



CEM II- und CEM III/A- Zemente im Betonbau

**Nachhaltige Lösungen für das Bauen
mit Beton**

CEM II- und CEM III/A- Zemente im Betonbau

Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton

Herausgeber:
Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf 2008

Impressum

Inhaltliche Bearbeitung
durch die VDZ Ad-hoc-Arbeitsgruppe
„CEM II-/ CEM III/A-Zemente im Betonbau“:

Dipl.-Ing. Peter Bilgeri	CEMEX HüttenZement GmbH Dortmund
Dr. Klaus Droll	W. Dyckerhoff Institut für Baustofftechnologie Wiesbaden
Dr.-Ing. Andreas Ehrenberg	FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e.V. Duisburg
Dr.-Ing. Norbert Ehrlich	Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. Düsseldorf
Dipl.-Ing. Dagmar Küchlin	HeidelbergCement AG Leimen
Dr. Eberhard Liebig	Holcim (Deutschland) AG Höher
Dr.-Ing. Christoph Müller	Forschungsinstitut der Zementindustrie Düsseldorf
Dipl.-Ing. Alexander Paatsch	LAFARGE Zement GmbH Oberursel
Dipl.-Ing. Martin Peck	BetonMarketing Süd GmbH München
Dr.-Ing. Karsten Rendchen	BetonMarketing Nord GmbH Sehnde
Dipl.-Ing. Katrin Severins	Forschungsinstitut der Zementindustrie Düsseldorf
Dipl.-Min. Manfred Zimmermann	Holcim (Süddeutschland) GmbH Dotternhausen

Titelbild Neckartalbrücke zur Umfahrung Rottweil (B27)

Herausgeber:
Verein Deutscher Zementwerke e.V.
Düsseldorf, 2008
www.vdz-online.de

Gesamtproduktion:
Verlag Bau+Technik GmbH
Postfach 12 01 10, 40601 Düsseldorf
www.verlagbt.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Ökologische Anforderungen	6
3	Normen und Marktsituation	8
3.1	Zementarten	8
3.2	Anwendungsregeln	10
4	Zementeigenschaften	13
5	Baupraktische Betoneigenschaften	14
5.1	Verarbeitbarkeit	14
5.2	Wasserrückhaltevermögen	14
5.3	Wärmeentwicklung	16
5.4	Festigkeitsentwicklung	16
5.5	Ausschulfristen und Nachbehandlungsdauer	16
6	Dauerhaftigkeit	18
6.1	Allgemeines	18
6.2	Carbonatisierung	19
6.3	Chloriddiffusion, Chloridbindung, Korrosionsschutz	19
6.4	Frostwiderstand, Frost-Tausalz-Widerstand	20
6.5	Chemischer Angriff	22
6.6	Widerstand gegen schädigende Alkalireaktion	22
7	Langzeiterfahrungen in der Anwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen im Betonbau	24
8	Aktuelle Beispiele für die Anwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen im Betonbau	37
9	Häufig gestellte Fragen	45
10	Literatur	50
11	Normen und Regelwerke	56

1 Einleitung

Zu allen Zeiten wurden in Deutschland auf der Basis der regional verfügbaren Rohstoffe leistungsfähige Zemente für eine sichere Betonbauweise hergestellt. Insofern hat die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen in Deutschland eine lange und erfolgreiche Tradition.

Portlandhüttenzemente CEM II-S (früher: Eisenportlandzemente) und Hochofenzemente CEM III werden seit mehr als einem Jahrhundert industriell hergestellt und sind seit fast 100 Jahren genormt. Heute werden Hochofenzemente CEM III/A in einigen Regionen als Regelzemente für die Herstellung von Transportbeton im Hoch- und Ingenieurbau verwendet.

Portlandkalksteinzemente CEM II/A-LL – in Frankreich bereits seit rd. 30 Jahren genormt – werden in Deutschland seit Beginn der 80er Jahre hergestellt und im Beton eingesetzt. Die Einführung erfolgte zunächst über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, im Jahre 1994 wurden Portlandkalksteinzemente in Deutschland gemeinsam mit weiteren Portlandkompositzementen genormt.



Sparkasse Ulm, Fassade und Teile der Innenräume als Sichtbeton mit CEM II/A-LL 32,5 R, Bauzeit: 2005/2006, Betonmenge: 2.100 m³

Portlandschieferzement wird in Deutschland auf der Basis geeigneter, regional verfügbarer Ölschieferorkommen seit 1943 produziert und nach Anwendung mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung wurde Portlandschieferzement in Deutschland 1989 genormt.

Einige deutsche Zementhersteller haben in jüngster Zeit Portlandkompositzemente CEM II/A-M und CEM II/B-M nach DIN EN 197-1 entwickelt und in den Markt eingeführt.

Aufgrund der stetig steigenden Anforderungen an den Umweltschutz kommt heute der Herstellung und Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen wegen ihrer ökologischen Vorteile eine immer höhere Bedeutung zu.

Der erfolgreiche Einsatz in der Baupraxis belegt die Leistungsfähigkeit von CEM II- und CEM III/A-Zementen für anspruchsvolle und dauerhafte Betonbauwerke. Nachfolgend werden die anwendungstechnischen Eigenschaften dieser Zemente, ökologische Vorteile ihrer Verwendung sowie praktische Anwendungsbeispiele vorgestellt.

2 Ökologische Anforderungen

Die Anforderungen an die Schonung der Ressourcen, an die Verringerung des Energieeinsatzes und an den globalen Klimaschutz sowie steigende Energiepreise stellen alle Industrien vor erhebliche Herausforderungen. Als energie- und rohstoffintensive Industrie ist die Zementindustrie hiervon 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. In der Konsequenz stellen sie effiziente und leistungsfähige Zemente her, die es ihren Kunden ermöglichen, leistungsfähige und dauerhafte Betone sowie Betonprodukte mit entsprechenden spezifischen Stoffeinsätzen zu produzieren. Den CEM II- und CEM III/A- Zementen kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

Der Einsatz natürlicher Rohstoffe und der Brennstoffenergiebedarf für die Zementherstellung sind in erster Linie durch die Herstellung des Zementklinkers bedingt. Dieses gilt auch für die CO_2 -Emissionen, zu denen prozessbedingt die CO_2 -Emissionen aus den eingesetzten Kalksteinen als Rohmaterialkomponente beitragen. Darüber hinaus wird CO_2 aufgrund des Einsatzes der fossilen Brennstoffