufig lag der simulierte Hydratationswärmeverlauf deutlich oberhalb des gemessenen Hydratationswärmeverlaufs. In diesen Fällen schritt deshalb die simulierte Hydratation schneller voran als die tatsächliche Hydratation.

Bei der Untersuchung, ob Gruppen von Zementen durch die Wahl bestimmter Parameter für die Simulationsberechnungen zusammengefasst werden können, wurde zwischen Festigkeitsklasse und Zeitumrechnungsfaktor kein unmittelbarer Zusammenhang festgestellt.

Während die Simulationsberechnungen zum Einfluss des Tricalciumsilicat-Gehaltes auf die Druckfestigkeit weitgehend den Erfahrungswerten entsprachen, wurde der Einfluss von Sulfatträgern auf die Hydratationswärmeverläufe nicht den Erwartungen entsprechend wiedergegeben.

Die Simulation der Zusammensetzung der Porenlösung ergab bei einigen Zementen deutlich überhöhte Sulfat- und Calcium-Ionenkonzentrationen in der Porenlösung. Auch nach vollständigem Verbrauch des Sulfatträgers blieb bei diesen Zementen die simulierte Sulfat-Ionenkonzentration in der Porenlösung auf nahezu unverändert ho-

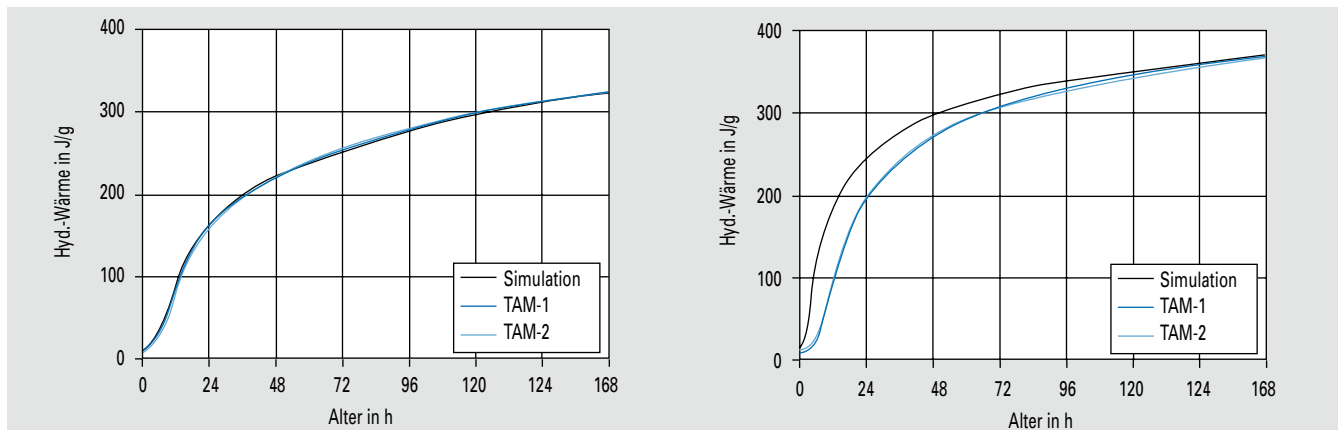


Bild V-41: Simulierte und mittels Wärmeflusskalorimetrie (TAM) doppelt bestimmte Hydratationswärmeentwicklung zweier Portlandzemente CEM I 32,5 R unterschiedlicher Herkunft, links mit einer guten, rechts mit einer weniger guten Übereinstimmung der Hydratationswärmeentwicklung nach Abgleich auf den 7-Tage-Wert (168 h)

hem Niveau. Hier müsste der Programmcode hinsichtlich der Berücksichtigung der Erstarrungsreglerarten geprüft werden.

Porosität

Die mit Quecksilberintrusion ermittelten Porositäten für Zementstein im Alter von 7 und 28 Tagen lagen um bis zu 10 Vol.-% über dem jeweiligen Wert der Simulationsberechnung. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass im VCCTL-Programm nur eine „Kapillarporosität“ wiedergegeben wurde. In vielen Fällen entsprach das mit Quecksilberdruckporosimetrie ermittelte Porenvolumen $\geq 0,01 \mu\text{m}$ der simulierten Porosität. Die gemessenen Porositäten von Normmörtel lagen erwartungsgemäß deutlich unterhalb der gemessenen Porosität des jeweiligen Zementsteins. Die mit VCCTL simulierte Porosität von Mörtel entsprach dagegen in etwa der simulierten Porosität des entsprechenden Zementsteins. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Porosität von Mörtel bislang nicht korrekt simuliert wurde.

Druckfestigkeit

Die Simulation der Zementhydratation lieferte die Zusammensetzung des Gefüges und somit Aussagen zur Raumauffüllung der Hydratationsprodukte $X(t)$ bzw. zur Porosität $P(t)$. Mithilfe des Ansatzes von Powers, der von einer Grundfestigkeit des Gefüges D_0 ausgeht, die durch die Porosität abgemindert wird, wurde anhand der Gleichungen

$$D(t) = D_0 \cdot X(t)^{n1}$$

bzw.

$$D(t) = D_0 \cdot (1 - P(t))^{n2}$$

der Druckfestigkeitsverlauf berechnet.

Den gemessenen Druckfestigkeiten von Zementstein und Normmörtel wurde der entsprechende simulierte Druckfestigkeits-

verlauf gegenübergestellt. Um den gemessenen Druckfestigkeitsverlauf durch den simulierten Druckfestigkeitsverlauf wiedergeben zu können, mussten für jeden Zement die Variablen D_0 und n anhand der gemessenen Druckfestigkeiten separat bestimmt werden. Im Vergleich zu den von Locher genannten Werten $D_0 = 203 \text{ MPa}$ und $n = 4,67$ waren für die Mehrzahl der untersuchten Zemente die Druckfestigkeit des porenfreien Zementsteins D_0 als auch die Variable n niedriger. Allgemeingültige Werte für D_0 und n , um den Druckfestigkeitsverlauf verschiedener Zementarten bzw. -festigkeitsklassen einheitlich und zielsicher zu approximieren, konnten nicht abgeleitet werden.

Alternativ kann mit der VCCTL-Software die Druckfestigkeit anhand von Korrelationen mit dem Elastizitätsmodul unabhängig von der simulierten Porosität berechnet werden. Die Werte des Elastizitätsmoduls der Simulationsberechnungen lagen im Mittel rund 2,6 GPa über den Messwerten. Die anhand des simulierten Elastizitätsmoduls berechneten Druckfestigkeiten lagen unterhalb der gemessenen Druckfestigkeiten und korrelierten mit den simulierten hohen Porositäten von Normmörtel, nicht jedoch mit den simulierten Elastizitätsmoduln.

Berücksichtigung der Gesteinskörnung

Um die Abweichungen zwischen der simulierten Porosität bzw. berechneten Druckfestigkeit vom entsprechenden Messwert bei Normmörtel zu untersuchen, wurde der Einfluss verschiedener Kenngrößen zur Berücksichtigung von Gesteinskörnungen bei den Simulationsberechnungen betrachtet.

Insgesamt wurde deutlich, dass insbesondere die Wahl des Elastizitätsmoduls der

Gesteinskörnung, die Korngrößenverteilung des Normsandes sowie die adäquate Abbildung der Kontaktzone entscheidende Faktoren für die Simulationsberechnung der Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen darstellten.

Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit der verwendeten Version 7 der VCCTL-Software die Simulation des Druckfestigkeitsverlaufs von Normmörtel bis zum Alter von 28 Tagen für die verschiedenen Zemente nicht zuverlässig vorhergesagt werden konnte.

Neben den Parametern des verwendeten Zementes waren insbesondere Kenngrößen der Gesteinskörnung und der Übergangzone von Gestein zu unbeeinflusster Zementmatrix für das Simulationsergebnis entscheidend. Allein die Variation dieser Kenngrößen innerhalb der praxisüblichen Schwankungsbreite kann das Simulationsergebnis entscheidend beeinflussen.

Grundsätzlich scheint das VCCTL-Modell zur Abbildung der Hydratation von Zement geeignet zu sein. Die Software müsste jedoch insbesondere hinsichtlich der Simulation der Porosität von Mörtel und der Zusammensetzung der Porenlösung sowie in Bezug auf den Einfluss von Sulfat auf den Hydratationsprozess weiter entwickelt werden.

Normung ■

Die Europäische Betonnorm EN 206-1

Nach den CEN-Regularien ist alle fünf Jahre die routinemäßige Überprüfung einer CEN-Norm vorzunehmen. Für die europäische Betonnorm EN 206-1 wäre diese Überprüfung im Jahre 2005 notwendig ge-

Tafel V-11: Expositionsklassenabhängige Festlegungen für eine geplante Lebensdauer von mindestens 50 Jahren in Bezug auf den niedrigsten und höchsten sowie den am häufigsten verwendeten Wert für die Mindestbetondeckung, die Mindestdruckfestigkeitsklasse, den höchstzulässigen Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt (Quelle: CEN-Survey)

Expositionsklasse	Mindestbetondeckung in mm		Mindestdruckfestigkeitsklasse			Höchstzulässiger Wasserzementwert			Mindestzementgehalt in kg/m ³		
	min	max	min	max	a.h.v.W.	min	max	a.h.v.W.	min	max	a.h.v.W.
XC1	10	20	KA	C25/30	C20/25	0,60	KA	0,65	KA	300	260
XC2	15	35	KA	C28/35	C25/30	0,55	KA	0,60	150	300	280
XC3	10	35	KA	C32/40	KA, C25/30	0,45	KA	0,55	150	340	280
XC4	15	40	KA	C32/40	KA	0,45	KA	0,50	150	340	300
XD1	25	40	KA	C40/50	C30/37	0,45	0,60	0,55	150	360	300
XD2	25	55	KA	C40/50	C30/37	0,40	0,55	0,50, 0,55	150	360	300
XD3	33	55	KA	C50/60	C35/45	0,40	0,45	0,45	150	400	320
XS1	25	40	KA	C40/50	C30/37	0,45	0,55	0,50, 0,45	150	360	300
XS2	25	45	KA	C40/50	C35/45	0,40	0,55	0,45	150	360	320, 360
XS3	30	50	KA	C50/60	C35/45	0,35	0,45	0,45	150	400	320
XF1	–	–	KA	C32/40	KA	0,55	0,60	0,60	KA	300	300
XF2	–	–	KA	C35/45	KA	0,45	KA	0,55	KA	340	300
XF3	–	–	KA	C40/50	KA	0,45	0,60	0,50	KA	340	300, 320
XF4	–	–	KA	C40/50	KA	0,40	KA	0,45	KA	400	340
XA1	–	–	KA	C35/45	KA	0,40	0,60	0,55	150	380	300
XA2	–	–	KA	C40/50	C35/45	0,40	0,50	0,50	150	380	320
XA3	–	–	KA	C40/50	KA, C35/45, C40/50	0,35	0,45	0,45	150	400	360

a.h.v.W.: am häufigsten verwendeter Wert
KA: Keine Anforderung

wesen. Da die Norm jedoch in vielen Mitgliedsländern zu diesem Zeitpunkt erst kurzfristig und in einigen Mitgliedsländern noch gar nicht in Anwendung war, lagen mit der Norm erst wenige Erfahrungen vor. Daher wurde eine Überarbeitung vor 2010 vom CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ nicht als sinnvoll erachtet. Diese Auffassung wurde bei den CEN-Sitzungen in Larnaca im November 2005 durch entsprechende Resolutionen bestätigt.

Eine Arbeitsgruppe des CEN/TC 104/SC1 „Beton“ hat eine Synopse der nationalen Anwendungsdokumente (NAD) zur europäischen Betonnorm EN 206-1 erarbeitet. Diese Synopse hat verdeutlicht, dass eine weitere Vereinheitlichung der dauerhaftigkeitsrelevanten Festlegungen praktisch nicht möglich ist. **Tafel V-11** gibt einen Überblick der Anforderungen hinsichtlich des Mindest- und Höchstwertes sowie des am häufigsten verwendeten Wertes in Bezug auf die Mindestbetondeckung, der Mindestdruckfestigkeitsklasse, des höchstzulässigen Wasserzementwertes und des Mindestzementgehaltes. Der am häufigsten verwendete Wert (a. h. v. W.) ist der Wert, der

von mehr CEN Mitgliedsstaaten als irgendein anderer Wert gewählt wurde und sollte nicht dahingehend interpretiert werden, dass dieser Wert von den meisten CEN Mitgliedsstaaten verwendet wird. Folgende Schlussfolgerungen wurden gezogen:

- In der Mehrzahl der Fälle entsprechen die am häufigsten verwendeten Werte für den höchstzulässigen Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt den in der EN 206-1, Tabelle F.1 empfohlenen Werten.
- In fünf Fällen (XC1, XC2, XC4, XD1 und XD3) entsprechen die am häufigsten verwendeten Werte für die Mindestdruckfestigkeitsklasse, den höchstzulässigen Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt in allen drei Kategorien den in der EN 206-1, Tabelle F.1 empfohlenen Werten.
- In Dänemark, wo die niedrigsten Mindestzementgehalte vorgeschrieben sind, wird gleichzeitig die Einhaltung eines Mindestmehlkorngehaltes gefordert. In Dänemark kann der Mindestzementgehalt bei Verwendung von Typ-II-Zusatzstoffen nicht weiter reduziert werden.

Bei seiner Sitzung in Stockholm hat CEN/TC 104/SC1 im Juni 2007 den Fahrplan für die weitere Überarbeitung der europäischen Betonnorm EN 206-1 festgelegt. CEN/TC 104/SC1 hat die Vorgehensweise im Juni 2008 in Berlin dann weiter konkretisiert. Für den Überarbeitungstermin 2010 werden Statuspapiere zu Fragen der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit (Equivalent durability concept), der Verwendung von Betonzusatzstoffen, der Konformitätsbewertung von Beton und zum Thema Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) erarbeitet. Diese Papiere markieren die Eckpfeiler für die spätere Neuauflage der Norm.

Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit

Das in Anhang E der EN 206-1 in Grundzügen beschriebene Konzept wird bisher in Europa praktisch nicht angewendet. Eine gewisse Ausnahme bildet das niederländische System der so genannten Attestbetone. Das Konzept nach Anhang E kann bisher angewendet werden, um nachzuweisen, dass die Leistungsfähigkeit (i. W. Dauerhaftigkeit) von Beton mit Zusatzstoffen zumindest gleichwertig zu derjenigen eines nach den deskriptiven Regeln (min z, max

Grundsätze für die Überarbeitung der europäischen Betonnorm EN 206-1

- *Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit:*
 - Regelung für dauerhaftigkeitsrelevante Aspekte
 - Anwendung nur möglich, wenn national in Kraft gesetzt (Definition eines „Referenzbetons“)
- *Typ-II-Zusatzstoffe:*
 - Die derzeit genormten Zusatzstoffe Flugasche, Silikastaub, Hüttensandmehl werden behandelt.
 - Das k-Wert-Konzept kann für alle Typ-II-Zusatzstoffe angewendet werden.
 - Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen sollen berücksichtigt werden.
- *Die Regeln zur Konformitätsbewertung und Produktionskontrolle von Beton* sollen vom Grundsatz her unverändert bleiben.
- *Alkali-Kieselsäure-Reaktion:*
 - Keine generelle Einstufung von Gesteinskörnungen auf europäischer Ebene
 - Maßnahmen zur Vermeidung bleiben national geregelt.

w/z etc.) des entsprechenden nationalen Anhangs zusammengesetzten Referenzbetons ist. In Deutschland kann dieses Prinzip nur im Rahmen allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) umgesetzt werden. Im Zuge der Überarbeitung soll nun geprüft werden, inwieweit das in Anhang E beschriebene und bisher auf den Nachweis für Betonzusatzstoffe beschränkte Verfahren grundsätzlich bei Abweichungen vom deskriptiven Ansatz angewendet und zugleich weiter konkretisiert werden kann. Hierzu gehören die Definition der Referenzsituation („wogegen wird geprüft“) und die Frage, welche Prüfverfahren geeignet bzw. allgemein akzeptiert sind. Hierbei gilt es, Chancen (Nachweis der Leistungsfähigkeit neuer Betonausgangsstoffe) und Herausforderungen (Aufweichen bewährter deskriptiver Regeln oder Negativbewertung in der Praxis bewährter Lösungen) gleichermaßen auszuloten. Das Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit darf nicht verwechselt werden mit dem in der britischen Betonnorm beschriebenen „Combinations-Prinzip“. Beim „Combinations-Prinzip“ sind festgelegte Kombinationen bestimmter Zemente und Betonzusatzstoffe einer Überwachung zu unterziehen, die in etwa der Überwachung nach EN 197-2 entspricht. Die „Gleichwertigkeit“ von Kombinationen aus Portlandzement und Hüttensandmehl, Flugasche oder Kalksteinmehl mit Zementen entsprechender Zusammensetzung wird anhand der Ergebnisse einer Festigkeitsprüfung nach EN 196-1 unterstellt. Auch bei Würdigung der Tatsache, dass diese Vorgehensweise nur auf bekannte Kombinationen von Portlandzement und Zusatzstoffen angewendet werden kann, ist ein solches Vorgehen ohne eine Erstprüfung mit entsprechenden Dauerhaftigkeitsprüfungen in Deutschland derzeit kaum denkbar. Darüber hinaus wäre hierzu auch weiterhin ei-

ne allgemeine bauaufsichtliche Zulassung notwendig. Die folgenden Grundsätze für die Überarbeitung wurden festgelegt:

- Ein Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit (= Dauerhaftigkeit) soll im Grundsatz für alle Expositionsklassen hinzugefügt werden.
- Eine detaillierte Beschreibung wird ggf. für die Expositionsklassen XC, XD und XS möglich sein.
- Die Option, Leistungsfähigkeit (= Dauerhaftigkeit) direkt anhand von Grenzwerten zu spezifizieren, soll weiterhin vorhanden sein. EN 206-1 wird möglicherweise die Testmethoden empfehlen, jedoch keine Werte angeben.
- Die Anwendung des Konzepts wird erst möglich sein, wenn ein CEN-Mitgliedsstaat seine „Referenzbetone“ definiert hat.

Betonzusatzstoffe

Die allgemeine Eignung von Betonzusatzstoffen zur Herstellung von Beton nach EN 206-1 ist nachgewiesen für Gesteinsmehle nach EN 12620 und Pigmente nach EN 12878 (nahezu inaktive Zusatzstoffe Typ I) sowie die puzzolanischen Betonzusatzstoffe Flugasche nach EN 450-1 und Silikastaub nach EN 13263-1 (Typ II). Zusatzstoffe des Typs II dürfen bei nachgewiesener Eignung bei der Betonzusammensetzung auf den Zementgehalt und den Wasserzementwert angerechnet werden (k-Wert-Ansatz). Die Eignung dieses Ansatzes gilt für Flugasche und Silikastaub als nachgewiesen. Der k-Wert-Ansatz wird aber in der in EN 206-1 beschriebenen Form mit der Beschränkung auf Portlandzement in vielen Ländern – z. B. auch in Deutschland – nicht angewendet. Eine allgemeine Beschreibung und die Erweiterung auf Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen sind daher anzustreben. In der zukünftigen EN 206-1 muss zusätzlich

ein Bezug zu der europäischen Produktnorm für Hüttensandmehl EN 15167-1 hergestellt werden. Dabei werden neben dem k-Wert-Ansatz, den die meisten Länder mit einer nationalen Anwendungsregel für Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff gewählt haben, auch das Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit und das britische „Combinations-Prinzip“ zu prüfen sein. Die folgenden Grundsätze für die Überarbeitung wurden festgelegt:

- Das k-Wert-Konzept und das Prinzip der gleichwertigen Betonleistungsfähigkeit werden bestehen bleiben.
- Generelle Aspekte des in Großbritannien vorhandenen „Combinations-Konzepts“ sollen hinzugefügt werden.
- Der Hinweis auf Hüttensandmehl soll in Kombination mit den oben erwähnten Konzepten erfolgen.
- Die Konzepte für die Anwendung von Zusatzstoffen sollen zusammen mit CEM II-Zementen und in allgemeiner Form beschrieben werden. Die detaillierten Regelungen für ihre Anwendung werden weiterhin national geregelt.

Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

Zur Koordinierung weiterer Aktivitäten auf dem Gebiet der AKR (vgl. Abschnitt Alkali-Kieselsäure-Reaktion) wurde eine gemeinsame Arbeitsgruppe der CEN Normungsgremien für Zement und Baukalk (TC 51), Gesteinskörnungen (TC 154) und Beton (TC 104) unter Leitung des Forschungsinstituts der Zementindustrie eingerichtet. Die Arbeitsgruppe spricht u. a. folgende Empfehlungen aus:

- Eine (vollständige) Spezifikation zur Vermeidung einer schädigenden AKR im Rahmen der europäischen Betonnorm EN 206-1 ist nicht möglich. Es können lediglich Prinzipien beschrieben werden.
- Die Klassifizierung der Alkalireaktivität von Gesteinskörnungen kann nur auf nationaler Ebene erfolgen.
- EN 206-1 kann keine Grenzwerte für effektive Alkaligehalte im Beton enthalten, da diese eine Einstufung von Gesteinskörnungs-Kombinationen unter Berücksichtigung nationaler Erfahrungen erfordert.

A2- und A3-Änderungen zur DIN 1045-2

Die europäische Betonnorm DIN EN 206-1 „Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000“ erlaubt als nicht mandatierte und damit nicht harmonisierte Norm nationale Anwendungsregeln (Na-

tional Application Documents) in einer Reihe von Abschnitten, um unterschiedliche klimatische und geografische Bedingungen, verschiedene Schutzniveaus sowie gut eingeführte regionale Gepflogenheiten und Erfahrungen zu berücksichtigen. In Deutschland sind diese nationalen Anwendungsregeln in DIN 1045-2 festgelegt. Der Normenausschuss „Betontechnik“ hatte eine Liste von Änderungen der DIN 1045-2 beschlossen. Anwendungserfahrungen und die Fortschreibung weiterer Produktnormen für Betonausgangsstoffe und deren nationaler Anwendungsregeln machten dies notwendig. Die A2-Änderungen wurden mit Ausgabedatum Juni 2007 veröffentlicht.

Im Rahmen der A2-Änderungen wurde die Norm in folgenden Punkten überarbeitet:

■ *Anpassung an die neuen bzw. überarbeiteten europäischen Normen für Betonausgangsstoffe*

Mittlerweile sind europäische Stoffnormen für Silikastaub (DIN EN 13263) sowie eine überarbeitete Fassung der Norm für Flugasche (DIN EN 450) erschienen. Auf diese Normen wird Bezug genommen. Die für Deutschland vorgesehenen Anwendungsregeln aus den Entwürfen der Normenreihe E DIN V 20000-106/107 hinsichtlich der Umweltverträglichkeit von Flugasche sowie der Verwendungsregeln für Silikastaub bzw. Silikasuspension wurden übernommen.

■ *Anrechnung von Flugasche auch in den Expositionsclassen XF2 und XF4 für Frostangriff mit Taumitteln und entsprechende Änderung der Anwendungsregeln für flugaschehaltige Zemente*

Die Anrechnung von Flugasche ist mit den bekannten Regeln nun auch für die Expositionsclassen XF2 und XF4 (Frost mit Taumitteln) möglich. In diesem Zusammenhang wird auch die Anwendung flugaschehaltiger Zemente in diesen und weiteren Expositionsclassen nicht mehr ausgeschlossen. So war bisher bei Verwendung von Portlandflugaschezement CEM II/A-V oder Portlandkompositzement CEM II/A-M (P-V) in Beton für die Expositionsclassen XF3 eine Anrechnung von Flugasche als Betonzusatzstoff auf den Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt nicht zulässig. Diese Einschränkung entfällt ebenso wie die Anwendungsbeschränkungen des CEM II/A-V in den Expositionsclassen XF2 und XF4 sowie des CEM II/B-V in den Expositionsclassen XF2, XF3 und XF4. Weiterhin können nun auch CEM II/A-M (S-V) und

CEM II/A-M (V-T) ohne Anwendungsbeschränkungen in Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 verwendet werden. Bei den Zementen CEM II/B-M (D-V) und CEM II/B-M (P-V) entfällt der Anwendungsausschluss für die Expositionsclassen XF3. Die Anwendungsregel für Flugasche als Betonzusatzstoff geht über die ZTV-ING-Regelungen hinaus. Dort ist nach wie vor die Anrechnung nur für die Expositionsclassen XF2 und nur für Tunnelbauwerke möglich. Im ZTV-ING-Bereich ist zudem der so genannte „Sättigungswert“ des Betons im Rahmen einer erweiterten Erstprüfung zu bestimmen (siehe dazu ZTV-ING, Teil 3 „Massivbau“, Abschnitt 1 „Beton“, Absatz 3.2 (7) „Verwendung von Zusatzstoffen“).

■ *Berücksichtigung der Festlegungen der Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e. V. (DAfStb). Übernahme der Feuchtigkeitsklassen in Anlehnung an die Expositionsclassen*

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb) hat die „Alkali-Richtlinie“ überarbeitet und neu herausgegeben. Die Regelungen wurden an den entsprechenden Stellen in DIN 1045-2/A2 übernommen. Die so genannte Feuchtigkeitsclassen sind bei der Festlegung eines Betons nun mit anzugeben. Die Tabelle 1 „Expositionsclassen“ der DIN 1045-2 wurde um einen entsprechenden Teil zu den Feuchtigkeitsclassen der „Alkali-Richtlinie“ ergänzt (vgl. Abschnitt Alkali-Kieselsäure-Reaktion). Da die Feuchtigkeitsclassen bei jeder Festlegung eines Betons durch den Kunden mit anzugeben ist, muss konsequenterweise auch der Transportbetonliefererschein die zugehörige Feuchtigkeitsclassen enthalten. Jeder Transportbetonliefererschein ist zukünftig mit der für den jeweiligen Beton möglichen Feuchtigkeitsclassen (WO, WF, WA oder WS) zu kennzeichnen. Bisher war dies nur im „Kernanwendungsbereich“ der Alkali-Richtlinie (z. B. Norddeutschland) notwendig.

■ *Berücksichtigung von Fasern nach europäischer Norm EN 14889-1/2.*

Fasern für Beton (Stahlfasern und Polymerfasern) sind mittlerweile europäisch genormt. Die Verwendung in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 wird über die A2-Änderung ermöglicht. Fasern nach dieser Norm dürfen dem Beton zugegeben, deren Tragwirkung aber nicht bei der Bemessung berücksichtigt werden. Hierfür müssen weitere bauaufsichtliche Regelungen getroffen werden, so wie dies z. B. in Zukunft für die Stahlfasern mit einer Richtlinie des

DAfStb geschieht. Über die A2-Änderung erfolgt ein allgemeiner Hinweis zur Handhabung und Dosierung der Fasern in Anlehnung an die Regelungen für Zusatzstoffe. Polymerfasern und zu Bündeln geklebte Stahlfasern sowie Stahlfasern in einer Dosierverpackung (Papiertüten) bedürfen einer bauaufsichtlichen Zulassung, in der die gleichmäßige Untermischbarkeit nachzuweisen ist.

■ *Angabe des Sulfatgehaltes des Grundwassers in der Expositionsclassen XA schon bei der Festlegung und Bestellung des Betons*

In der Tabelle 2 der DIN 1045-2 wurde eine weitere Fußnote aufgenommen. Danach ist bei der Expositionsclassen XA und Sulfatgehaltes des Grundwassers oberhalb 600 mg/l der Sulfatgehalt im Rahmen der Festlegung des Betons durch den Kunden mit anzugeben. Danach kann dann der Transportbetonhersteller den entsprechenden Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) auswählen bzw. die Regeln zur Verwendung von Flugasche berücksichtigen und die Betone in den Lieferdokumenten entsprechend kennzeichnen.

■ *Anpassung der Vorgehensweise zur Bestimmung der Festigkeitsentwicklung eines Betons bei von 28 Tagen abweichendem Nachweisalter für die Druckfestigkeit. Die Regelungen aus der DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ wurden übernommen.*

Wird bei besonderen Anwendungen die Druckfestigkeit eines Betons zu einem späteren Zeitpunkt als nach 28 Tagen bestimmt, so ist für diese Betone auch die Berechnung der Festigkeitsentwicklung (siehe dazu DIN 1045-2, Tab. 12, r-Wert) anzupassen. Die Festigkeitsentwicklung soll dann aus dem Verhältnis der mittleren Druckfestigkeit nach zwei Tagen zur mittleren Druckfestigkeit zum Zeitpunkt der Bestimmung der Druckfestigkeit ermittelt werden. Das heißt, dass nicht die Festigkeit nach 28 Tagen, sondern der Wert nach 56 bzw. 91 Tagen für die Berechnung verwendet wird. Diese Vorgehensweise entspricht der Regelung, die bereits in der DAfStb-Richtlinie für „Massige Bauteile aus Beton“ eingeführt ist.

■ *Einarbeitung der A1-Änderungen zu DIN 1045-2 aus dem Jahr 2005.*

Die bereits in 2005 veröffentlichten A1-Änderungen wurden in die A2-Änderungen übernommen und eingearbeitet.

Durch eine weitere Änderung (A3-Änderung) wurden folgende Punkte umgesetzt:

- die Vornormen DIN V 20000-100 (Anwendungsregeln für Betonzusatzmittel), DIN V 20000-103 (Anwendungsregeln für Gesteinskörnungen) und DIN V 20000-104 (Anwendungsregeln für leichte Gesteinskörnungen) wurden übernommen;
- ergänzende Festlegungen aus der Musterliste der Technischen Baubestimmungen (z. B. für Pigmente) und der Bauregelliste wurden in die A3-Änderung überführt;
- Anwendungsregeln für Zemente nach DIN EN 197-1, Deutsche Fassung EN 197-1:2001+A1:2004+A2 (SR-Zemente) + A3 (Flugasche) wurden aufgenommen.

Als Anwendungsregel für die SR-Zemente wurde an den entsprechenden Stellen die folgende Anmerkung ergänzt: „Bis zum Vorliegen von DIN EN 197-1/A2 sind für HS-Zement die Festlegungen in DIN 1164-10 zu beachten. Sobald E DIN EN 197-1/A2 anwendbar ist, gelten die Anforderungen an HS-Zement als erfüllt, wenn nach E DIN EN 197-1/A2 Zement mit hohem Sulfatwiderstand verwendet wird (CEM I-SR 3 oder niedriger, CEM III/B-SR, CEM III/C-SR).“

Flugaschehaltige Zemente zur Herstellung von Beton nach DIN 1045-2 dürfen nur Flugaschen mit bis zu 5 % Glühverlust enthalten.

Mit dem Ausgabedatum August 2008 wurde schließlich eine konsolidierte Fassung der DIN 1045-2 herausgegeben. Diese enthält nunmehr die Änderungen A2 und A3 zu DIN 1045-2:2001-07 und die Anforderungen aus DIN V 20000-100, DIN V 20000-103, DIN V 20000-104, DIN V 20000-106 und DIN V 20000-107. Die Änderungen zu DIN 1045-2:2001-07, die sich aus DIN 1045-2/A2:2007-06, E DIN 1045-2/A3:2008-01 und den Beratungsergebnissen zu den Einsprüchen zu E DIN 1045-2/A3 ergaben, sind durch senkrechte Striche am Text gekennzeichnet. Darüber hinaus erfolgen Anpassungen von Normenbezügen an den aktuellen Stand der Bezugsdokumente, die jedoch nicht gekennzeichnet sind. Im Laufe des Jahres 2009 wird das Heft 526 des DAfStb in aktualisierter Form herausgegeben.

DAfStb-Richtlinie

„Massige Bauteile aus Beton“

Der Anlass für die Überarbeitung der Richtlinie war der Neuherausgabe der DIN 1045, Teile 1 bis 3, Ausgaben August 2008. Die in DIN 1045-2:2008-08 enthaltene Anrechnung von Flugasche auch in den Ex-

positionsklassen XF2 und XF4 für Frostangriff mit Taumitteln (s. o.) wurde auf Betonzusammensetzungen für massige Bauteile übertragen.

Brandschutz ■

Im Brandschutz wird gemeinhin zwischen vorbeugendem und abwehrendem Brandschutz unterschieden. Der abwehrende Brandschutz greift erst dann, wenn bereits ein Brand entstanden ist, und umfasst im wesentlichen Löscharbeiten durch die Feuerwehr. Im Gegensatz dazu soll der vorbeugende Brandschutz dazu dienen, die Entstehung und Ausbreitung von Bränden zu vermeiden oder einzuschränken. Der bauliche Brandschutz ist neben dem anlagentechnischen Brandschutz, welcher insbesondere Brandmeldeanlagen und automatische Feuerlöschanlagen umfasst, die wesentliche Grundlage für die notwendige Sicherheit im Bereich des vorbeugenden Brandschutzes. Gebaute Brandschutzmaßnahmen bestehen permanent und bieten die erforderliche Schutzwirkung, ohne dass sie durch betrieblich-mechanische Vorgänge, die ein Versagensrisiko beinhalten, ausgelöst werden müssen. Der abwehrende Brandschutz hängt vom Einsatz der Feuerwehr ab, bei dem ebenfalls ein Ausfallrisiko gegeben ist.

Mit Bauteilen aus Beton können die baulichen Brandschutzanforderungen einfach und meistens ohne wesentliche Zusatzkosten erfüllt werden. Aus dem nichtbrennbaren Baustoff Beton lassen sich Bauteile mit einem hohen Feuerwiderstand und einer entsprechend beständigen abschirmenden Wirkung erstellen. Das bedeutet, dass Betonbauwerke im Brandfall über lange Zeit ihre Stabilität behalten und dass das Feuer auf bestimmte Bereiche begrenzt werden kann. Diese Brandschutzwirkungen von Beton und Betonbauteilen dienen der Sicherheit der Menschen, die bei den gesetzlichen Brandschutzanforderungen höchste Priorität hat. Aber auch der Erhalt des Gebäudes selbst bzw. des Gebäudeinhalts ist aus Gründen des Sachwerteschutzes wichtig. Selbst wenn der Gesetzgeber den Sachschutz der Eigenverantwortung der Gebäudebesitzer und -nutzer übertragen hat, liegt die Sicherheit für die Sachwerte sowohl im privaten als auch im öffentlichen Interesse. Darüber hinaus leisten bauliche Brandschutzmaßnahmen auch Umweltschutz, wenn durch eine effektive Brandbegrenzung die Rauch- und Gasemissionen sowie die Löschwassermenge reduziert werden können und das meist kontaminierte Löschwasser zurückgehalten werden kann.

Nationale Vorschriften (Deutschland)

DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“

Der VDZ war an der Erarbeitung der A2-Änderung zu DIN 4102-4 „Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Bauteile und Baustoffe“ und der A1-Änderung zu DIN 4102-22 „Anwendungsnorm zu DIN 4102-4 auf der Bemessungsbasis von Teilsicherheitsbeiwerten“ beteiligt. Beide Normenteile sowie eine konsolidierte Fassung, die die beiden Teile umfasst, sollen im zweiten Quartal 2009 als Gelbdruck veröffentlicht werden.

Eine wesentliche Änderung gegenüber der letzten Fassung der Norm ist neben der Aufnahme eines neuen Abschnitts zum Brandverhalten von Bauteilen aus hochfestem Beton die Überarbeitung einer Bemessungstabelle für Stahlbetonstützen aus Normalbeton. Die statisch-konstruktiven Randbedingungen dieser überarbeiteten Tabelle schließen die Anwendung für Kragstützen aus. Da aber die Brandbemessung von Kragstützen aus Stahlbeton in der Praxis eine große Bedeutung hat (z. B. für Hallenstützen), wurde das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Universität Braunschweig damit beauftragt, ein vereinfachtes Rechenverfahren zum Nachweis der Feuerwiderstandsklasse F90 von Kragstützen zu entwickeln. Dieses Forschungsvorhaben, welches vom VDZ begleitet wurde, wurde im November 2008 abgeschlossen, sodass das Verfahren noch Eingang in die Überarbeitung der DIN 4102 finden wird.

DIN 18230-1 „Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer“

In der DIN 18230-1 ist ein Rechenverfahren festgelegt, mit dem die brandschutztechnische Bemessung von Tragwerken im Industriebau durchgeführt werden kann. Grundlage ist der Nachweis der ausreichenden Feuerwiderstandsdauer der Bauteile. Im Jahr 2008 wurde der Gelbdruck einer neuen Fassung der DIN 18230-1 veröffentlicht. Eine wichtige Änderung gegenüber der Fassung aus dem Jahr 1998 ist die Einführung des Begriffs der „Ebene“ in Industriebauten: Während Geschosse definitionsgemäß brandschutztechnisch voneinander getrennt sind und jeweils einen Brandbekämpfungsabschnitt bilden, können Ebenen freie Öffnungen aufweisen oder aus Teilstücken zusammengesetzt sein. Die Fläche eines Brandbekämpfungsabschnitts setzt sich dann aus seiner Grundfläche und der Summe der Flächen der darüber liegenden Ebenen zusammen. Bühnen oder Ge-

rüste, die nicht die erforderliche Feuerwiderstandsdauer des Brandbekämpfungsabschnitts haben, zählen laut neuer DIN-Norm nicht mehr zur anrechenbaren Fläche und die darauf befindliche Brandlast wird der nächsten darunterliegenden anrechenbaren Fläche zugeschlagen. Dies stellt eine Verschärfung der Vorschriften dar.

Weitere wichtige Änderungen in der neuen Norm ist die Berücksichtigung von Einrichtungsschutzanlagen (z. B. selbsttätige Feuerlöschanlagen) für die Abmilderung von Brandlasten und neue Festlegungen zur Anrechenbarkeit von Öffnungen bei der Berechnung des Wärmeabzugs.

Europäische Zusammenarbeit

In der European Concrete Platform-Arbeitsgruppe „Fire Safety with Concrete“ arbeiten die europäischen Verbände der Betonfertigteil- (BIBM), der Transportbeton- (ERMCO) und der Zementindustrie unter Beteiligung von Vertretern aus 14 Nationen zum Zweck der Förderung der Betonbauweise unter Brandschutzgesichtspunkten zusammen. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit werden auch die Entwicklungen im Bereich der internationalen Normung auf dem Gebiet des vorbeugenden Brandschutzes begleitet.

Eine Anfang 2007 in englischer Sprache von der Arbeitsgruppe verabschiedete Broschüre mit dem Titel „Comprehensive fire protection and safety with concrete“ erschien im Jahr 2008 auch in deutscher Sprache unter dem Titel „Umfassender Brandschutz mit Beton“ (Bild V-42). Diese Zusammenstellung richtet sich an Planer, Bauherren, Behörden, Versicherungen und an die Allgemeinheit. Sie soll zeigen, wie Beton dazu eingesetzt werden kann, einen umfassenden Brandschutz, d.h. Personenschutz, Sachschutz und Umweltschutz, zu verwirklichen.

Internationale Entwicklungen auf dem Gebiet des Brandschutzes

Die traditionelle Tragwerksbemessung für den Brandfall erfolgt über Normtabellen, in denen die Mindestabmessungen bzw. Schutzbekleidungen für Einzelbauteile festgelegt sind, damit diese die erforderliche Feuerwiderstandsklasse erreichen. Grundlage dieser Tabellen sind Normbrände, die eine standardisierte Temperaturentwicklung über einen Brandzeitraum abbilden, z. B. die Einheits-Temperaturzeitkurve nach DIN 4102 Teil 2. Für Betonbauteile sind hohe Feuerwiderstandsdauern von mehr als 120 Minuten ohne Bekleidungen oder dämmschichtbildende Beschichtungen zu erreichen, wenn die Bauteilabmessungen und die Betondeckung ausreichend dimensioniert werden.

„Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ (FSE nach engl. Fire Safety Engineering) wurden in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren entwickelt. Ihr Ziel ist eine möglichst realistische, ganzheitliche Abschätzung der Auswirkungen von Bränden auf ein Gebäude oder einen Gebäudeteil. Man will sich also nicht mehr darauf beschränken, Einzelbauteile auf Normbrände zu bemessen. In einer typischen Bemessung mittels Ingenieurmethoden des Brandschutzes werden zunächst Schutzziele definiert. Vorrangiges Schutzziel ist das Leben und die Gesundheit von Personen, es können aber auch Sachschutzziele festgelegt werden. Brände werden unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Brandlasten und der Geometrie der betrachteten Brandabschnitte modelliert und die thermischen und mechanischen Auswirkungen auf die umgebenden Bauteile werden bestimmt. Berücksichtigt werden z. B. auch eine automatische Branderkennung oder eine aktive Brandbekämpfung über automatische Feuerlöschanlagen oder die Feuerwehr. Oftmals werden Computerpro-



Bild V-42: Broschüre „Umfassender Brandschutz mit Beton“

gramme eingesetzt, um die Auswirkungen eines Brandes oder das Verhalten von Personengruppen bei Flucht aus einem brennenden Gebäude zu simulieren. In vielen Fällen werden durch FSE die Anforderungen an den Brandschutz der Einzelbauteile abgemildert.

Auch in die Eurocodes, die harmonisierten europäischen Regeln zur Tragwerksbemessung, haben die Ingenieurmethoden des Brandschutzes Eingang gefunden. Die zehn Eurocodes bestehen aus insgesamt 58 Teilen, die alle bis Ende 2007 veröffentlicht wurden. Im Eurocode 2, der aus vier Teilen besteht, ist die Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken geregelt. Momentan werden in den beteiligten Mitgliedsstaaten die Nationalen Anhänge erstellt, in denen für bestimmte Parameter oder Verfahren der Eurocodes nationale Festlegungen getroffen

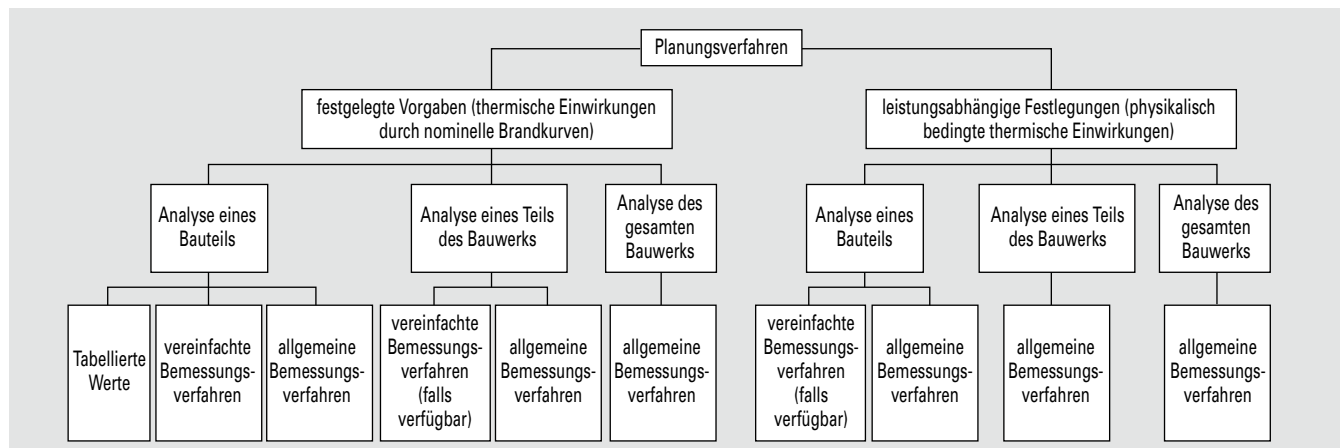


Bild V-43: Bemessungsverfahren nach den Eurocode-Brandschutzteilen (Auszug)



Bild V-44:
AVR-Versuchs-
reaktor mit
Material-
schleuse (links)
und Baustel-
lenzelt zur
Verfüllung des
Reaktorbehäl-
ters (rechts)

werden. Das „Leitpapier L“ der Europäischen Kommission sieht eine vollständige Implementierung der Eurocodes bis zum Jahr 2010 vor.

Bild V-43 zeigt die vielfältigen Möglichkeiten der Brandbemessung nach den Eurocodes. Die Ingenieurmethoden des Brandschutzes finden sich hier unter dem Begriff „Allgemeine Bemessungsverfahren“ wieder. Die Entscheidung, ob die Verwendung von allgemeinen Bemessungsverfahren in einem Mitgliedsstaat zulässig ist, ist in den Nationalen Anhängen geregelt. Viele Mitgliedsstaaten lassen die Anwendung nur mit Einschränkungen zu. So wird beispielsweise festgelegt, dass die Anwendung auf Spezialisten mit ausreichender Erfahrung beschränkt bleibt. Die Beton- und Zementindustrie befürwortet diese Einschränkungen, da unsachgemäßes Vorgehen bei der Anwendung von FSE leicht zu unzutreffenden Einschätzungen bzw. Bewertungen bei den Berechnungen und damit zu falschen Ergebnissen bei den Anforderungen führen kann.

Im Rahmen der europäischen Zusammenarbeit auf der Ebene der European Concrete Platform (ECP) hat die European Cement Research Academy (ECRA) eine maßgebliche Rolle übernommen und wird somit die weiteren Arbeiten an den Eurocodes, die Beton und Brandschutz betreffen, in den entsprechenden Normungsgremien in Zukunft aktiv begleiten. Des Weiteren werden die Nationalen Anhänge zum Eurocode 2, Teil 1-2, der die Brandschutzbemessung von Betontragwerken regelt, ausgewertet und verglichen, um so eine bessere Harmonisierung in Europa zu fördern.

Beispiele aus Beratung, Gutachten in der Beton-technik ■

In den letzten Jahren hat die Nachfrage nach betontechnologischer Beratung und gutachterlicher Tätigkeit durch das Forschungsinstitut der Zementindustrie deutlich zugenommen. Als Schwerpunkte sind zu nennen:

- Entwicklung optimierter Beton- und Mörtelmischungen für den jeweiligen Anwendungsbereich des Kunden
- Durchführung von Bauwerksanalysen und Bewertung
- Erstellung von Instandsetzungskonzepten
- Fragestellungen zur Alkali-Kieselsäure-Reaktion und der Bewertung von Gesteinskörnungen (vgl. Abschnitt Alkali-Kieselsäure-Reaktion)
- Chemischer Angriff auf Beton

Spezialisten in allen betontechnischen Bereichen, die in den entsprechenden nationalen und internationalen Gremien vertreten sind und über umfassende Erfahrungen aus Labor und Praxis verfügen, ermöglichen effiziente Lösungen der zum Teil komplexen Problemstellungen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit den Experten aus den Fachbereichen der Mineralogie, Chemie, Physik und Verfahrenstechnik der anderen Abteilungen des Forschungsinstituts ist in diesem Zusammenhang von besonderem Vorteil.

Im Folgenden wird ein Projekt aus dem Bereich der Entwicklung optimierter Beton- und Mörtelmischungen vorgestellt, bei dem die betontechnologische Unterstützung des Forschungsinstituts hinzugezogen wurde. Insbesondere aufgrund der weitreichenden Erfahrungen aus den Forschungsarbeiten und den Entwicklungen zum selbst-

verdichtenden Beton sowie der Erfahrung auf dem Gebiet von Spezialbetonen konnten effiziente Lösungsvorschläge erarbeitet werden.

Verfüllung des Versuchsreaktors der AVR GmbH

Das Versuchskernkraftwerk der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH (AVR) wurde in den fünfziger Jahren geplant und lieferte erstmalig Ende 1967 Strom an das Netz. Am 31.12.1988 wurde die Anlage nach 21jährigem Betrieb stillgelegt. Bei dem Versuchskernkraftwerk handelte es sich um einen heliumgasgekühlten und grafitmoderierten Hochtemperaturreaktor (HTR) mit einer Leistung von 15 MW. Entsprechend den erteilten atomrechtlichen Genehmigungen wurden seit 1994 Arbeiten zur Stilllegung, zur Entladung des Reaktorkerns, zum Abbau von Anlagenteilen sowie zur Errichtung einer Materialschleuse durchgeführt (**Bild V-44**). Für den vollständigen Rückbau der Anlage plante die AVR, den Reaktorbehälter mit einem Porenleichtbeton (PLB) zu befüllen, um die Einbauten im Reaktorbehälter für die Demontage zu fixieren. Der mit PLB gefüllte Reaktorbehälter soll unzerlegt aus dem Reaktorgebäude entfernt werden, um ihn in ein Zwischenlager auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich zu transportieren. Dort soll der Reaktorbehälter bis zur endlagergerechten Konditionierung sicher zwischengelagert werden.

Anforderungen an den PLB

Die betontechnische Entwicklung des PLB erfolgte durch die Fa. Schlumberger Oilfield Services GmbH, Vechta (SLB) mit Unterstützung des Forschungsinstituts. Neben der Fixierung der Einbauten im Reaktorbehälter ist eine erhöhte Störfallsicherheit, u. a. durch das Binden von staubförmig vorliegendem radioaktivem Grafit unerlässlich. Folgende wesentliche Anforderungen wurden an den PLB gestellt:

- Geringe Rohdichte als wichtigste Anforderung an den PLB. Zur Begrenzung des Maximalgewichts des Reaktorbehälters sollte der PLB im eingebauten, erhärteten und konservierten Zustand eine Rohdichte von $\rho \approx 0,7 \text{ kg/dm}^3$ aufweisen.
- Druckfestigkeit von mindestens 2 N/mm^2 zur Fixierung der Einbauten und Gewährleistung der Störfallsicherheit,
- Verarbeitbarkeit und Pumpbarkeit über einen Zeitraum von mehreren Stunden,
- Spaltgängigkeit,
- chemisch „inertes“ Verhalten gegenüber Graphit, Kohlestein und Stahl
- Fixierung staubförmigen Grafits,

- geringe Hydratationswärmeentwicklung,
- radiologische Beständigkeit,
- Langzeitbeständigkeit

Die Frisch- und Festbetoneigenschaften des PLB wurden in zahlreichen Laborversuchen im FIZ und bei Versuchen unter Praxisbedingungen auf dem Gelände von SLB untersucht und dokumentiert. Die Rohdichte des Frisch- und Festbetons betrug bei Atmosphärendruck wie geplant rd. $0,7 \text{ kg/dm}^3$. Unter dem Einfluss erhöhter Drücke, wie sie z. B. beim Verpumpen oder durch die hydrostatische Druckhöhe des Reaktorbehälters entstehen können, stieg die Rohdichte auf maximal $0,8 \text{ kg/dm}^3$ an. Die Druckfestigkeit des konservierten PLB betrug nach einem halben Jahr rd. 4 N/mm^2 . Die Fließfähigkeit des PLB wurde anhand rheologischer Untersuchungen beurteilt. Die Laborergebnisse zeigten, dass der PLB bis zu Temperaturen von $30 \text{ }^\circ\text{C}$ und bis zu einem Alter von rd. sechs Stunden eine ausreichend hohe Fließfähigkeit aufwies und pumpbar war. Unter Praxisbedingungen mit Temperaturen von rd. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ war der PLB bis rd. elf Stunden fließfähig und pumpbar. Der PLB wies keine korrosionsfördernde Wirkung auf Stahl auf.

Verfüllung des Reaktorbehälters

Zur Sicherung der Qualität des PLB erstellte das FIZ ein Überwachungskonzept, in dem die Maßnahmen zur Fremdüberwachung der Ausgangsstoffe, der Frischbetoneigenschaften während der Verfüllung des Reaktorbehälters und der Festbetoneigenschaften nach der Verfüllung festgelegt wurden. Im Rahmen dieses Fremdüberwachungskonzepts überwachte das FIZ im Vorfeld der Verfüllung die Qualität und Gleichmäßigkeit der Aus-



Bild V-45: Blick auf vier von acht Anmischttanks, einen Teil der Silos mit Ausgangsstoffen und den mobilen Kran im Inneren des Baustellenzelts während der Verfüllung des Reaktorbehälters

gangsstoffe. Die Eignung der Ausgangsstoffe zur Herstellung von PLB für die Verfüllung wurde anhand von chemisch-mineralogischen Analysen und Eignungsprüfungen untersucht. Zudem wurde die Portionierung der Ausgangsstoffe vor der Verfüllung überwacht. Während der Verfüllung wurden die folgenden Frischbetoneigenschaften überprüft:

- Frischbetonrohndichte,
- Frischbetontemperatur,
- pH-Wert,
- Scherwiderstand,
- Sedimentationsstabilität.

Insgesamt wurden 20 Chargen PLB zu jeweils rd. 25 m^3 angemischt (**Bild V-45**). Alle Chargen erfüllten die im Fremdüber-

wachungskonzept festgelegten Anforderungen und die Anforderungen des Auftraggebers. Die Verfüllung der etwa 500 m^3 PLB in den Reaktorbehälter war nach etwa zehn Stunden erfolgreich abgeschlossen.

Neben der betontechnischen Beratung und der Erstellung von gutachtlichen Stellungnahmen können durch das Forschungsinstitut auch nahezu alle betontechnologischen Untersuchungen und Prüfungen im Rahmen von Auftragsuntersuchungen durchgeführt werden. Die üblichen genormten Prüfungen sind nach EN ISO 17025 akkreditiert. Um auch für zukünftige Fragestellungen gut gerüstet zu sein, wird das Prüfequipment ständig erweitert.

VI

Umweltverträglichkeit von Zement und Beton



Wasserentnahmeturm der Trinkwassertalsperre Frauenau

Umweltkriterien für zementgebundene Baustoffe ■

Zementgebundene Baustoffe spielen in Industrienationen die wichtigste Rolle für die Erstellung zuverlässiger und dauerhafter Bauteile und -werke. Demgemäß hat eine umweltverträgliche Zementherstellung und -verwendung große Bedeutung. Die Zementindustrie war und ist sich ihrer Verantwortung für die Umwelt bewusst und befasst sich bereits seit vielen Jahren mit der Umweltverträglichkeit zementgebundener Baustoffe in allen Lebensphasen. Dies umfasst die Zementherstellung und -verarbeitung, die Nutzung von Mörtel und Beton sowie die Entsorgung.

Beim Klinkerbrennprozess handelt es sich um einen Stoffumwandlungsprozess, der sich durch das stark basisch reagierende Brenngut, die hohen Brennguttemperaturen von etwa 1450 °C sowie den intensiven Kontakt zwischen den Feststoffen und dem Ofengas mit Gastemperaturen von bis 2000 °C auszeichnet. Drehrohrofenanlagen der Zementindustrie bieten damit hervorragende Bedingungen für die zuverlässige und umweltverträgliche Verwertung vieler Reststoffe. Grundsätzlich kommen in der deutschen Zementindustrie nur solche Reststoffe zum Einsatz, die die Emissionen, die Gleichmäßigkeit und die bautechnischen Eigenschaften des Zements sowie dessen Umweltverträglichkeit nicht beeinträchtigen.

Umfangreiche Untersuchungen des Forschungsinstituts belegen, dass der heute übliche Einsatz von Sekundärstoffen in der deutschen Zementindustrie zu keiner wesentlichen Änderung der Spurenelementgehalte im Produkt führt. Insgesamt gesehen liegen die Spurenelementgehalte deutscher Zemente in der gleichen Größenordnung wie die Gehalte in natürlichen Gesteinen, Böden oder Tonen. Dies gilt unabhängig davon, ob bei der Zementherstellung Sekundärstoffe eingesetzt werden oder nicht.

Sekundärstoffeinsatz

Der Klinkerbrennprozess ist aufgrund seiner prozessspezifischen Gegebenheiten sehr gut für die energetische und stoffliche Verwertung zahlreicher Sekundärstoffe geeignet. Im Jahr 2008 wurden rund 54 % des Brennstoffenergieverbrauchs der deutschen Zementindustrie durch Sekundärstoffe gedeckt. Die größte Bedeutung haben dabei aufbereitete Fraktionen aus Industrie- und

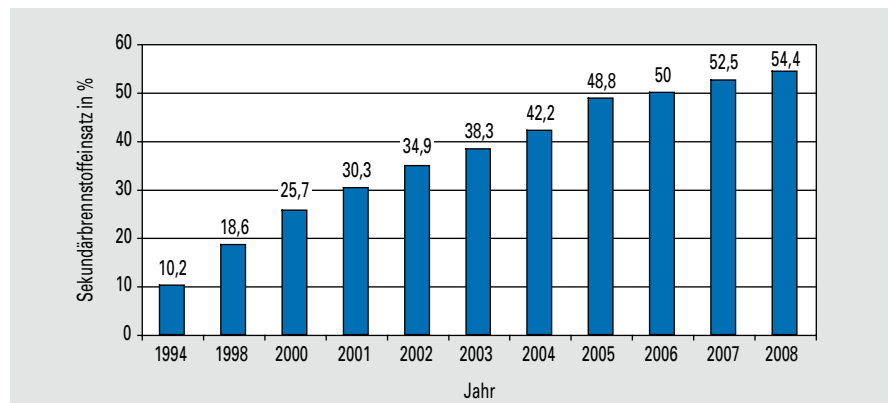


Bild VI-1: Entwicklung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der deutschen Zementindustrie

Gewerbeabfällen, Altreifen, Altöl, Tiermehle und -fette sowie Altholz.

Bild VI-1 zeigt die Entwicklung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der deutschen Zementindustrie. Die energetische Verwertung leistet einen Beitrag zur CO₂-Minderung, ohne dass dabei produktionsspezifische Reststoffe anfallen. Die hohen Temperaturen der Drehofenfeuerung gewährleisten, dass organische Substanzen praktisch vollständig zu Kohlendioxid und Wasser umgesetzt werden. Die Emissionskonzentrationen organischer Verbindungen wie Dioxine, Furane usw. sind deshalb sehr gering. Dies gilt unabhängig von den eingesetzten Brennstoffen.

Sekundärrohstoffe können je nach ihrer chemischen Zusammensetzung Rohmaterialkomponenten ersetzen bzw. eignen sich als Korrekturstoffe für die Rohmischung. Nach ihren Hauptbestandteilen kann man sie in Calcium-, Silicium-, Eisen-, Aluminium-, Schwefel- oder Fluorträger einteilen. Für die Klinkerherstellung werden vor allem Flugaschen, Gießereialtsande, Kalkabfälle sowie Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie eingesetzt. Bei der Zementmahlung werden insbesondere Hütten- und Gipse aus der Rauchgasentschwefelung verwertet.

Spurenelemente im Zement

Zement enthält wie alle aus natürlichen Rohstoffen stammenden Baustoffe geringe Mengen Spurenelemente. Für den Spurenelementgehalt im Zementklinker sind im Wesentlichen die Spurenelementgehalte in den zur Klinkerherstellung verwendeten Rohmaterialien maßgebend, die sich aufgrund der geochemischen Zusammensetzung der Rohstoffvorkommen deutlich unterscheiden können.

Beim Klinkerbrennprozess bestimmen die physikalischen/chemischen Eigenschaften

der Spurenelemente das Verdampfungs- und Kondensationsverhalten. Nichtflüchtige Elemente wie zum Beispiel Arsen, Beryllium, Chrom, Kupfer, Nickel, Vanadium und Zink sowie schwerflüchtige Elemente wie zum Beispiel Blei und Cadmium werden praktisch vollständig mit dem Klinker aus dem Ofensystem ausgetragen. Das leichtflüchtige Element Thallium wird im Vorwärmer zurückgehalten, sodass sich ein sogenannter innerer Kreislauf aufbaut. Das hochflüchtige Element Quecksilber kann in den Abgasreinigungseinrichtungen bei Temperaturen unterhalb von etwa 120 °C auf Staubpartikeln kondensieren und mit diesen abgeschieden werden.

Werden natürliche Einsatzstoffe durch geeignete sekundäre Brenn- und/oder Rohstoffe ersetzt, so ist deren Spurenelementgehalt ein wichtiges Beurteilungskriterium. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Sekundärstoffe nur einen entsprechenden Anteil ebenfalls spurenelementhaltiger, primärer Einsatzstoffe ersetzen. Bei dem heute üblichen Einsatz von Sekundärstoffen in der deutschen Zementindustrie können sowohl geringfügige Erhöhungen als auch Verminderungen der Spurenelementgehalte in den Zementen auftreten. Diese Veränderungen werden jedoch üblicherweise durch die natürlichen Konzentrationsschwankungen in den primären Einsatzstoffen überdeckt.

Bereits 1995 untersuchte das Forschungsinstitut erstmalig rd. 100 Portlandzemente aus dem Überwachungszeitraum 1994 auf zehn Spurenelemente. 1999 und 2002 wurden sämtliche in Deutschland hergestellten und durch das Forschungsinstitut überwachten Zemente aus einer Prüfperiode der Jahre 1998 und 2001 hinsichtlich der im nationalen Luftreinhaltegesetz vorgesehenen Elemente zuzüglich Beryllium und Zink analysiert. Um diese Datenbasis weiter zu vertiefen und zu aktualisieren, wur-

den im Berichtszeitraum erneut alle Zemente einer Prüfperiode des Jahres 2005 untersucht. Im **Bild VI-2** sind die Mittelwerte der Spurenelementgehalte der untersuchten Normzemente für die vier Herstellungszeiträume aufgetragen. Aus dem Bild geht hervor, dass sich die Spurenelementgehalte nicht wesentlich verändert haben, obwohl sich der Sekundärbrennstoffeinsatz von 1994 bis 2005 mehr als verfünffacht hat (vgl. Bild VI-1).

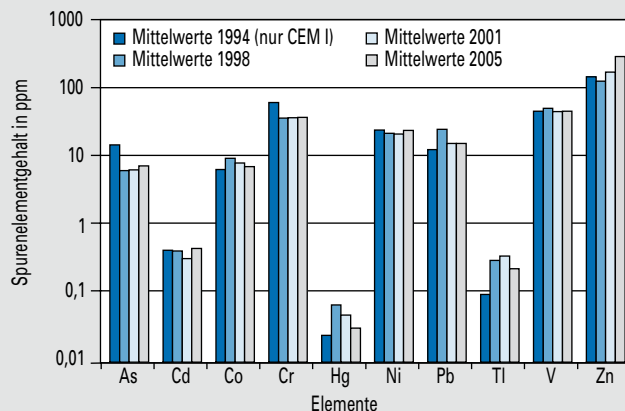
Spurenelementfreisetzung

Zementgebundene Baustoffe enthalten, genau wie alle aus natürlichen Rohstoffquellen stammenden Baumaterialien, in geringen Konzentrationen Spurenelemente, die über den Zement, die Gesteinskörnungen und gegebenenfalls Betonzusatzstoffe eingetragen werden. Der Spurenelementgehalt des Zugabewassers und der von Betonzusatzmitteln ist erfahrungsgemäß nur gering und kann bei der Gesamtbetrachtung vernachlässigt werden. Für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines Baustoffes ist jedoch nicht der Gehalt möglicherweise bedenklicher Substanzen entscheidend, sondern nur der Anteil, der während der Herstellung, Nutzung und gegebenenfalls beim Abbruch oder der Wiederverwendung auf die Umweltmedien Wasser, Boden oder Luft übergehen kann.

Zement zeigt unmittelbar nach dem ersten Kontakt mit dem Zugabewasser eine Serie komplexer chemischer Reaktionen, bei denen zum Beispiel Calciumsulfat und ein geringer Anteil des Tricalciumaluminats (C_3A) in Lösung gehen und erste Reaktionsprodukte, wie Calciumhydroxid und Trisulfat (Ettringit), entstehen. Dabei stellt sich in der Zementleimsuspension nach wenigen Minuten ein pH-Wert von 12,7 bis 12,9 ein. Infolge dieser hohen Alkalität werden zahlreiche Metallionen, wie zum Beispiel die von Cadmium, Quecksilber, Mangan, Cobalt und Nickel, die eventuell beim Kontakt des Zements mit dem Zugabewasser in Lösung gehen, unmittelbar wieder als unlösliche Hydroxide ausgefällt. Spurenelemente wie zum Beispiel Arsen oder Molybdän, die Oxo-Anionen bilden, fallen als unlösliche Calciumverbindungen aus. Andere Spurenelemente werden im weiteren Hydratationsverlauf an den gebildeten Zementphasen sorbiert oder in deren Kristallgitter eingebaut.

Das Auslagverhalten umweltrelevanter Bestandteile aus Festbeton ist sehr gut untersucht und es liegen zahlreiche wissenschaftlich abgesicherte Ergebnisse vor. Insgesamt haben alle Untersuchungen gezeigt, dass nicht die nachweisbare Menge eines

Bild VI-2: Vergleich der mittleren Spurenelementgehalte in deutschen Normzementen



Spurenelements in einem zementgebundenen Baustoff entscheidend für eine Freisetzung ist, sondern nur der geringe Anteil, der im Porenwasser des Zementsteins gelöst vorliegt.

Neben den chemischen Wechselwirkungen der Spurenelemente mit den Hydratationsprodukten kommt hinzu, dass sich bei der Erhärtung zementgebundener Baustoffe ein festes, weitgehend wasserdichtes Gefüge ausbildet. So kann die Diffusionsgeschwindigkeit einer Substanz in sachgerecht hergestellten Betonen um einen Faktor bis zu 5000 gegenüber der freien Diffusion in Wasser gemindert werden. Eine Auslaugung im Porenwasser gelöster Substanzen aus Festmörteln oder -betonen ist deshalb nur durch Diffusionsprozesse in flüssigkeitsgefüllten Poren möglich. Die Diffusionsgeschwindigkeit ist aufgrund der niedrigen Konzentrationen der Bestandteile im Porenwasser nur sehr gering und die freigesetzten Mengen nehmen rasch ab. Insgesamt kann festgestellt werden, dass zementgebundene Baustoffe unter üblichen Anwendungsbedingungen keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt haben.

Im Berichtszeitraum wurde das bereits vor mehreren Jahren von einem europäischen Konsortium begonnene Forschungsvorhaben „Environmental Criteria for Cement Based Products (ECRICEM)“ abgeschlossen. Forschungspartner waren:

- das Energy Research Centre for the Netherlands (ECN),
- die Holcim Group Support Ltd,
- Holcim Belgium,
- NORCEM, HEIDELBERGCEMENT Group,
- und der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ).

Schwerpunkt der Forschungsarbeiten war zunächst die Ermittlung des Freisetzungsv

verhaltens zementgebundener Baustoffe, die mit weltweit bezogenen Zementen (Portlandzement und Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen) mit möglichst hohen Spurenelementgehalten hergestellt wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen haben das günstige Umweltverhalten zementgebundener Baustoffe bestätigt. Sie haben auch gezeigt, dass alle untersuchten Zemente – unabhängig von der Zementart – generell eine gleichartige Freisetzungsscharakteristik aufweisen. So liegt die Bandbreite der Auslaugergebnisse des Trogtests für viele Elemente nur um einen Faktor 2,5 oberhalb oder unterhalb des Mittelwertes.

In **Tafel VI-1** sind die Mittelwerte der ausgelaugten Spurenelementmengen, bezogen auf den jeweiligen Gesamtgehalt in den untersuchten Mörteln, die mit zwanzig verschiedenen Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen hergestellt wurden, zusammengefasst. Dabei wurden die folgenden drei Auslagungsverfahren eingesetzt:

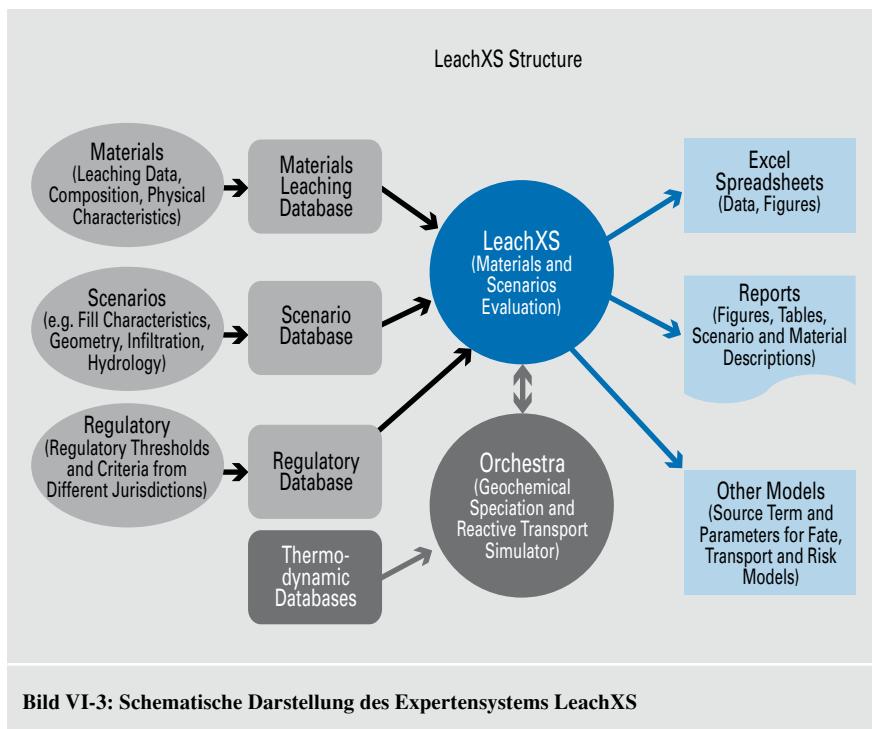
- der niederländische Verfügbarkeitstest (NEN 7341) an gemahlten Proben mit einer Korngröße $< 125 \mu\text{m}$ bei pH-Werten von 4 und 7 und Auslagzeiten von drei Stunden je pH-Wert als Aufschlussverfahren
- ein Batchverfahren an zerkleinerten Proben mit einer Korngröße $< 2 \text{ mm}$ bei einem pH-Wert von 8 und einer Auslagzeit von 48 Stunden
- ein Trogverfahren (in Anlehnung an den niederländischen Diffusionstest NEN 7345) an Mörtelprismen ($16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$) ohne künstliche pH-Werteinstellung über eine Gesamtauslagzeit von 64 Tagen als Basis für die Berechnung der in 100 Jahren ausgelaugten Stoffmengen

Aus **Tafel VI-1** geht hervor, dass sich die freigesetzten Spurenelementmengen für die drei Verfahren um Größenordnungen

Tafel VI-1: Mittelwerte der ausgelaugten Spurenelementmengen, bezogen auf den jeweiligen Gesamtgehalt, für drei verschiedene Auslaugverfahren

Element	Ausgelaugte Spurenelementmenge in % des Gesamtgehalts		
	Verfügbarkeitstest Korngröße < 125 µm pH-Wert = 4 und 7	Batchverfahren Korngröße < 2 mm pH-Wert = 8	Trogverfahren *) Mörtelprismen 16 x 4 x 4 cm ³
Arsen (As)	2,0	0,60	0,01
Barium (Ba)	14	4,2	0,10
Cadmium (Cd)	8,7	0,94	0,16
Cobalt (Co)	90	2,0	0,02
Chrom (Cr)	5,1	2,5	0,04
Kupfer (Cu)	8,1	0,03	0,02
Quecksilber (Hg)	10	4,8	< 0,02
Mangan (Mn)	10	0,74	0,0003
Molybdän (Mo)	70	3,2	0,05
Nickel (Ni)	20	2,1	0,02
Blei (Pb)	2,9	0,60	0,01
Antimon (Sb)	8,6	1,3	0,04
Vanadium (V)	1,0	0,43	0,006
Zink (Zn)	15	0,05	0,02
Zinn (Sn)	2,9	1,1	0,15

*) auf 100 Jahre Standzeit hochgerechnet

**Bild VI-3: Schematische Darstellung des Expertensystems LeachXS**

voneinander unterscheiden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die ausgelaugten Elementmengen beim Trogversuch auf einen Zeitraum von 100 Jahren bezogen sind. Diese Ergebnisse zeigen einerseits, dass die Abgabe von Spurenelementen aus zementgebundenen Baustoffen unter üblichen Anwendungsbedingungen keine Umweltrelevanz hat. Andererseits wird deutlich, dass Prüfverfahren, bei denen das gezielt herge-

stellte, weitgehend dichte Mörtel- bzw. Betongefüge während der Untersuchung wieder zerstört wird, für eine praxisgerechte Beurteilung zementgebundener Materialien nicht geeignet sind.

Nach Abschluss der experimentellen Arbeiten im Jahr 2004 wurde intensiv an der Modellierung chemischer Reaktionen in zementgebundenen Baustoffen gearbeitet.

Dabei wurde für die Modellrechnungen das Expertensystem LeachXS eingesetzt (**Bild VI-3**). Das Verständnis der „kontrollierenden“ Faktoren, die die Löslichkeit eines Spurenelements im Porenwasser und damit auch die diffusionskontrollierte Freisetzung bestimmen, ist für die Bewertung des Langzeitauslaugverhaltens zementgebundener Baustoffe unerlässlich. So kann ein bestimmtes Spurenelement nicht für sich alleine betrachtet werden, sondern nur in Wechselwirkung mit den anderen Komponenten im Porenwasser und mit den Zementhydratphasen. Eine Berücksichtigung dieser Wechselwirkungen, zum Beispiel die Bildung schwerlöslicher Verbindungen wie Bleichromat, die die Freisetzung der entsprechenden Elemente entscheidend beeinflussen können, ist nur durch Modellrechnungen möglich.

Auch Effekte wie die Carbonatisierung, die Ausbildung von Carbonatschutzschichten usw. auf die Freisetzung von Spurenelementen aus Betonen in Kontakt mit Oberflächenwasser, Grundwasser oder Boden lassen sich durch Laborexperimente nur schwerlich simulieren. In diesem Fall können mechanistische Modellrechnungen angewendet werden, die zumindest eine Abschätzung der Auswirkungen dieser Effekte auf die Spurenelementauslaugung ermöglichen. Anhand experimenteller Ergebnisse, zum Beispiel von Langzeitauslaugversuchen in einem Standtest (**Bild VI-4**), und entsprechender Modellrechnungen lässt sich dann der sogenannte „Quellterm“ für die Auslaugung ermitteln.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse des ECRICEM-Projektes eine solide, wissenschaftlich abgesicherte Basis für die anstehenden europäischen Normungsarbeiten zur Verankerung der wesentlichen Anforderungen Nr. 3 „Hygiene, Gesundheit und Umwelt“ in den harmonisierten europäischen Produktnormen bieten (siehe Abschnitt Europäische Bauproduktenrichtlinie).

REACH ■

Seit dem 1. Juni 2007 ist die neue europäische Verordnung 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe, kurz REACH-Verordnung (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), in Kraft (Zeitplan: **Bild VI-5**). Die zugehörigen Anhänge IV und V „Ausnahmen von der Registrierungspflicht“ wurden erst im Oktober 2008 verabschiedet. Seitdem ist offiziell, dass Zementklinker von der Registrierungspflicht unter REACH ausge-

nommen sind. Dies gilt nicht nur für Portlandzementklinker, sondern auch für Calciumaluminat- und Calciumsulfoaluminat-klinker. Gleichfalls ausgenommen sind Naturstoffe wie Kalksteine und Puzzolane, sofern diese nicht chemisch modifiziert wurden. Alle anderen hergestellten und importierten Stoffe müssen innerhalb der nächsten Jahre registriert werden. Verlängerte Registrierungsfristen können aber nur dann in Anspruch genommen werden, wenn der Stoff vorregistriert wurde. Hierzu bestand die Möglichkeit zwischen dem 1.6.2008 und dem 1.12.2008. Von den für die Zementherstellung üblicherweise eingesetzten Stoffen wurden u. a. Steinkohlenflugaschen, Hüttensande, Calciumsulfate und Chromatreduzierer vorregistriert. Auch Zementhersteller können in der Rolle des Registranten sein, wenn sie solche Stoffe selber herstellen oder importieren.

Die im Zementwerk anfallenden Bypass- und Ofenstäube fallen unter die REACH-Verordnung, wenn sie als Produkt und nicht als Abfall deklariert werden. Aufgrund der sehr variablen Zusammensetzung mit hohen Anteilen an Alkalisalzen und Freikalk können möglicherweise nicht alle Stäube als Klinkerstaub eingestuft werden. Eine eigene Registrierung ist dann erforderlich, um die Stäube auch weiterhin als Produkt oder in Produkten vermarkten zu können. Deshalb wurden diese Stäube als Kaminstaub, Portlandzement unter der EC-Nummer 270-659-9 vorregistriert. Der VDZ fungiert für viele Zementwerke als „Third Party Representative“ während der pre-SIEF-Phase (Substance Information Exchange Forum). Gemeinsam mit anderen Registranten wird geklärt, welche Stäube anfallen und unter welchen Voraussetzungen diese gemeinsam registriert werden können.

Die REACH-Verordnung fordert, für jeden Stoff, also auch für Portlandzementklinker, eine gefahrstoffrechtliche Einstufung bis Ende 2010 an die neue europäische Chemikalienagentur (ECHA) zu melden.

Das komplexe Thema REACH-Verordnung und die sich daraus für die Zementhersteller ergebenden vielfältigen Erfordernisse wurden während der letzten drei Jahre von der REACH-Arbeitsgruppe innerhalb des VDZ – eingebunden in die Arbeit der Working Group 4 des CEMBUREAU – begleitet.

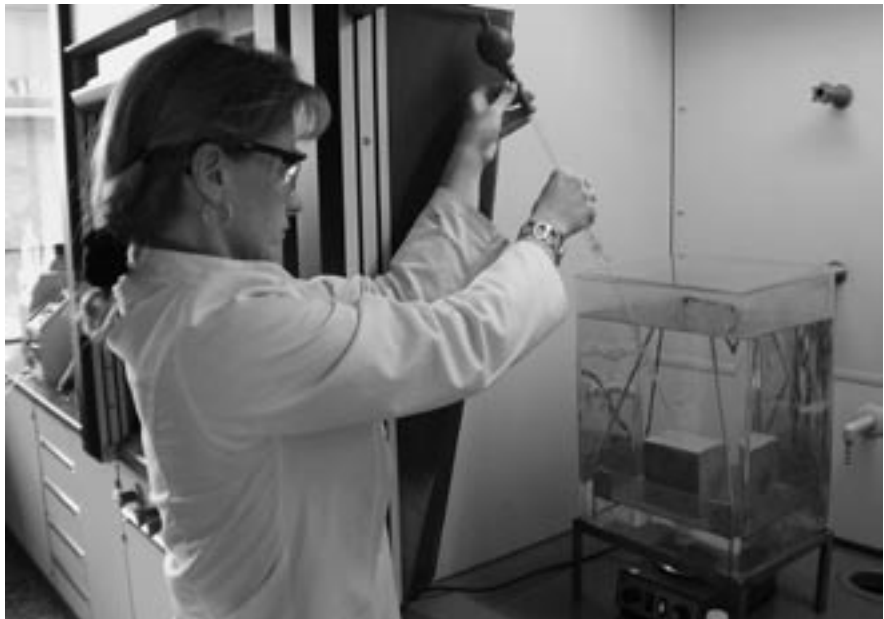


Bild VI-4: Auslaugung eines Betonprüfkörpers (Abmessung 10 x 10 x 10 cm³) im Langzeitstandtest

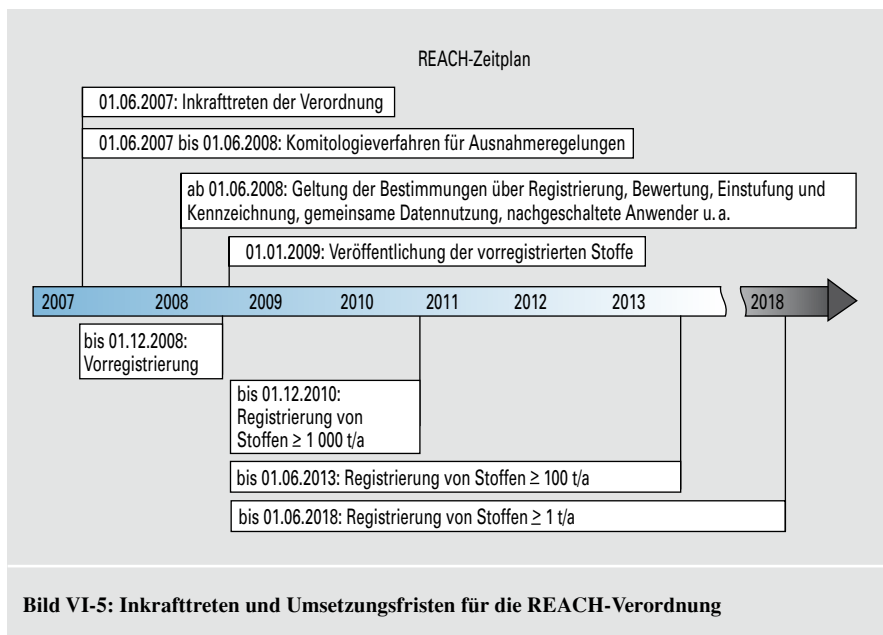


Bild VI-5: Inkrafttreten und Umsetzungsfristen für die REACH-Verordnung

Europäische Bauproduktenrichtlinie ■

Die europäische Bauproduktenrichtlinie (Construction Products Directive, CPD) fordert, dass nur solche Bauprodukte auf dem europäischen Binnenmarkt gehandelt werden dürfen, die für die vorgesehene Verwendung geeignet sind. Neben den traditionell im Baurecht verankerten Anforderungen, wie zum Beispiel an die Standsicherheit, den Brandschutz und die Nutzungssicherheit, nimmt sie gezielt Bezug auf den Schutz von Hygiene, Gesundheit und Umwelt (Wesentliche Anforderung Nr. 3). Zurzeit wird die Bauproduktenrichtlinie überarbeitet und soll zukünftig

in eine rechtsverbindliche Verordnung (Construction Products Regulation, CPR) überführt werden.

Während die CPD hinsichtlich der „Wesentlichen Anforderung Nr. 3“ ausschließlich die Gebrauchsphase eines Bauwerks umfasst, sieht der Entwurf der CPR eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks, d. h. von der Erstellung über die Gebrauchsphase bis hin zum Rückbau, vor. Außerdem beinhaltet der Entwurf der CPR die neue „Wesentliche Anforderung Nr. 7: Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“. Diese neue Anforderung soll die Recyclingfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Bauwerken sowie den



Einsatz umweltverträglicher sekundärer Materialien bei der Errichtung von Bauwerken gewährleisten.

Mandat M/366 und CEN/TC 351

Zur Umsetzung der „Wesentlichen Anforderung Nr. 3“ hat die Europäische Kommission Anfang des Jahres 2005 das Mandat M/366 „Entwicklung horizontaler genormter Bewertungsmethoden für harmonisierte Konzepte zu gefährlichen Stoffen gemäß der Bauproduktenrichtlinie – Emissionen in Raumluft, Boden, Oberflächenwasser und Grundwasser“ erteilt. Dieses Mandat beruht auf der bestehenden CPD, d. h. es wird nur die Gebrauchsphase eines Produktes betrachtet. Welche Auswirkungen die kommende CPR auf die nachfolgend beschriebenen Aktivitäten des CEN/TC 351 hat, ist zurzeit noch nicht abzusehen.

Das Mandat sieht die Erarbeitung horizontaler Prüf- und Bewertungsverfahren durch das Europäische Komitee für Normung (CEN) vor, während die konkreten Anforderungen an die Bauprodukte weiterhin national von den einzelnen Mitgliedsstaaten festgelegt werden.

In dem Mandat ist eine mehrstufige Nachweisprozedur verankert, die sicherstellen soll, dass nur dort Prüfungen gefordert werden, wo dies für das jeweilige Bauprodukt tatsächlich notwendig ist. Im Einzelnen sind die folgenden Nachweisprozeduren vorgesehen:

- Nachweis ohne Prüfung (Without Testing), die sogenannte „WT-Prozedur“
- Nachweis ohne regelmäßige Prüfung (Without Further Testing), die sogenannte „WFT-Prozedur“
- Nachweis durch regelmäßige Prüfung (Further Testing), die sogenannte „FT-Prozedur“

Wie diese Nachweismöglichkeiten später umgesetzt werden, ist zurzeit noch nicht klar, da die Vorstellungen der EU-Kommission und des zuständigen CEN/TC 351 (siehe folgenden Abschnitt) hierzu nicht übereinstimmen. Gemäß der EU-Kommission soll die Entscheidung über die Zuordnung von Bauprodukten z. B. zur WT-Prozedur in Absprache mit den Mitgliedsstaaten, vertreten durch den „Ständigen Ausschuss für das Bauwesen (SCC)“, erfolgen. Dies würde bedeuten, dass für die WT-Prozedur europäisch jeweils die schärfsten Anforderungen einzuhalten sind, was dazu führen könnte, dass die WT-Prozedur nur für sehr wenige Bauprodukte in Frage kommt. Zurzeit finden intensive Gespräche zwischen der Kommission und CEN-Vertretern statt, um eine praktikable Vorgehensweise zu erreichen.

Normungsarbeiten im CEN/TC 351

Im Jahr 2006 wurde das Technische Komitee CEN/TC 351 „Bewertung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten“ gegründet, um die gemäß dem Mandat M/366 notwendigen Prüf- und Bewertungsverfahren auszuarbeiten. Entspre-

chend den unterschiedlichen vorgesehenen Nutzungsbedingungen der Bauprodukte wurden unterhalb der TCs die beiden folgenden Arbeitsgruppen eingerichtet:

- Arbeitsgruppe 1: Freisetzung in Boden und Grund-/Oberflächenwasser
- Arbeitsgruppe 2: Emissionen aus Bauprodukten in die Innenraumluft

Zur Vorbereitung der eigentlichen Normungsarbeiten wurde zunächst mit der Ausarbeitung von sechs Technischen Reports (CEN/TR) zu den Themen Handelsbarrieren, horizontale Prüfmethode und deren Gebrauch, WT, WFT/FT-Prozedur, Probenahme, Gehalt sowie Radioaktivität begonnen. Im Berichtszeitraum wurden die Reports „Handelsbarrieren“ und „WT, WFT/FT-Prozedur“ fertiggestellt und als prCEN/TR 15855:2008 (E) bzw. prCEN/TR 15858:2008 (E) veröffentlicht.

Der Technische Report „WT-, WFT/FT-Prozedur“, der unter maßgeblicher Mitarbeit des Forschungsinstituts entstand, sieht die in **Bild VI-6** gezeigte generelle Vorgehensweise für die Zuordnung von Bauprodukten zur WT- bzw. WFT/FT-Prozedur vor. Dabei gilt diese Vorgehensweise sowohl für die Freisetzung geregelter gefährlicher Stoffe in Boden, Oberflächen- und Grundwasser als auch für die Emissionen geregelter gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten in die Innenraumluft.

Voraussetzung für eine Zuordnung zur WT-Prozedur ist, dass bestehende Langzeiterfahrungen oder Prüfergebnisse gezeigt haben, dass das Produkt keine signifikanten Mengen geregelter gefährlicher Stoffe enthält oder nur in unbedeutenden Mengen freisetzt, die unterhalb der Grenzwerte aller Mitgliedsstaaten der EU liegen. Außerdem sollen vorliegende Kenntnisse über die Bestandteile, Rohmaterialien, den Produktionsprozess usw. der entsprechenden Produkte in die Beurteilung einbezogen werden.

Die WFT-Prozedur ohne regelmäßige Prüfung ist für spezifische Produkte oder für Produktgruppen auf der Basis einer Erstbewertung vorgesehen. Bei dieser werden zunächst die Bestandteile, Rohmaterialien und das Freisetzungsverhalten der Produkte hinsichtlich einer signifikanten Freisetzung geregelter Stoffe beurteilt. Ist eine Freisetzung möglich, muss durch eine Erstprüfung mit harmonisierten europäischen Prüfmethode nachgewiesen werden, dass die freigesetzten Mengen geregelter gefährlicher Stoffe unterhalb der Grenzwerte aller Mitgliedsstaaten der EU liegen.

Ist eine Zuordnung zur WT- oder WFT-Prozedur nicht möglich, ist vorgesehen, dass spezifische Produkte entsprechend den in ihren technischen Spezifikationen festgelegten Bewertungskriterien regelmäßig geprüft werden (Routineprüfungen). Falls die Ergebnisse der regelmäßigen Prüfungen zeigen, dass das spezifische Produkt die Bewertungskriterien für eine WFT-Prozedur erfüllt, ist vorgesehen, dass der Hersteller eine Neuzuordnung zur WFT-Prozedur initiieren kann.

Hinsichtlich der notwendigen harmonisierten europäischen Prüfverfahren ist für den Bereich Boden und Grund-/Oberflächenwasser – der Bereich Innenraumluft hat für rein anorganische, zementgebundene Baustoffe nur eine untergeordnete Bedeutung – die Ausarbeitung eines Tankauslaugverfahrens (Monolithische Materialien) und eines Säulenverfahrens (Granulierte Materialien) vorgesehen. Erste Entwürfe dieser Prüfverfahren, basierend auf bestehenden Verfahren aus den Niederlanden und Deutschland, liegen bereits vor. Nach entsprechender Überarbeitung der Entwürfe ist beabsichtigt, Ende dieses Jahres mit den notwendigen Validierungsversuchen zu beginnen, um die Arbeiten an den Prüfverfahren möglichst im Jahr 2010 abschließen zu können.

Auswirkungen auf Zement und zementgebundene Bauprodukte

Die Normungsarbeiten im CEN/TC 351 hinsichtlich der Prüfverfahren schreiten zügig voran, die Umsetzung des gesamten Konzeptes wie z. B. die WT-, WFT/FT-Prozedur wird jedoch noch einige Jahre in Anspruch nehmen. Das Forschungsinstitut ist in den maßgeblichen Gremien vertreten und bringt die günstigen Erfahrungen zu Zement und Beton, die sich seit Jahrzehnten für Bauteile in Kontakt mit Boden, Oberflächen- und Grundwasser sowie Trinkwasser bewährt haben, in die Normungsarbeiten ein. Die vorliegenden wissenschaftlich abgesicherten Untersuchungsergebnisse bilden aus Sicht der Zementindustrie die Basis dafür, dass Zemente nach EN 197-1 weiterhin ohne Prüfung zur Herstellung von Bauprodukten oder Bauteilen in Kontakt mit Boden, Oberflächen- und Grundwasser eingesetzt werden können (WT-Prozedur).

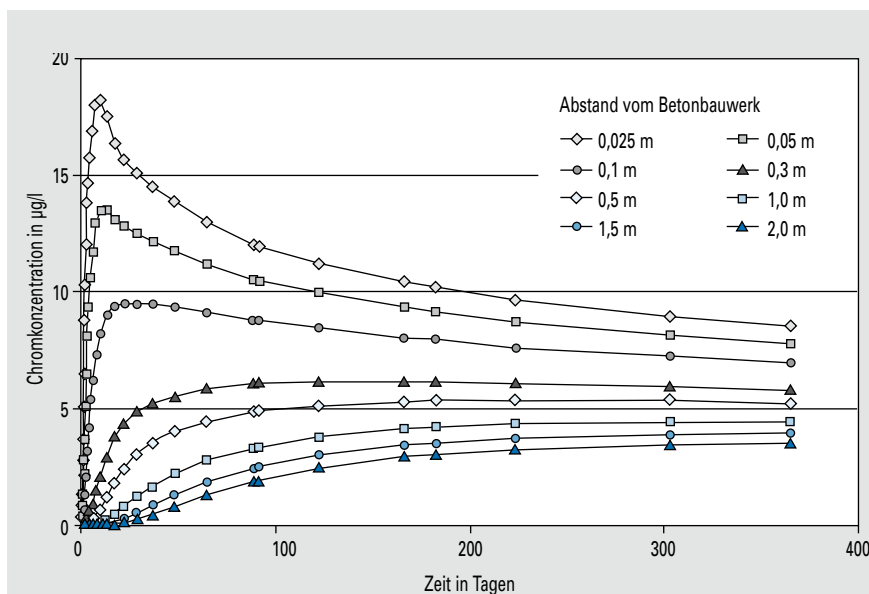


Bild VI-7: Verlauf der berechneten Chromkonzentration für verschiedene Abstände zum Betonbauwerk (Quelle: DIBt Grundsätze, Teil II, Mai 2008)

DIBt-Merkblatt „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ ■

Genormte oder bauaufsichtlich zugelassene Bauprodukte erfüllen alle Anforderungen des Umweltschutzes. Für neue, unbekannte Bauprodukte, die einer bauaufsichtlichen Zulassung bedürfen, müssen hingegen bei den entsprechenden Zulassungsprüfungen zum Teil auch mögliche Boden- und Grundwassergefährdungen berücksichtigt werden. In Deutschland fassen die Grundsätze zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) dazu die wissenschaftlichen, technischen und rechtlichen Grundlagen zusammen. Dieses allgemeine Konzept, das für alle Bauprodukte in Kontakt mit Boden und Grundwasser gilt, wurde erstmalig in der Fassung November 2000 veröffentlicht. Um die stoffspezifischen Eigenschaften der verschiedenen Bauprodukte sachgerecht zu berücksichtigen, werden die allgemeinen Bewertungsgrundsätze in einem Teil II für unterschiedliche Bauprodukte durch entsprechende DIBt-Projektgruppen konkretisiert.

Für Beton und Betonausgangsstoffe wurde von der entsprechenden Projektgruppe ein Bewertungsmodell entwickelt, mit dem die Ergebnisse von Laboruntersuchungen (DAfStb-Richtlinie: Bestimmung der Freisetzung anorganischer Stoffe durch Auslaugung aus zementgebundenen Baustoff-

fen) auf Grundwasserbelastungen in der unmittelbaren Umgebung eines Bauwerks übertragen werden können. Das Bewertungskonzept beruht auf der Kombination eines Diffusionsmodells für die Auslaugung aus dem Baustoff und eines geologischen Strömungs- und Transportmodells für die Stoffausbreitung im Boden bzw. Grundwasser. Durch diese Kombination kann der zeitliche und örtliche Verlauf der Stoffkonzentrationen im Grundwasser berechnet werden. Bild VI-7 zeigt beispielhaft den Verlauf der berechneten Chromkonzentration für verschiedene Abstände zum Betonbauwerk. Die anhand des Bewertungsmodells für definierte Randbedingungen prognostizierten Stoffkonzentrationen im Grundwasser müssen die entsprechenden Grenzwerte (Geringfügigkeitschwellenwerte, GFS-Werte) einhalten. Untersuchungen des Forschungsinstituts an Betonen, für deren Herstellung gezielt Zemente aus deutschen Werken mit möglichst hohen Spurenelementgehalten eingesetzt wurden, hatten gezeigt, dass diese Anforderungen erfüllt werden. Allerdings war der Abstand zu den GFS-Werten, zum Beispiel für das Element Chrom bei hohen Chromgehalten im Zement, nur gering.

Die in der Ausgabe 2000 des DIBt-Merkblattes enthaltenen GFS-Werte wurden im Jahr 2004 von einem Unterausschuss der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) überarbeitet, das heißt zum Teil drastisch abgesenkt. Außerdem wurden neue Werte für weitere Parameter, wie zum Beispiel Barium, Bor, Thallium und Vanadium, abgeleitet. Die neuen GFS-Werte, die durch die Umweltministerkonferenz zur

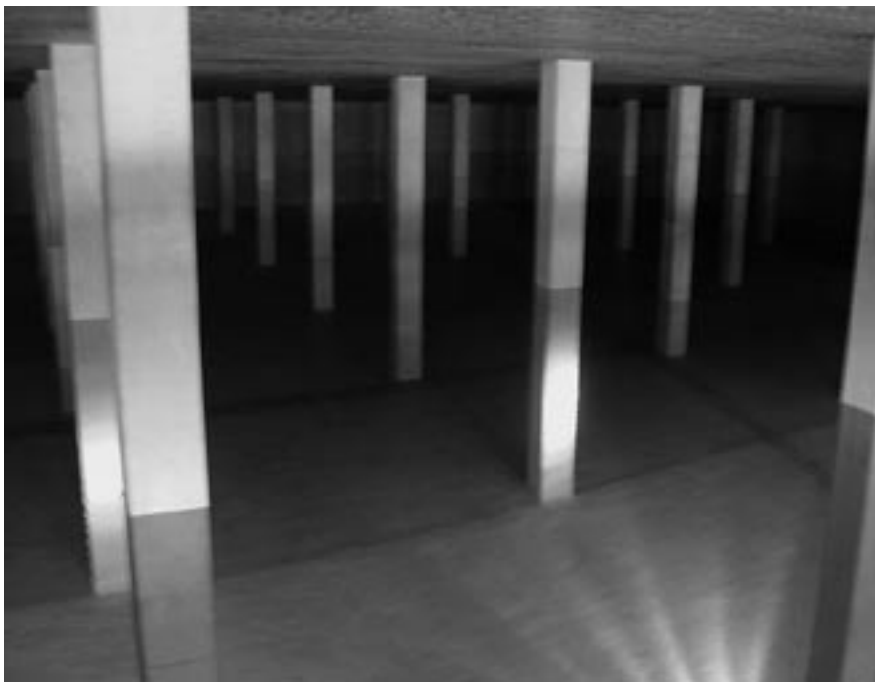


Bild VI-8: Innenansicht eines Trinkwasserbehälters aus Beton

Veröffentlichung freigegeben wurden, hätten dazu geführt, dass auch Betone, die mit handelsüblichen Zementen hergestellt werden, einige Parameter nicht einhalten. Die LAWA war jedoch nicht bereit, von diesen Werten – mit Ausnahme des Wertes für Vanadium, der auf Druck der betroffenen Bauindustrie bis zum 31.12.2008 ausgesetzt war – abzugehen. Allerdings hat sie einer Anpassung der Randbedingungen des DIBt-Bewertungskonzepts zugestimmt. So wurde der Abstand zum Bauwerk, über den die Bewertung erfolgt, von ursprünglich 0,30 m auf 2,0 m erhöht. Durch diese Anpassung wurden die Auswirkungen der verschärften Anforderungen etwas abgemindert. Die Aussetzung des GFS-Wertes für Vanadium wurde allerdings Ende 2008 nicht verlängert, dies kann für einige Baustoffe zu erheblichen Einschränkungen führen. So ist damit zu rechnen, dass auch Betone, die mit handelsüblichen Zementen hergestellt werden, in einigen Fällen den Vanadiumwert nicht einhalten.

Das DIBt-Merkblatt sollte auch dazu dienen, einen gemeinsamen deutschen Standpunkt in die europäischen Diskussionen hinsichtlich der Umsetzung der wesentlichen Anforderung Nr. 3 „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ der europäischen Bauproduktenrichtlinie einzubringen. Dazu hatte das DIBt zugesagt, das Notifizierungsverfahren erst zu eröffnen, wenn eine mit der Industrie abgestimmte Fassung vorliegt. Anfang 2006 wurde dieses Verfahren kurzfristig und entgegen den Vereinbarungen durch das DIBt ein-

geleitet. Da die eingereichten „Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ Bezug auf die neuen Geringfügigkeitsschwellen der LAWA nehmen, wurde diesem Vorgehen industrieseitig einstimmig widersprochen. Trotzdem wurde das Notifizierungsverfahren im Jahr 2008 abgeschlossen. Die Endfassungen der Grundsätze Teil I und Teil II (Beton und Betonausgangsstoffe) können im Internet über das „Technical Regulations Information System (TRIS)“ der Europäischen Kommission abgerufen werden.

Die neuen GFS-Werte und -Parameter und die damit verbundenen erheblichen Herabsetzungen der zulässigen Freisetzungsraten werden von der betroffenen Baupraxis weiterhin nachdrücklich abgelehnt. Dies gilt insbesondere für Werte, die unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung liegen. Aus Sicht der Industrie hat die LAWA nicht den erforderlichen Nachweis erbracht, dass eine derart weitgehende Vorsorge, die für die Baupraxis eine erhebliche Einschränkung darstellen könnte, notwendig ist. Hinzu kommt, dass die neuen GFS-Werte, die bislang lediglich Empfehlungen der LAWA für nachgeschaltete Behörden darstellen, z. B. im § 48 des Entwurfs zum Wasserhaushaltsgesetz enthalten sind und damit gesetzlich eingeführt würden. Der Bundesverband „Baustoffe – Steine und Erden e. V.“ hat zum § 48 ein Rechtsgutachten in Auftrag gegeben, das zu dem Schluss kommt: „Nicht die GFS-Ableitung selbst ist verfassungswidrig, weil sie an ein

ideales und utopisches Reinheitsgebot für Grundwasser schlechthin anknüpft, wohl aber eine Emissionsbegrenzung, die auf diese Weise den real erreichbaren und durchsetzbaren Grundwasserschutz drastisch übergewichtet“.

Zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich ■

Europäisches Zulassungssystem für Bauprodukte in Kontakt mit Trinkwasser (EAS)

Aufgrund der großen Bedeutung einer einwandfreien Trinkwasserversorgung werden an alle Werkstoffe, die in Kontakt mit Trinkwasser kommen, strenge hygienische Anforderungen gestellt. Die europäische Trinkwasserverordnung legt für alle Mitgliedsstaaten die Mindestanforderungen fest. Deshalb war es naheliegend, auch die Anforderungen an Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser europäisch zu harmonisieren. Dazu arbeiteten in der Zeit von 1999 bis 2004 von den Mitgliedsstaaten autorisierte Trinkwasserhygieniker in der sogenannten „Regulators Group for Construction Products in Contact with Drinking Water (RG-CPDW)“ an einem einheitlichen europäischen Zulassungssystem „European Acceptance Scheme“ (EAS). Das EAS sollte für alle Werkstoffe gelten, die in Kontakt mit Trinkwasser kommen, und gewährleisten, dass einerseits die vorhandenen Verbraucherschutzniveaus erhalten bleiben und andererseits alle bewährten Werkstoffe weiterhin ohne Einschränkung eingesetzt werden können.

Die Aktivitäten der RG-CPDW wurde im Jahr 2004 gestoppt, da durch die EU-Kommission festgestellt wurde, dass es keine rechtliche Basis für diese Gruppe gibt. Deshalb wurde die Regulatorengruppe in eine Expertengruppe umgestuft, die keine Regelungs- oder Entscheidungsbefugnis besitzt, sondern lediglich die Kommission beraten soll. Weiterhin wurde klargestellt, dass die europäische Bauproduktenrichtlinie nur Bauprodukte erfasst, die einer harmonisierten technischen Spezifikation entsprechen, und dass die Anforderungen an diese Produkte den einzelnen Mitgliedsstaaten überlassen bleiben. Damit ist lediglich eine Harmonisierung der Prüfverfahren für Bauprodukte in Kontakt mit Trinkwasser möglich.

Zementgebundene Werkstoffe haben sich in allen Bereichen der Trinkwasserversorgung seit Jahrzehnten bewährt (Bild VI-8). Deshalb hat das CEN/TC 104 „Beton und

zugehörige Produkte“ eine Liste bewährter Bestandteile „Approved Constituent List (ACL)“ erstellt, die ohne Prüfung für die Herstellung von Betonen mit Trinkwasserkontakt eingesetzt werden können. Diese ACL beinhaltet eine Zusammenstellung von Bestandteilen, wie zum Beispiel Zemente, Gesteinskörnungen, Betonzusatzstoffe, Betonzusatzmittel usw., die traditionell im Trinkwasserbereich eingesetzt werden und in mindestens einem EU-Mitgliedsstaat für diesen Zweck zugelassen sind. Ziel des ACL-Konzeptes ist es, den erforderlichen Prüfumfang für Bauprodukte in Kontakt mit Trinkwasser auf das tatsächlich notwendige Maß zu begrenzen.

Die EU-Kommission hat dem Konzept der ACL zugestimmt. Anschließend wurde sie gemeinsam mit ähnlichen Listen für Kunststoffe (Positivliste) und für Metalle (Zusammensetzungsliste) in einem Kommissionspapier zusammengefasst und dem „Ständigen Ausschuss für das Bauwesen (SCC)“ zur Information zugestellt. Welchen Stellenwert die ACL und die weiteren Listen zukünftig einnehmen werden und welches Komitee über diese Listen entscheidet, ist nicht abzusehen. Zurzeit beraten Trinkwasserregulatoren aus Frankreich, Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland in der sogenannten „4 Member-States-Group“ darüber, wie die Arbeiten an dem EAS weitergeführt werden können.

Aus Sicht des Forschungsinstituts sollte das ACL-Konzept weiter verfolgt werden, da es eine gute Basis für die zukünftigen Arbeiten im Trinkwasserbereich darstellt. Außerdem könnte dieses Konzept als Modell für die Erstellung von Kriterien zur Einstufung als WT-Prozedur bei den Arbeiten des CEN/TC 351 – Emission regulierter gefährlicher Substanzen in Raumluft, Boden, Oberflächenwasser und Grundwasser – dienen.

DVGW-Arbeitsblatt W 347

Das Arbeitsblatt W 347 „Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung“ der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) wurde bereits in den letzten Tätigkeitsberichten ausführlich vorgestellt und diskutiert. Das Arbeitsblatt legt die hygienischen Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe fest, die direkt oder indirekt in Kontakt mit Trinkwasser oder Rohwasser für die Trinkwassergewinnung kommen. Mit der Ausgabe Mai 2006 des Arbeitsblattes W 347 wurden Anpassungen an den Stand der Technik und die rele-

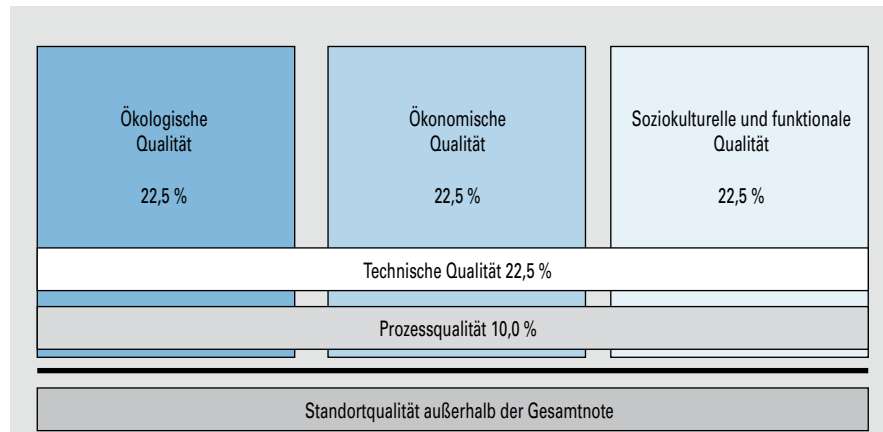


Bild VI-9: Aufbau des Bewertungssystems zum Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen mit dem Anteil an der Bewertung der Qualitäten an der Gesamtnote

vanten europäischen Testmethoden vorgenommen. Im Berichtszeitraum haben sich keine wesentlichen Änderungen des Arbeitsblattes ergeben. Allerdings wurde über die Aufnahme neuer Stoffe in die Positivliste diskutiert. Dazu ist vorgesehen, dass diese Liste zukünftig jährlich durch den DVGW-Projektkreis 3.4.12 „W 347“ diskutiert wird und die ergänzte Liste aktuell im Internet veröffentlicht wird. Außerdem verfolgt der Projektkreis intensiv die europäischen Aktivitäten im Trinkwasserbereich. Da die europäischen Arbeiten voraussichtlich noch eine geraume Zeit benötigen, bildet die Ausgabe Mai 2006 des Arbeitsblattes W 347 in den kommenden Jahren weiterhin eine solide Grundlage für die Bewertung hygienischer Eigenschaften zementgebundener Werkstoffe im Trinkwasserbereich.

Nachhaltiges Bauen mit Beton ■

In einer nachhaltigen Entwicklung werden die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation zufrieden gestellt, ohne die Lebenschancen künftiger Generationen zu gefährden. Diesem Leitbild folgt das Bauwesen, wenn funktionsgerechte Bauwerke mit geringen Kosten und geringen Belastungen für die Umwelt erstellt und auf Dauer genutzt werden.

Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen

In Deutschland wurde ein Gütesiegel zum nachhaltigen Bauen vom Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen und Stadtentwicklung (BMVBS) gemeinsam mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) entwickelt. Nachhaltigkeit soll damit im Bauwesen künftig messbar sein. Grundlage der Bewertung ist dabei prinzipiell der Lebenszyklus des Bauwerks

von der Baustoffherstellung und der Errichtung des Bauwerks über seine Nutzung bis hin zum Abriss. Die zugrundeliegenden Kriterien wurden unter Beteiligung des Bundesverbandes Baustoffe, Steine und Erden und des VDZ am Runden Tisch Nachhaltiges Bauen des BMVBS diskutiert.

Ökologische, ökonomische und soziale Kriterien werden in der Gesamtbewertung gleichermaßen berücksichtigt (Bild VI-9). Ein ökologisches Kriterium ist beispielsweise der Beitrag des Bauwerks zum Treibhauseffekt auf Grund seiner Herstellung und Nutzung. Der zentrale ökonomische Maßstab sind die Lebenszykluskosten, die neben den Erstellungskosten insbesondere auch Betriebs- und Instandhaltungskosten enthalten. Die soziokulturellen Kriterien berücksichtigen u. a. die Einflüsse des Bauwerks auf die Gesundheit und Behaglichkeit seiner Nutzer. Über diese drei Dimensionen der Nachhaltigkeit hinaus geht die technische Qualität des Bauwerks in die Bewertung beispielsweise über die Betrachtung des Brand- und Schallschutzes ein. Auch die Prozessqualität wird, wenn auch in geringerem Umfang, durch Kriterien wie z. B. die Durchführung einer integralen Planung berücksichtigt. Am Ende steht eine Gesamtnote, die in Teilnoten ökologische, ökonomische und soziokulturelle Belange berücksichtigt und gleichzeitig die technische und planerische Leistung bewertet. Ergänzend wird die Standortqualität eines Gebäudes erfasst. Dieser Aspekt geht aber nicht in die Gesamtnote ein. Eine Ausführung des Siegels in Gold, Silber und Bronze verdeutlicht die Bewertung auch optisch.

Die DGNB will die Bewertung der Bauwerke durch entsprechend geschulte Auditoren umsetzen. Zunächst sind die Zertifizierungen auf neu errichtete Büro- und Ver-



Bild VI-10: Neuer Kohlenstoff-Wasserstoff-Analysator mit Autosampler



Bild VI-11: Der neue Ionenchromatograph

waltungsgebäude beschränkt. In Pilotprojekten wurde die Praxistauglichkeit des Systems untersucht. Die DGNB plant, das Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen auch im Ausland zu etablieren und dort in den Wettbewerb mit schon existierenden Gütesiegeln zu treten.

Normung zum nachhaltigen Bauen

Die europäische Normungsorganisation CEN möchte aufbauend auf Arbeiten von ISO klare Vorgaben zur Umsetzung der Nachhaltigkeit im europäischen Bauwesen schaffen. In dem ersten von vier Rahmen-dokumenten sollen künftig die allgemeinen Prinzipien zur Beschreibung von Bauwerken vor dem Hintergrund der Nachhal-

tigkeit dargestellt werden. Die drei weiteren Teile beschäftigen sich mit den ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten. Für die „ökologische Dimension“ werden zudem die Regeln zur Berechnung der Umweltwirkungen eines Bauwerks und zur Erstellung einer Umweltdeklaration für Bauprodukte beschrieben. Der VDZ achtet durch seine Mitarbeit im Spiegelgremium des DIN darauf, dass sich die in Deutschland etablierten und als sinnvoll erachteten Vorgehensweisen auch in der europäischen Normung wiederfinden.

Nachhaltiges Bauen mit Beton

Die Betonbauweise nimmt aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit, ihrer Anwendungsbrei-

te und der großen eingesetzten Mengen an Baumaterial eine herausragende Stellung im Bauwesen ein. Deswegen sind die Entwicklung von Regeln und technischen Empfehlungen hier von besonderer Bedeutung. Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) bereitet daher „Grundsätze zum nachhaltigen Bauen mit Beton (GrunaBau)“ vor. Zu deren Entwicklung hat der DAfStb ein Verbundvorhaben initiiert, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird und in dem durch das Forschungsinstitut federführend die Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes in der Zement- und Betonherstellung untersucht werden.

Ökologische Baustoffprofile

Angaben zu den mit der Baustoffherstellung verbundene Umweltwirkungen werden im Vorhaben des DAfStb benötigt, um sie in eine Berechnung der Nachhaltigkeitsindikatoren eines Gebäudes einfließen zu lassen. Auch das BMVBS legt seinen Nachhaltigkeitsbewertungen entsprechende Daten zu Grunde. Ökologische Baustoffprofile fassen die mit der Herstellung eines Baustoffs verbundenen Umweltwirkungen zusammen und stellen sie für solche Berechnungen bereit.

In dem aktualisierten Baustoffprofil Zement werden der Beitrag zum Treibhauspotenzial und die Beiträge zu anderen Umweltwirkungen für einen über die deutsche Produktion gemittelten Zement dargestellt, der entsprechend den durchschnittlichen Anteilen von Zementklinker und anderen Hauptbestandteilen im Jahr 2006 zusammengesetzt ist. Dabei wurden auch die Umwelteinflüsse der sogenannten Vorketten, z. B. auf Grund der Erzeugung des benötigten Stroms, berücksichtigt. Gegenüber der ersten Berechnung des Baustoffprofils Zement vor zehn Jahren zeigen sich deutliche Verbesserungen (vgl. Tafel V-1). So hat sich der spezifische Beitrag zum Treibhauseffekt um 23 % und der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern um 38 % verringert, Beiträge zu anderen Umweltwirkungen sanken ebenfalls beträchtlich. Die Minderungen spiegeln u. a. wider, dass in Deutschland vermehrt Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen produziert werden, aber auch der gestiegene Einsatz von Sekundärbrennstoffen beeinflusst viele Kennwerte positiv. Die für Zement ermittelten Indikatoren werden als Basis für die Baustoffprofile von zementgebundenen Baustoffen wie Beton und darüber hinaus für die ökologischen Profile von mit ihnen hergestellten Bauwerken verwendet.

Mess- und Prüfverfahren ■

Das Forschungsinstitut verfügt schon seit langem über leistungsfähige Analysetechniken zur Bestimmung von Haupt-, Neben- und Spurenelementen. Während diese Techniken in der Vergangenheit hauptsächlich für Forschungsprojekte und zur Klärung analytischer Fragestellungen dienten, ist das Institut heute immer stärker als Dienstleister für diese Analyseaufgaben gefragt. Da externe Auftraggeber schnell vorliegende, belastbare Untersuchungsergebnisse benötigen, erfordert der erhöhte Dienstleistungsanteil Analysetechniken, die neben einer hohen Qualität auch eine zügige Auftragsbearbeitung gewährleisten. Daher ist das Forschungsinstitut bestrebt, Analysegeräte vorzuhalten, die dem Stand der Technik entsprechen. So wurden im Be-

richtszeitraum ein leistungsstarker Kohlenstoff-Wasserstoff-Analysator und ein weiterer Ionenchromatograph angeschafft.

Schwerpunkt Brennstoffanalytik

Für die Zementindustrie ist durch den stetig ansteigenden Einsatz von Sekundärbrennstoffen die zuverlässige Analyse des Kohlen- und Wasserstoffgehalts in den Brennstoffen immer wichtiger geworden. Dies betrifft insbesondere die Bestimmung des biogenen Kohlenstoffanteils nach dem selektiven Löseverfahren sowie Heizwertbestimmungen. Der neu angeschaffte Kohlenstoff-Wasserstoff-Analysator ist mit einem Autosampler für 50 Proben ausgestattet (**Bild VI-10**). Dies erlaubt, den Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt verschiedenster Proben innerhalb kürzester Zeit zu ermitteln. Die mit dem Gerät erzielten Wie-

derholstandardabweichungen sind sehr niedrig, trotz geringer Probeinwaagen von nur ca. 30 mg. Außerdem ist der Analysator sehr langzeitstabil und muss nur einmal jährlich kalibriert werden.

Durch die vermehrte Brennstoffanalytik ist auch die Anzahl der Fluor-, Chlor-, Brom-, Iod- und Schwefelbestimmungen stark angestiegen. Daher wurde ein weiterer Ionenchromatograph (**Bild VI-11**) mit Autosampler angeschafft. Dies ermöglicht eine parallele Messung von Anionen und Kationen. Beide Geräte können alle Messaufgaben abdecken, sodass auch eventuelle Ausfallzeiten eines Messsystems kompensiert werden können. Durch die neuen Analysengeräte kann die Prüfdauer verkürzt und der Probendurchsatz vergrößert werden.

VII

Verantwortung für Mitarbeiter



Vorschriftsmäßige Absicherung bei Wartungsarbeiten

Arbeitssicherheit ■

Ergebnis der Sicherheitsarbeit

Die Verbesserung der Arbeitssicherheit in den Werken der Zementindustrie gehört zu den satzungsgemäßen Aufgaben des VDZ. Daher haben die Anstrengungen der Werke und des Forschungsinstituts einen hohen Stellenwert in der Gemeinschaftsarbeit. Der VDZ-Ausschuss Umwelt und Verfahrenstechnik, der in seiner Arbeit insbesondere durch den VDZ-Arbeitskreis Arbeitssicherheit in wirkungsvoller Weise unterstützt wird, entwickelt und leitet Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitssicherheit ein. Gemeinsames Ziel aller Bestrebungen ist es, die Mitarbeiter in den Zementwerken zu sicherheitsbewusstem Arbeiten zu motivieren, sie regelmäßig über Möglichkeiten zur Verbesserung der Arbeitssicherheit zu informieren und zu ständiger Überprüfung der Sicherheit am Arbeitsplatz aufzufordern.

Die Maßnahmen zum Arbeitsschutz in den Werken und die Zusammenarbeit mit dem VDZ und seinem Forschungsinstitut haben in besonderem Maß dazu beigetragen, dass die Unfallhäufigkeitsrate auf Basis meldepflichtiger Unfälle gemäß Definition der StBG in den deutschen Zementwerken seit 1969 auf weniger als ein Drittel des ursprünglichen Wertes abgenommen hat. Bereits 1984 lag die Unfallhäufigkeit aller Mitarbeiter auf einem sehr niedrigen Niveau von rund 20 Unfällen je einer Million geleisteter Arbeitsstunden. Im aktuellen Berichtszeitraum betrug die Unfallhäufigkeitsrate etwa 13,50.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Arbeitssicherheit kann am besten durch die prozentuale Ausfallzeit gekennzeichnet werden, die sich durch die Arbeitsunfälle ergibt. Während 1969 durch meldepflichtige Betriebsunfälle eine mittlere relative Ausfallzeit von etwa 0,8 % entstand, lag dieser Wert 2008 nur noch bei 0,3 %.

VDZ-Unfallstatistik

Seit 1965 werden die Zahlen der meldepflichtigen Betriebs- und Wegeunfälle in den deutschen Mitgliedswerken vom Forschungsinstitut jährlich erfasst und statistisch ausgewertet. Die wichtigsten Ergebnisse und Kennzahlen der Unfallstatistiken aus den Jahren 2007 und 2008 sind in **Tafel VII-1** zusammengestellt. Zum Vergleich und zur Kennzeichnung der Entwicklung des Unfallgeschehens wurden in der ersten Spalte der Tafel die entsprechenden Zahlen des Jahres 1969 mit aufgeführt, in dem erstmalig die Unfälle der Zementindustrie statistisch ausgewertet wurden. Um

Tafel VII-1: Unfallkennzahlen für die Belegschaft im Betrieb der VDZ-Mitgliedswerke in den Jahren 1969, 2007 und 2008

Jahr	1969	2007	2008
Anzahl der erfassten Werke	98	48	47
Zementproduktion in Mio. t	34,3	34,4	34,7
Belegschaft im Betrieb			
Anzahl der Arbeitnehmer	15 190	4 997	4 975
Geleistete Arbeitsstunden	31 339 177	8 148 904	8 178 699
Produktionsbezogener Lohnstundenaufwand in h/t	0,91	0,24	0,24
Meldepflichtige Betriebsunfälle	1 376	110	109
Betriebsunfälle gesamt (einschließlich nicht meldepflichtiger Betriebsunfälle)	1 541	249	176
Unfallhäufigkeitsrate (Definition bis 2007) (meldepflichtige Unfälle je 1 Mio. Arbeitsstunden)	43,90	13,50	13,33
Unfallhäufigkeitsrate (Definition ab 2008) (gesamte Betriebsunfälle je 1 Mio. Arbeitsstunden)	49,17	30,56	21,52
Kalenderausfalltage durch meldepflichtige Betriebsunfälle	31 935	3 573	3 363
Ausgefallene Arbeitstage je Arbeitnehmer	2,10	0,72	0,68
Kalenderausfalltage je Betriebsunfall	23,20	32,48	30,85
100-Mann-Quote (alte Definition) (meldepflichtige Unfälle je 100 Arbeitnehmer)	9,10	2,20	2,19
100-Mann-Quote (neue Definition) (gesamte Betriebsunfälle je 100 Arbeitnehmer)	10,15	4,98	3,54

der Entwicklung der Personalstruktur in den Betrieben Rechnung zu tragen, bilden vom Jahr 1993 an nicht mehr die gewerblichen Arbeitnehmer, sondern die Gesamtbelegschaft im Betrieb die Grundlage für die Berechnung der Unfallstatistik. Bei der Bewertung der Ergebnisse des Jahres 2008 ist zu berücksichtigen, dass die Rahmenbedingungen des Arbeitssicherheitswettbewerbs gegenüber den Vorjahren verschärft wurden. Somit gilt ein Werk nur noch dann als unfallfrei, wenn es keine Ausfalltage als Folge eines Unfalls zu verzeichnen hat, d. h. auch keinen Arbeitszeitausfall durch nicht-meldepflichtige Unfälle; der Tag, an dem sich ein Unfall ereignet, wird dabei allerdings nicht mitgezählt. Unter den neuen Rahmenbedingungen für den Wettbewerb wird nun auch das maßgebliche Bewertungskriterium anders berechnet: Die Unfallhäufigkeitsrate beschreibt ab dem Berichtsjahr 2008 die Zahl aller Betriebsunfälle mit Ausfalltagen, bezogen auf eine Million geleisteter Arbeitsstunden.

Die Belegschaft im Betrieb ist im Jahr 2007 gegenüber dem Vorjahr geringfügig angestiegen (+ 0,4 %), fiel dann in 2008 aber wieder auf den Wert des Jahres 2006 ab. Gegenläufig war die Zahl der geleisteten Arbeitsstunden: Hier war trotz gestiegener

Belegschaftszahl 2007 ein Rückgang um ca. 1 % zu verzeichnen; der Rückgang der Belegschaft im Jahr 2008 war dagegen mit einem Anstieg der geleisteten Stunden um ca. 0,4 % verbunden. Aus diesem Grund hat die Zahl der jährlich pro Arbeitnehmer geleisteten Arbeitsstunden von rund 1 654 im Jahr 2006 auf 1 631 im Jahr 2007 abgenommen, ist dann aber in 2008 wieder angestiegen (1 644). Aus der Tafel VII-1 geht hervor, dass die Produktion im Berichtszeitraum von ca. 34,4 Mio. t im Jahr 2007 auf 34,7 Mio. t 2008 anstieg. Der produktionsbezogene Arbeitsstundenaufwand war in beiden Jahren jedoch etwa gleich hoch (0,24 h/t). Die Zahl der meldepflichtigen Betriebsunfälle, die 2006 noch bei 121 lag, fiel 2007 auf 110 ab und betrug 2008 nur noch 109. Auch die Gesamtzahl der Betriebsunfälle sank im Berichtszeitraum erfreulich ab: Während 2006 noch 270 Betriebsunfälle der Belegschaft im Betrieb registriert wurden, sank dieser Wert in 2007 auf 249 ab, 2008 betrug er sogar nur 176. Dementsprechend hat sich auch die mittlere Unfallhäufigkeitsrate entwickelt. Bei der Bewertung dieses Quotienten aus Anzahl der Betriebsunfälle je 1 Mio. Arbeitsstunden ist jedoch zu berücksichtigen, dass ab dem Berichtsjahr 2008 die Anzahl der gesamten Betriebsunfälle mit Arbeitszeit-

ausfall der Belegschaft im Betrieb berücksichtigt wurde, wohingegen bis zum Jahr 2007 nur die meldepflichtigen Betriebsunfälle gemäß Definition der StBG (d. h. mit Arbeitszeitausfall größer drei Tage) gewertet wurden. Um die Entwicklung der Werte besser verdeutlichen zu können, ist aus diesem Grund in der Tafel VII-1 die Unfallhäufigkeitsrate nach alter und nach neuer Definition dargestellt. Es wird deutlich, dass insbesondere die Unfallhäufigkeitsrate gemäß neuer Definition von 2007 nach 2008 stark abgesunken ist; das ist auf den Rückgang der nicht meldepflichtigen Unfälle in diesem Zeitraum zurückzuführen.

Die veränderte Definition der Unfallhäufigkeitsrate ab 2008 hat maßgeblichen Einfluss auf den Arbeitssicherheitswettbewerb des VDZ. Da die Unfallhäufigkeitsrate die Grundlage für die Rangfolge in diesem Wettbewerb ist, ging die Anzahl der ausgezeichneten Werke ab 2008 deutlich zurück. Einen ersten Platz in diesem Wettbewerb können nur noch Werke erreichen, die keine Ausfalltage als Folge von Betriebsunfällen verzeichnen. Vor diesem Hintergrund ist der starke Rückgang der Sieger im Arbeitssicherheitswettbewerb von 2007 nach 2008 einfach erklärbar. Auf Basis der neuen Definition blieben 2008 zwei Werke unfallfrei, 2007 waren es (nach den alten Regeln) noch zehn Werke (**Bild VII-1, Tafel VII-2**).

Die durchschnittliche Zahl der durch meldepflichtige Betriebsunfälle verursachten Kalenderausfalltage ist von 32,48 im Jahr 2007 auf 30,85 in 2008 um rund 5 % gesunken. Die wirtschaftliche Bedeutung der Betriebsunfälle lässt sich mithilfe des Jahresleistungsausfalls beurteilen. Diese Kennzahl gibt die durch meldepflichtige Betriebsunfälle verursachte Zahl der Kalenderausfalltage bezogen auf die Zahl der Mitarbeiter im Betrieb an. Der mittlere Jahresleistungsausfall hat von 0,72 im Jahr 2007 auf 0,68 in 2008 abgenommen. Die 100-Mann-Quote – das ist die Zahl der Betriebsunfälle bezogen auf 100 Mitarbeiter im Betrieb – ist von 2007 nach 2008 weiter abgesunken. Auf Basis der neuen Definition (d.h. gesamte Betriebsunfälle je 100 Arbeitnehmer) fiel der Wert um ca. 40 % von 4,98 in 2007 auf 3,54 in 2008 ab. Zur besseren Vergleichbarkeit mit Vorjahreswerten wird in der Tafel VII-1 die 100-Mann-Quote gemäß alter und neuer Definition dargestellt.

Förderung der Arbeitssicherheit


In den vergangenen zwei Jahren wurden fünf Sicherheits-Merkblätter (Nr. 106 bis 110) mit den Beschreibungen typischer und



Bild VII-1: Auszeichnungen der Sieger im Arbeitssicherheitswettbewerb 2007

Tafel VII-2: Im VDZ-Arbeitssicherheitswettbewerb ausgezeichnete Werke mit Klinkerproduktion in den Jahren 2007 und 2008

	2007	2008
1. Platz	CEMEX WestZement GmbH Werk Beckum-Kollenbach Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	Schwenk Zement KG Werk Allmendingen Unfallhäufigkeitsrate: 0,0
	CEMEX OstZement GmbH Werk Rüdersdorf Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	Schwenk Zement KG Werk Mergelstetten Unfallhäufigkeitsrate: 0,0
	Dyckerhoff AG Werk Geseke Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
	Dyckerhoff AG Werk Göllheim Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
	HeidelbergCement AG Werk Ennigerloh-Nord Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
	HeidelbergCement AG Werk Lengfurt Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
	Holcim (Deutschland) AG Werk Höver Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
	Lafarge Zement Karsdorf GmbH Werk Karsdorf Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
	Schwenk Zement KG Werk Mergelstetten Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
	Teutonia Zementwerk AG Unfallhäufigkeitsrate: 0,0	
2. Platz	Südbayerische Portland-Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co. GmbH Unfallhäufigkeitsrate: 2,70	Holcim (Süddeutschland) GmbH Werk Dotternhausen Unfallhäufigkeitsrate: 4,02
3. Platz	Dyckerhoff AG Werk Lengerich Unfallhäufigkeitsrate: 3,42	Holcim (Deutschland) AG Werk Höver Unfallhäufigkeitsrate: 4,08

	X_n Reizend
	Zementwerk Adresse
Hautkontakt mit feuchtem Zement, Frischbeton oder -mörtel kann Hautreizungen, Dermatitis oder ernste Hautschäden hervorrufen!	

Gefahrensätze:	
R37/38	Reizt die Atmungsorgane und die Haut
R41	Gefahr ernster Augenschäden
Sicherheitsratschläge:	
S2	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen
S22	Staub nicht einatmen
S24/25	Berührung mit der Haut und Augen vermeiden
S26	Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren
S36/37/39	Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen
S46	Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen

Bild VII-2:
Geänderte
Kennzeichnung
von Sackzement

Sicherheitsdatenblätter

Gemäß der REACH-Verordnung ist für jeden Stoff – und somit auch für Portlandzementklinker – bis Ende 2010 eine gefahrstoffrechtliche Einstufung an die neue europäische Chemikalienagentur (ECHA) zu melden. Damit dies europaweit einheitlich erfolgt, wurde die Einstufung von einer Expertengruppe im CEMBUREAU unter intensiver Beteiligung des VDZ auf Grundlage der aktuellen gesetzlichen Regelungen und des derzeitigen Wissenstandes vorgenommen. Darauf basierend wurden für Portlandzementklinker und für Portlandzement Mustersicherheitsdatenblätter (SDB) erstellt. Diese berücksichtigen zugleich die durch die REACH-Verordnung erforderlich gewordenen Änderungen in Aufbau und Inhalt. Die Mustersicherheitsdatenblätter wurden ins Deutsche übersetzt und den Zementherstellern als VDZ-Mustersicherheitsdatenblätter zur Verfügung gestellt. Gegenüber der Version von 2005 gibt es nur wenige substanzielle Änderungen. Neu aufgenommen wurde der Gefahrenhinweis R37 „Reizt die Atmungsorgane“. Außerdem sind viele Punkte ausführlicher formuliert. Trotz der angestrebten Harmonisierung weist die VDZ-Version einen wichtigen Unterschied zur CEMBUREAU-Version auf. Der Gefahrenhinweis R43 „Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich“ wird bei chromatarmen bzw. chromatreduzierten Zementen weiterhin nicht genannt, da dies ansonsten im Widerspruch zu den Forderungen der deutschen Arbeitsschutzbehörden stünde. Bei den Mustersicherheitsdatenblättern für chromathaltigen Zement und für Zementklinker ist dieser Unterschied hingegen nicht vorhanden.

Neben den die Sicherheitsdatenblätter betreffenden Neuerungen gibt es eine europäische Einigung über die Verwendung eines zusätzlichen Warnhinweises in der Kennzeichnung von Sackware. Mit dem Satz „Hautkontakt mit feuchtem Zement, Frischbeton oder -mörtel kann Hautreizungen, Dermatitis oder ernste Hautschäden hervorrufen“ kommt man der Forderung von Verbraucherschützern nach. Vorrangig sollen hierdurch die privaten Anwender vor möglichen Gefahren gewarnt werden (**Bild VII-2**).

124

besonders bemerkenswerter Betriebsunfälle sowie fünf Sicherheits-Prüflisten (Nr. 86 bis 90) für die Überprüfung von Einrichtungen und Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitssicherheit in verschiedenen Betriebsbereichen herausgegeben. Seit nunmehr 30 Jahren werden jährlich die Mitgliedswerke mit Klinkerproduktion ausgezeichnet, die jeweils die niedrigsten Unfallhäufigkeitsraten erzielt haben. Die Auszeichnung besteht aus einer Tafel und dem Symbol für die Sicherheitsarbeit des VDZ mit der Inschrift „Sicher arbeiten – VDZ“. Die Tafel enthält die Anerkennung für die Bemühungen von Leitung und Belegschaft des Werks um die Arbeitssicherheit. Die Auszeichnung soll darüber hinaus die Mitarbeiter motivieren und das Sicherheitsbewusstsein in den Werken fördern.

Da sich die Gefährdungspotenziale für die Mitarbeiter in den Werken mit Klinkerproduktion von denen der Mitarbeiter in Werken ohne Klinkerproduktion deutlich unterscheiden, ist die Anwendung eines einheitlichen Maßstabs für die Beurteilung der Arbeitssicherheit aller Werke nur eingeschränkt möglich. Um jedoch auch in den Mahlwerken die Motivation zur Verbesserung der Arbeitssicherheit zu stärken, wird seit 1995 für diese Werksgruppe ein besonderer Arbeitssicherheits-Wettbewerb durchgeführt. Die Mahlwerke mit den niedrigsten Unfallhäufigkeitsraten werden mit einer entsprechenden Urkunde ausgezeichnet.

Sicherheitsseminare

Der Verlauf der Unfallkennzahlen während der letzten Jahre zeigt deutlich, dass sich die Arbeitssicherheit durch die erheblichen Bemühungen der Werke mit Unterstützung durch den Arbeitskreis und das For-

schungsinstitut enorm verbessert hat. Zur weiteren Steigerung der Arbeitssicherheit dürfen die Anstrengungen aller Mitarbeiter aber nicht nachlassen, sondern müssen kontinuierlich verstärkt werden. Entscheidend dafür ist insbesondere die Motivation der Mitarbeiter, die Sicherheitsvorschriften im Betrieb richtig anzuwenden und vor allem durchzusetzen. Hierfür sind die Führungskräfte im Betrieb, die Werksleiter, Betriebsleiter und in besonderem Maß die Meister und Vorarbeiter verantwortlich. Durch den ständigen Kontakt zu seinen Mitarbeitern hat das vorbildliche Verhalten des Industriemeisters den größten Einfluss auf die Verbesserung der Arbeitssicherheit im Betrieb. Diese Erkenntnis hat den VDZ veranlasst, auf Empfehlung des Arbeitskreises Arbeitssicherheit Intensiv-Schulungen für die in der Praxis stehenden Meister und Vorarbeiter anzubieten. Ziel der Seminare ist es, die Kenntnisse über sicheres Arbeiten vor allem in Bereichen mit höherem Unfallrisiko zu verbessern, bemerkenswerte Unfälle zu ermitteln und Anregungen für eigene Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitssicherheit zu vermitteln. Die Seminare werden gemeinsam von der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft (StBG) und dem Verein Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ) getragen. Sie werden vom VDZ-Arbeitskreis Arbeitssicherheit und der StBG gemeinsam gestaltet, sie dauern jeweils etwa zwei Tage und werden in Gruppen zu 15 bis 20 Teilnehmern außerhalb der Betriebe von Seminarleitern der StBG organisiert und durchgeführt. Die Seminare werden seit 1993 als Dauereinrichtung angeboten. Die Referenten sind dafür qualifizierte Mitarbeiter der StBG. Die Inhalte der Seminare werden in regelmäßig aktualisiert und somit den aktuellen Fragestellungen der Teilnehmer angepasst.

VDZ-Weiterbildungswerk ■

Industriemeister-Lehrgang

Der VDZ bietet Lehrgänge und Seminare zur Weiterbildung der Mitarbeiter der Zementwerke an. Seit 1958 führt er in Zusammenarbeit mit der Industrie- und Handelskammer zu Düsseldorf Industriemeister-Lehrgänge durch. Bis 1965 wurden acht Lehrgänge abgehalten, die von insgesamt 274 Industriemeistern der Fachrichtung „Zement“ mit Erfolg abgeschlossen wurden. Seit 1965 werden vom VDZ gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie die im deutschsprachigen Raum einmaligen Industriemeister-Lehrgänge der Fachrichtung „Kalk/Zement“ angeboten. Bis März 2009 haben an 23 Industriemeister-Lehrgängen „Kalk/Zement“ 563 Personen mit Erfolg teilgenommen (**Bild VII-3, Tafel VII-3**). Insgesamt kann der VDZ damit auf 51 Jahre erfolgreicher Weiterbildung zum Industriemeister zurückblicken.

In insgesamt 28 Unterrichtsfächern mit 946 Unterrichtsstunden erwerben die Meisteranwärter ihr theoretisches Rüstzeug für die spätere Tätigkeit im Zement- bzw. Kalkwerk. Während der siebenmonatigen internatsartigen Unterbringung in der neuen Schulungsstätte in Hilden werden die zukünftigen Meister zunächst in den Grundlagenfächern Mathematik, Physik, Chemie und Stoffkundliche Grundlagen unterrichtet. Unterbrochen von zwei vier- und sechsmonatigen Fernlehrgängen in den heimischen Werken werden die Meister anschließend schwerpunktmäßig in den fachspezifischen Fächern wie z. B. Gewinnungstechnik, Aufbereitungstechnik, Brenntechnik, Umwelttechnik sowie Maschinen- und Energietechnik geschult. Ein weiterer Schwerpunkt bei der Ausbildung liegt aber auch in den Fächern Mitarbeiterführung, Arbeitssicherheit und Verhalten im Betrieb. So werden beispielsweise betriebstechnische Situationsaufgaben zu einzelnen Themen (z. B. Verhalten bei einem Unfall oder einer Auseinandersetzung unter Kollegen) ausgiebig bearbeitet und erläutert. Letztendlich wird die anerkannte Weiterbildungsmaßnahme durch den Erwerb der Ausbilder-Eignung (AEVO) abgerundet. Nach dem Ablegen der Prüfung sind die Meister dann auch befähigt, Mitarbeiter auszubilden.

Zum Erfolg des vergangenen 23. Meisterlehrganges hat nicht zuletzt auch die neue Schulungsstätte in Hilden beigetragen. Schüler, Dozenten und Verantwortliche sind von der Unterkunft, den Unterrichtsräumen sowie der Verpflegung begeistert. Die Meis-



Bild VII-3:
Industriemeister „Kalk/Zement“ nach bestandener Abschlussprüfung im März 2009

Tafel VII-3: Absolventenzahlen der Industriemeister-Lehrgänge

Lehrgang	Jahr	Zement	Kalk	Gesamt	
Zement	1 bis 8	1958/1959 bis 1964/1966	229	45	274
Kalk/Zement	1 bis 11	1965/1967 bis 1985/1987	225	65	290
	12	1987/1989	22	3	25
	13	1989/1991	20	10	30
	14	1991/1993	20	10	30
	15	1992/1994	24	6	30
	16	1993/1995	26	3	29
	17	1995/1997	24	2	26
	18	1997/1999	21	2	23
	19	1999/2001	21	2	23
	20	2001/2003	13	2	15
	21	2003/2005	13	0	13
	22	2005/2007	11	1	12
	23	2007/2009	15	2	17
Insgesamt			684	153	837

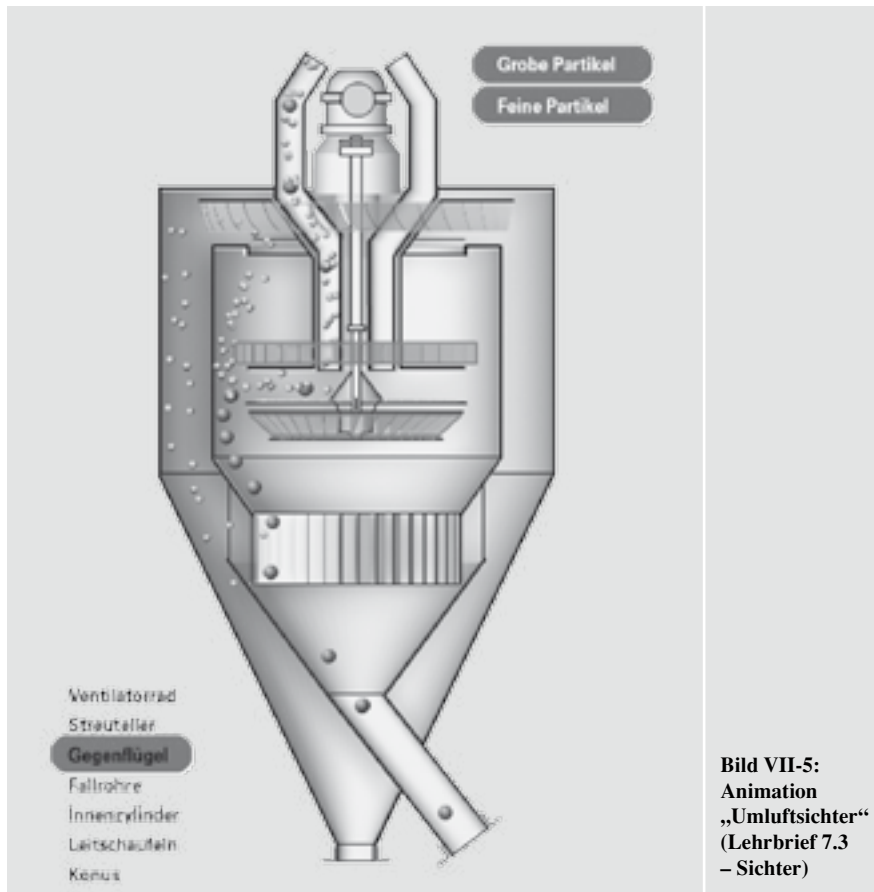
teranwärter waren in den letzten beiden Jahren insgesamt sieben Monate in dem neuen Internat untergebracht. Neben Vollpension, Pausengetränken und der Unterbringung in Einzelzimmern mit Bad und WC bietet die Einrichtung auch viele Freizeitmöglichkeiten zum erforderlichen Ausgleich zwischen den Lernblöcken (**Bild VII-4**).

Produktionssteuerer-Lehrgang

Um den zunehmenden Anforderungen an die Qualifikation von Leitstandsfahrern gerecht zu werden, hatte der VDZ im Jahr



Bild VII-4: Die neue Schulungsstätte in Hilden



Die Möglichkeit zur Realisierung einer entsprechenden Lösung wurde 2008 von Seiten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen eines Förderprogramms für den Einsatz elektronisch-unterstützter Lernformen in der beruflichen Bildung gegeben. Im Projekt „Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung in der deutschen Zementindustrie“, das der VDZ zusammen mit den Unternehmen SustainConsult, visaplan sowie ausgewählter Pilotwerke im Auftrag des BMBF durchführt, wird am Beispiel der Zementindustrie untersucht, inwieweit sich internetbasierte Lernformen für gewerblich-technische Mitarbeiter eignen. Das Projekt ist zunächst auf eine Laufzeit von zwei Jahren angelegt und endet Ende 2009.

Im Rahmen des Projektes wurden auf Basis von Erprobungen in den Werken die vorhandenen 47 Lehrbriefe redaktionell, didaktisch und hinsichtlich des Medieneinsatzes überarbeitet. Insbesondere wurden von den Projektpartnern innovative Visualisierungen und Animationen erarbeitet, die den Lernenden dabei helfen, die behandelten Sachverhalte und Zusammenhänge zu besser verstehen (**Bild VII-5**). Weiterhin wurden die Lehrbriefe durch Fragen, Tests und Einsendeaufgaben erweitert, sodass nun eine individuelle Kontrolle des Lernerfolgs ermöglicht werden kann.

Die überarbeiteten Lehrbriefe werden vom VDZ über die Internet-Plattform www.elearning-vdz.de vertrieben und können dort von der Zementindustrie sowie verwandten Industrien genutzt werden. Durch die verwendeten Technologien sind auch individuelle Zusammenstellungen von einzelnen Themen sowie werkspezifische Ergänzungen und Aufgaben möglich. Weiterhin besteht nach wie vor die Möglichkeit, die Lehrbriefe in gedruckter oder elektronischer Form zu beziehen.

Weiterbildungs-Seminare

Erstmals hat der VDZ im Jahr 1998 im Rahmen seines Weiterbildungsangebots zusätzlich zu den bislang bereits durchgeführten Industriemeister- und Produktionssteuerer-Lehrgängen sowie den Arbeitssicherheits-Seminaren eine Reihe von ein- und mehrtägigen Seminaren angeboten, die die chemische Analytik, den Immissionsschutz und die Umwelttechnik, die Verfahrenstechnik der Zementherstellung, die Überwachung der Zementqualität sowie die Grundlagen der Betontechnologie und die Betonverarbeitung betreffen. Das Programm ist als Einführung für junge sowie

1990 beschlossen, Produktionssteuerer-Lehrgänge einzurichten. Diese Weiterbildungsmaßnahme hat zum Ziel, dem Leitstandspersonal den heutigen Kenntnisstand in der Verfahrens- und Umwelttechnik der Zementherstellung sowie in der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik im Zementwerk zu vermitteln. Den Leitstandsfahrern soll die Anpassung an die durch Automation und durch Neuentwicklungen eingetretenen Veränderungen der Produktionssteuerung erleichtert werden, sodass ein zuverlässiger und effektiver Betrieb der Zementwerksanlagen sichergestellt ist. Die Gesamtmaßnahme umfasst einen theoretischen Teil, der vom VDZ im Rahmen eines Internatsunterrichts in der Schulungsstätte Hilden angeboten wird, sowie einen praktischen Teil, der im Zementwerk zu absolvieren ist. Den Teilnehmern wird in den sieben Wochen der theoretischen Ausbildung ein vertieftes Verständnis in den Fächern Stoffkunde, Brenntechnik, Umwelttechnik, Aufbereitungstechnik, Mess- und Regelungstechnik sowie den Grundlagenfächern Mathematik, Chemie und Physik vermittelt. Neben den zahlreichen Unterrichtsstunden steht aber auch der praktische Erfahrungsaustausch im Vordergrund des Kurses.

Bis 2009 wurden in insgesamt 15 Lehrgängen 320 Personen zu Produktionssteuerern

„Zement“ weitergebildet. Im September 2008 wurde der erste Produktionssteuerer-Lehrgang in der neuen Schulungsstätte in Hilden erfolgreich abgeschlossen. Nicht zuletzt die sehr guten Rahmenbedingungen, die die neue Schulungsstätte bietet, haben zu der erfolgreichen Durchführung des Kurses beigetragen. Dozenten und Teilnehmer sind von den Lernbedingungen, der Unterbringung und der Vollverpflegung sehr angetan.

Der nächste Lehrgang wird in der Zeit von April bis September 2011 in der Schulungsstätte Düsseldorf-Hilden durchgeführt.

Lehrbriefe – multimedial

In den vergangenen Jahren wurden von Seiten des VDZ und der VDZ-Arbeitsgruppe „Lehrbriefe“ insgesamt 47 Lehrbriefe zur Weiterbildung der gewerblich-technischen Mitarbeiter erstellt und erfolgreich in den Werken der Zementindustrie eingesetzt. Im Zuge der fortschreitenden Entwicklung elektronisch unterstützter Lernformen, des so genannten „E-Learnings“, entschloss sich der VDZ-Lehrgangsbeirat 2007, die Lehrbriefe für eine Nutzung innerhalb solcher Anwendungsszenarien hin zu optimieren und den Zementwerken eine entsprechende Möglichkeit zur Nutzung der Lehrbriefe in Form von E-Learning-Modulen zu ermöglichen.

als Fortbildung für bereits länger in der Zementindustrie tätige Mitarbeiter der VDZ-Mitgliedswerke gedacht. Das aktuelle Kursangebot 2009 wurde den Mitgliedswerken sowohl in Form einer Broschüre als auch über das Internet unter der VDZ-Homepage www.vdz-online.de bekannt gemacht.

Immissionsschutzbeauftragte müssen gemäß der 5. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (5. BImSchV) mindestens alle zwei Jahre an Fortbildungsmaßnahmen teilnehmen. Während bei Grundlehrgängen für Immissionsschutzbeauftragte alle Bereiche des Umweltschutzes behandelt werden, können bei Fortbildungsveranstaltungen Schwerpunktthemen gewählt werden. Vom VDZ wurden inzwischen acht solcher Fortbildungsseminare ausgerichtet, die speziell auf die Belange der Zementindustrie zugeschnitten waren. Dabei standen jeweils aktuelle Entwicklungen im deutschen und europäischen Umweltrecht, Emissionen von organischen Verbindungen und Spurenelementen und die Minderung der CO₂-Emissionen beim Klinkerbrennprozess im Mittelpunkt. Das Seminar ist als Fortbildungsmaßnahme im Sinne der 5. BImSchV durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen staatlich anerkannt und wird im Abstand von zwei Jahren mit jeweils aktuellen Themen durchgeführt.

Das Seminar „Einführung in die Umwelttechnik“ wird ebenfalls im Abstand von zwei Jahren, abwechselnd mit dem Fortbildungsseminar für Immissionsschutzbeauftragte, durchgeführt. Das wegen mangelnder Nachfrage 2007 ausgefallene Seminar wird 2009 durchgeführt. Im Seminar wird eine Einführung in alle Teilbereiche des Umweltschutzes und der Umwelttechnik gegeben. Dabei werden die Themen Umweltrecht, Emissionsmesstechnik, Minderung von Gas-, Staub- und Schwermetallemissionen sowie von Lärm und Erschütterungen, ökologische Verwertung von Abfällen und produktionsintegrierter Umweltschutz behandelt. Die Vorträge werden durch praktische Übungen zur Emissions- und Immissionsmesstechnik ergänzt. Das Seminar hat die staatliche Anerkennung als Grundlehrgang für zukünftige Immissionsschutzbeauftragte.

Ziel des viertägigen Seminars „Junge Betriebsingenieure“ ist es, einen möglichst umfassenden Überblick über alle Bereiche der Zementherstellung bis hin zur Zementanwendung im Beton zu vermitteln. Dem

entsprechend werden verfahrenstechnische Themen, chemisch-mineralogische Fragestellungen, das Umweltrecht, die umweltverträgliche Zementherstellung, die Umweltmesstechnik, die Qualitätssicherung und die Betonbautechnik intensiv behandelt. Das Seminar wird in zweijährigem Turnus angeboten. Das Seminar 2008 wurde von mehr als 20 Teilnehmern sehr gut angenommen. Das nächste Seminar wird 2010 stattfinden.

Die praxisbezogene berufliche Weiterbildung wurde mit dem 2005 erstmals angebotenen Seminar „Aus der Praxis für die Praxis“ verstärkt. Zielgruppe des 2008 durchgeführten und 2010 erneut angebotenen Seminars sind insbesondere in der Praxis stehende Industriemeister und Produktionssteuerer. Die Teilnehmer erwerben vertiefte Kenntnisse der modernen Entwicklungen in der Verfahrenstechnik und der Zementherstellung. Darauf aufbauend wird den Teilnehmern vermittelt, wie betriebsnahe Schulungen von Produktionsmitarbeitern auf Basis der Lehrbriefe durchgeführt werden können.

Zum Thema „Überwachung der Zementqualität“ werden jährlich vier Seminare angeboten. Zielgruppe dieser Seminare sind Laborleiter und verantwortliche Labormitarbeiter der Werke. Im eintägigen Seminar „Röntgenfluoreszenz (RFA)“ werden den Teilnehmern vertiefte Kenntnisse der RF-Analysentechnik vermittelt. Im zweitägigen Seminar „Technische Mineralogie“ wird dargestellt, wie die chemisch-mineralogischen Eigenschaften von Zementrohstoffen, Klinker, Zement und Beton anhand mikroskopischer und röntgendiffraktometrischer Untersuchungsmethoden bestimmt werden und wie die Ergebnisse zu beurteilen sind. Insbesondere werden praktische Übungen durchgeführt und die technischen Grundlagen der Analysensysteme erörtert. Im zweitägigen Seminar „Prüfungen nach DIN EN 196“ werden die in der Norm festgelegten physikalischen und chemischen Prüfungen an Zementen und zementartigen Bindemitteln bzw. den Roh- und Ausgangsstoffen vorgestellt. Auf die Einhaltung einer normgerechten Arbeitsweise und die Ermittlung und Vermeidung von Fehlerquellen wird dabei besonderer Wert gelegt. Schwerpunkt eines weiteren eintägigen Seminars ist die Bestimmung des Hüttensandgehalts in Zementen nach dem kombinierten mikroskopisch-chemischen Verfahren. Dieses Seminar wird durch ein eintägiges Seminar „Bestimmung des Hüttensandgehalts – methodischer Überblick“ ergänzt. Dabei wird den Teilnehmern ein Überblick über die

möglichen Verfahren zur Bestimmung des Hüttensandgehalts in Zement vermittelt.

Auf dem Gebiet „Zementanwendung“ wurde das zweitägige Seminar „Grundlagen der Betonbautechnik/Dauerhaftigkeit von Beton- und Stahlbetonbauteilen“ angeboten. Im ersten Teil des Seminars werden den Teilnehmern die Grundlagen der Bontotechnologie und der Betonbautechnik dargelegt. Besondere Berücksichtigung finden dabei die Auswirkungen der neuen Normen DIN 1045 und DIN EN 206-1. Praktische Vorführungen im Betonlabor dienen zur Veranschaulichung der theoretischen Ausführungen. Darüber hinaus wird auf baupraktische Fragen wie die Verarbeitung von Beton auf der Baustelle und im Betonwerk sowie Transport, Förderung, Einbau und Verdichtung von Beton eingegangen. Im zweiten Teil des Seminars wird die Dauerhaftigkeit von Beton- und Stahlbetonbauteilen behandelt. Ziel dieses Teils ist es unter anderem, unter Berücksichtigung von Einwirkung und Widerstand Verformungs-, Transport- und Schadensmechanismen beurteilen zu können. Aufbauend auf den Ausführungen zur elastischen und plastischen Verformung des Betons werden lastfreie Verformungen des Betons aus Schwinden und Hydratationswärmentwicklung behandelt sowie die Möglichkeiten zur Verminderung der Rissbildung in Bauteilen aufgezeigt. Unter dem Thema „Betonkorrosion“ werden der Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, der Widerstand gegen Säure- und Sulfatangriff sowie gegen die schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion behandelt. Das in Normenwerken festgelegte Konzept der Expositionsklassen (z. B. Frost XF1 bis XF4) und die Auswirkungen auf die zu wählende Betonzusammensetzung werden erläutert und die Prüfverfahren zur Beurteilung des Widerstands von Beton in praktischen Vorführungen demonstriert.

Insgesamt wurden vom Forschungsinstitut im Jahre 2007 sieben und im Jahr 2008 neun Seminare angeboten. Für 2009 sind wieder sieben Seminare vorgesehen.

Veröffentlichungen

Schriftenreihe der Zementindustrie

Schneider, C. *Zur Konstitution von Hüttensand, seiner quantitativen Bestimmung und seinem Festigkeitsbeitrag im Zement.*
Düsseldorf: Verl. Bau und Technik, 2009 (Schriftenreihe der Zementindustrie 72)

Merkblätter und Prüflisten

Sicherheits-Merkblätter

- Nr. 106 Empfohlene Unterweisungen für Zementwerksmitarbeiter
- Nr. 107 Unbeleuchteten Keller betreten – Fußverbrennung
- Nr. 108 Tödlicher Unfall bei Wartungsarbeiten an einem Kettenförderer
- Nr. 109 Schwere Verletzungen durch Absturz von Brückenkran

Sicherheitsprüflisten

- Nr. 86 Unterweisung
- Nr. 87 Heißmehlaustritt in Kellerbereichen
- Nr. 88 Arbeiten in Kippstellen, Silos, Bunkern
- Nr. 89 Arbeiten in Höhen auf Schutzgerüsten

VDZ-Merkblätter

- Feuerfeste Materialien
- Umweltverträgliche Rohstoffgewinnung

VDZ-Mitteilungen

Nr. 133 (Mai 2007) – Nr. 138 (Dezember 2008)

Jedes Jahr werden drei Ausgaben mit Erscheinungstermin im Mai, September und Dezember publiziert.

Monitoring-Bericht

Verminderung der CO₂-Emissionen: Monitoring-Bericht 2004–2007; Beitrag der deutschen Zementindustrie.

Hrsg.: Verein Deutscher Zementwerke, 9., aktualisierte Aufl. Düsseldorf, 2008

Umweltdaten der deutschen Zementindustrie

Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2007.

Hrsg.: Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, 2008

Environmental Data of the Cement Industry 2007.

Hrsg.: Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, 2008

Einzelveröffentlichungen

- Bilgeri, P.; Eickschen, E.; Felsch, K.; Klaus, I.; Vogel, P.; Rendchen, K. *Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton: Erfahrungsbericht.*
In: Straße und Autobahn 58 (2007) 2, S. 61–68
- Bilgeri, P.; Eickschen, E.; Felsch, K.; Klaus, I.; Vogel, P.; Rendchen, K. *Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton.*
In: Beton-Informationen 47 (2007) 2, S. 15–31
- Böhm, M.; Baetzner, S. *The effect of the alkalinity of the pore solution in ASR.*
In: 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction: Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR); Trondheim, Norway, 16–20 June 2008
- Borchers, I.; Müller, C. *Field site tests established in the partner project for evaluating the correlation between laboratory tests and field performance.*
In: 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction: Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR); Trondheim, Norway, 16–20 June 2008
- Breit, W.; Spanka, G. *Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe.*
In: bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau (2007) 5, S. 46–53
- Breit, W.; Spanka, G. *Zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich: Prüfung und Bewertung der hygienischen Anforderungen.*
In: beton 58 (2008) 11, S. 492–498
- Ehrenberg, A.; Israel, D.; Kühn, A.; Ludwig, H.-M.; Tigges, V.; Wassing, W. *Granulated blastfurnace slag: Reaction potential and production of optimized cements; Part 1; Part 2.*
In: Cement International 6 (2008) 2, S. 90–96; 3, S. 82–92
- Ehrlich, N.; Mellwitz, R.; Rother, K.-H. *Fahrbahndecke mit Hochofenzement CEM III/A.*
In: beton 58 (2008) 11, S. 488–491
- Eickschen, E. *Wirkungsmechanismen von Luftporen bildenden Zusatzmitteln; Teil 1; Teil 2.*
In: beton 57 (2007) 9; S. 417–422; 10, S. 473–478
- Eickschen, E. *Working mechanisms of air-entraining agents.*
In: World Road Association, PIARC (Hrsg.): A century of experience – The way ahead is concrete: 10th International Symposium on Concrete Roads; Proceedings (Brüssel 18–22 September 2006), S. 341–349
- Eickschen, E. *Operating mechanisms of air-entraining admixtures.*
In: Cement International 6 (2008) 6, S. 80–94
- Eickschen, E. *Wirkungsmechanismen von Luftporen bildenden Zusatzmitteln.*
In: Straße und Autobahn 59 (2008) 3, S. 125–134
- Emberger, B.; Hoenig, V. *Optimierung der Drehofenfeuerung in Zementwerken bei Einsatz von Sekundärbrennstoffen: Flammenthermografie zur Untersuchung des Einflusses der Brenneinstellung und der Brennstoffe auf Drehofenflammen; Sektion Va-Vb: Prozessfeuerungen = Process Furnaces.*
In: 23. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung; Tagung Berlin, 12./13.09.2007/Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.) – Düsseldorf: VDI-Verl., 2007 – (VDI-Berichte Nr. 1988)
- Emberger, B.; Hoenig, V. *Optimierung der Drehofenfeuerung in Zementwerken bei Einsatz von Sekundärbrennstoffen. Optymalizacja palenisk piecow obrotowych w cementowaniach przy wysokim udziale paliw wtornych. Optimization of rotary cement kiln firing with usage of alternative fuels.*
In: IV International Scientific Conference Energy and Environment in Technologies of Construction, Ceramic, Glass and Refractory Materials; Karpacz, Polen, 17.–19.09.2008

- Eppers, S.; Müller, C. *Restrained ring tests with UHPC.*
In: International Symposium on utilization of high-strength and high-performance concrete: Proceedings of the 8th International Symposium on utilization of high-strength and high-performance concrete; Tokyo, Japan, 27–29 October 2008. – (HSC & HPC 8), S. 744–751
- Eppers, S.; Müller, C. *Autogenous shrinkage and time-zero of UHPC determined with the shrinkage cone.*
In: Creep, shrinkage and durability mechanics of concrete and concrete structure: Proceedings of the eighth international conference on creep, shrinkage and durability of concrete and concrete structures; Ise-Shima, Japan, 30 September–2 October 2008; Volume 1; Volume 2. London: CRC Press, 2009, S. 709–714
- Eppers, S.; Müller, C. *Autogenous shrinkage strain of Ultra-High-Performance Concrete (UHPC).*
In: Ultra High Performance Concrete (UHPC): Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete Kassel, Germany, 5–7 March, 2008. Kassel, 2008. – (Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau = Structural Materials and Engineering 10), S. 433–441
- Haiber, G. *In den Beton hineinsehen: Interview mit Dr. Silvan Baetzner.*
In: Context (2006) 4, S. 36–37
- Hauer, B.; Thielen, G.; Wiens, U. *A holistic approach to assess sustainability in concrete construction.*
In: International Symposium on Sustainability in the Cement and Concrete Industry; Lillehammer, Norway, 16–19 September 2007. o. O., 2007, S. 490–500
- Hauer, B.; Klein, H.; Müller, C.; Rupert, J.; Schäfer, S.; Spanka, G.; Wassing, W.; Zunzer, U.; Ramolla, S.; Rübner, K.; Meng, B. *Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau: Teilprojekt B1.*
In: DAfStb-Schriftenreihe (2007) 572, S. 131–221
- Hauer, B.; Klein, H. *Recycling of concrete crusher sand in cement clinker production.*
In: International Symposium on Sustainability in the Cement and Concrete Industry; Lillehammer, Norway, 16–19 September 2007. o. O., 2007, S. 106–120
- Hauer, B. [Bearb.] *Ökobilanzielle Baustoffprofile für Transportbeton der Druckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30 und C30/37.*
Technischer Bericht TB-BTe 2135-2007, 11 S.
- Lipus, K.; Baetzner, S. *Determination of the heat of hydration of cement by isothermal conduction calorimetry.*
In: Cement International 6 (2008) 4, S. 92–103
- Müller, C. *Srodowiskowe i techniczne aspekty stosowania cementow mieszanym w betonach.*
In: Drogi i mosty (2006) 3, S. 43–72
- Müller, C.; Borchers, I.; Eickschen, E. *AKR-Prüfverfahren: Auf dem Weg zur Performance-Prüfung.*
In: Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007) 8, S. 528–538
- Müller, C.; Severins, K. *Durability of concretes made with cements containing fly ash.*
In: Cement International 5 (2007) 5, S. 102–109
- Müller, C. *Effect of different substances in cement production on the properties of concrete.*
In: BFT International 73 (2007) 2, S. 78–79
- Müller, C.; Severins, K. *Dauerhaftigkeit von Betonen mit flugaschehaltigen Zementen.*
In: beton 57 (2007) 3, S. 119–126
- Müller, C. *Use of cement in concrete according to European Standard EN 206-1.*
In: New cements and their effect on concrete performance: The first international conference; 16–18 December 2008; Kairo, 2008

- Müller, C. *The new alkali guideline issued by the German Committee for reinforced concrete: Tips and tricks for practical application.*
In: BFT International 52 (2008) 2, S. 72–75
- Müller, C.; Borchers, I. *Alkali-Kieselsäure-Reaktion und das Bauen mit Beton.*
In: VDB-Information (2008) 100, S. 2–6
- Müller, C.; Borchers, I.; Eickschen, E. *Erfahrungen mit AKR-Prüfverfahren.*
In: Straße und Autobahn 59 (2008) 5, S. 272–281
- Müller, C.; Borchers, I. *Evaluation of test methods for the assessment of the alkali-reactivity of aggregates and concrete compositions.*
In: 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction: Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete (ICAAR); Trondheim, Norway, 16–20 June 2008
- Müller, C. *Die neue Alkali-Richtlinie.*
In: MIRO: Fachzeitschrift für mineralische Rohstoffe 44 (2008) 5, S. 21–22
- Müller, C.; Severins, K. *Umweltschonend, dauerhaft, leistungsfähig: CEM II- und CEM III/A-Zemente setzen sich mit ihren vielen Vorteilen im Betonbau immer mehr durch.*
In: Deutsches Ingenieurblatt (2009) 1–2, S. 26–30
- Neck, U.; Ehrlich, N. *Quality and optimization of mix designs for concrete products – A contradiction in terms?*
In: BFT International 73 (2007) 2, S. 66–69
- Nixon, P.; Lindgard, J.; Borchers, I.; Wigum, Borge J.; Schouenborg, B. *The EU „Partner” Project – European Standard Tests to prevent Alkali reactions in aggregates: Final results and recommendations.*
In: 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction: Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete (ICAAR); Trondheim, Norway, 16–20 June 2008
- Rickert, J. *Zement und Fließmittel: Gemeinsam für robuste Betone.*
In: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein, DBV (Hrsg.): DBV-Regionaltagung Hamburg-Bergedorf 2009. Wiesbaden, 2009.
- Rickert, J. *Bau und Betonchemie: Einsatz von Betonzusatzmitteln.*
In: 17. Kasseler Baubetriebsseminar: Schalungstechnik; Kassel: Gesellschaft bR für baubetriebliche Weiterbildung, Arbeitskreis Schalung, GfW-Schalung, 2007, S. 6.1–6.10
- Rickert, J.; Strehlein, D. *Sichtbeton: Forschung und Praxis.*
In: beton (2008) 9, S. 20
- Rickert, J. *Cement and plasticizers – partners in concrete.*
In: BFT International 52 (2008) 2, S. 70–71
- Schäffel, P.; Rickert, J. *Einfluss von schwindreduzierenden Zusatzmitteln auf das Schwinden und weitere Eigenschaften von Zementstein*
In: beton 57 (2007) 6, S. 289–295; 7–8, S. 359–365
- Schäffel, P. *Mechanisms of action of shrinkage reducing admixtures and recommendations for targeted application.*
In: Concrete Plant and Precast Technology / Betonwerk und Fertigteil-Technik: BFT International 52 (2008) 2, S. 24–25
- Schäffel, P. *Influence of shrinkage-reducing admixtures on autogenous shrinkage and other properties of hardened cement paste.*
In: Creep, shrinkage and durability mechanics of concrete and concrete structure: Proceedings of the eighth international conference on creep, shrinkage and durability of concrete and concrete structures; Ise-Shima, Japan, 30 September–2 October 2008; Volume 1; Volume 2. London: CRC Press, 2009, S. 863–869

- Schäffel, P.; Rickert, J. *The influence of shrinkage-reducing admixtures on the shrinkage and other properties of hardened cement paste.*
In: Cement International 6 (2008) 1, S. 92–105
- Schellhorn, H.; Struth, R.; Sybertz, F. *CEN standard sand: a proven quality control product.*
In: Cement International 5 (2007) 2, S. 54–62
- Schiessl, P.; Hauer, B.; Wiens, U. *Beton – Innovativer und nachhaltiger Werkstoff.*
In: beton + Fertigteiljahrbuch 2009: Architektur, Hochbau, Tiefbau. Gütersloh, Bauverlag, 57. Ausg., 2008, S. 190–193
- Schneider, C.; Schulz, M.; Hamann, B. *Production of glass products: A possible new way of utilizing dusts from the cement industry.*
In: Cement International 5 (2007) 1, S. 64–73
- Schneider, M. *Current and future perspective of cement standardization.*
In: Third International Symposium Sustainability in Cement and Concrete: Proceedings; Vol. 1; Istanbul, Turkey, 21–23 May 2007. Ankara: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, TÇMB, 2007, S. 331–340
- Schneider, M. *Neue Entwicklungen bei der Zementherstellung und -anwendung. Nowe rozwiązania w procesie produkcji cementu oraz ich zastosowania. New techniques in cement manufacture and its implementation.*
In: IV International Scientific Conference Energy and Environment in Technologies of Construction, Ceramic, Glass and Refractory Materials; Karpacz, Polen, 17–19 September 2008
- Schneider, M. *Standardization of cement: Experience in Europe.*
In: New cements and their effect on concrete performance: The first international conference; 16–18 December 2008; Kairo, 2008
- Seemann, S.; Müller-Pfeiffer, M. *Influence of the grinding system and grinding atmosphere on the properties of cement.*
In: Cement International 5 (2007) 2, S. 66–75
- Siebel, E.; Böhm, M.; Borchers, I.; Müller, C.; Bokern, J.; Schäfer, E. *ASR test methods: Comparability and practical relevance.*
In: Cement International 5 (2007) 1, S. 84–93
- Thielen, G.; Spanka, G. *Dangerous substances in concrete: Future requirements of the European Construction Products Directive on the environmental impact of concrete.*
In: BFT International 73 (2007) 2, S. 76–77
- Thielen, G.; Schiessl, P.; Wiens, U.; Hauer, B. *Das Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“: Wesentliche Ergebnisse der ersten Projektphase.*
In: beton 57 (2007) 10, S. 442–447
- Thielen, G.; Wiens, U.; Hauer, B. *Vorwort des Schlussberichts zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“.*
In: DAfStb-Schriftenreihe (2007) 572, S. 5–8
- Thielen, G.; Wiens, U.; Hauer, B. *Sustainable building with concrete: A holistic approach along the life-cycle.*
In: Advances in Construction Materials 2007. Grosse, C. U. (Hrsg.). Berlin [u. a.]: Springer, 2007, S. 683–690
- Wassing, W.; Tigges, V. *The significance of the silicate in granulated blastfurnace slags for the early strength of blastfurnace cement mortars and concretes.*
In: Cement International 6 (2008) 2, S. 98–109
- Wassing, W.; Tigges, V. *Improving the early strength of blastfurnace cement mortars and concretes by fixation of silicate hydrogels with reactive aluminates.*
In: Cement International 6 (2008) 5, S. 62–79
- Wollschläger, M. *Elektronischer Zeitschriftenumlauf: Ein Diskussionsbeitrag zur Gestaltung von Zeitschriftenumläufen.*
In: B.I.T.online 10 (2007) 1, S. 19–26

- Wollschläger, M.; Schulze, C. M. *Entwicklung und Aufbau eines digitalen und datenbankgestützten Bildarchivs.*
In: B.I.T.online 11 (2008) 1, S. 25–34
- Wollschläger, M.; Schulze, C. M. *Die Sacherschließung für das Bildarchiv der deutschen Zementindustrie.*
In: Informationskompetenz 2.0: Zukunft von qualifizierter Informationsvermittlung; 24. Oberhofer Kolloquium zur Praxis der Informationsvermittlung, in Gedenken an Joseph Weizenbaum; Barleben/Magdeburg, 10.–12.05.2008; Tagungsband. DGI, Deutsche Gesellschaft für Informationswissenschaft und Informationspraxis e.V., Frankfurt/M.: DGI, 2008. S. 57–66

Einzelveröffentlichungen: Monographien

- Biesenbach, K. *Einfluss von schwindreduzierenden Betonzusatzmitteln auf das autogene Schwinden von Zementstein.*
Diplomarbeit, FH Aachen 2006.
- Bokern, J. *Betonprüfungen zur Beurteilung einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion: Auswirkung der klimatischen Bedingungen auf die Übertragbarkeit von Prüfungsergebnissen.*
Dissertation, TU Braunschweig 2008
- Bouhjar, A. *Einfluss der Mühlenatmosphäre auf die Eigenschaften der Hüttensandmehle.*
Diplomarbeit, Hochschule Krefeld 2006
- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb (Hrsg.) *Schlussbericht zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Forschungsvorhabens „Nachhaltiges Bauen mit Beton“.*
DAfStb: Schriftenreihe 572, Berlin [u. a.]: Beuth, 2007
- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb (Hrsg.) *Sachstandsbericht Hüttensandmehl als Betonzusatzstoff: Sachstand und Szenarien für die Anwendung in Deutschland.*
DAfStb: Schriftenreihe 569; Berlin [u. a.]: Beuth, 2007
- Eickschen, E. *Wirkungsmechanismen luftporenbildender Betonzusatzmittel und deren Nachaktivierungspotenzial.*
Dissertation, RUB Bochum, 2008
- Fleiger, P. M. *2D-Simulation von Mahlkörperbewegungen bei der Zementmahlung in Kugelmöhlen.*
Diplomarbeit, Universität Siegen 2008
- Hoening, V.; Hoppe, H.; Emberger, B. *Carbon capture technology: Options and potentials for the cement industry.*
Technical Report TR 044/2007. Düsseldorf, 2007
- Koring, K. *Technologische Auswirkungen der Sauerstoffanreicherung auf den Zementklinkerbrennprozess.*
Diplomarbeit, TU Clausthal 2008
- Lemke, J. *Absorptive Kohlendioxid-Abtrennung in Zementwerken.*
Diplomarbeit, TU Clausthal 2009
- Ruppert, J. *CO₂ and isotope flux measurements above a spruce forest.*
Dissertation, Universität Bayreuth 2008.
- Schmidt, M.; Bunje, K. Dehn, F.; Droll, K.; Fehling, E.; Greiner, S.; Horvath, J.; Kleen, E.; Müller, C.; Reineck, K.-H.; Schachinger, I.; Teichmann, T.; Teutsch, M.; Thiel, R.; Nguyen, Tue V. *Ultrahochfester Beton: Sachstandsbericht.*
DAfStb: Schriftenreihe 561. Berlin [u. a.]: Beuth, 2008
- Seemann, S. *Einfluss des Mahlsystems und der Mahlatmosphäre auf die Zementeigenschaften.*
Dissertation, TU Clausthal 2009

- Sloot, H. A. van der; Zomeren, A. van; Stenger, R.; Schneider, M.; Spanka, G.; Stoltenberg-Hansson, E.; Dath, P. *Environmental CRITERIA for CEMENT based products: ECRICEM Phase I: Ordinary portland cements; Phase II: Blended Cements; Executive Summary.* Petten, 2008 (ECN-C-08-011)
- Sloot, H. A. van der; Dijkstra, J.; Hejlmars, O.; Spanka, G.; Bluysen, P.; Giselsson, S. *Evaluation of a horizontal approach to assess the possible release of dangerous substances from construction products in support of requirements from the construction products directive: Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Abfallwirtschaft: Förderkennzeichen (Ufoplan) 20695385.* Petten, 2008
- Tigges, V. E. *Die Hydratation von Hüttensanden und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung zur Optimierung von Hochofenzementen.* Dissertation, TU Clausthal 2008
- Verein Deutscher Zementwerke, VDZ; Forschungsinstitut der Zementindustrie, FIZ (Hrsg.) *Leistungsprofil.* Düsseldorf, 2007
- Verein Deutscher Zementwerke, VDZ; Forschungsinstitut der Zementindustrie, FIZ (Hrsg.) *Profile and service portfolio.* Düsseldorf, 2007
- Verein Deutscher Zementwerke, VDZ (Hrsg.) *CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau: Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton.* Düsseldorf, 2008
- Tagungsberichte**
- VDZ *2007 Technical and Scientific Cement Conference of the German Cement Works Association*
In: Cement International 6 (2008) 1, S. 25–37
- VDZ, FIZ *Technisch-wissenschaftliche Zementtagung.*
Düsseldorf, 2008
- VDZ *Zemente in Europa: Heute und morgen. Technisch-wissenschaftliche Tagung.*
In: beton 58 (2008) 1–2

Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Forschungsinstitut der Zementindustrie
Postfach 30 10 63
D-40410 Düsseldorf
Tannenstraße 2
D-40476 Düsseldorf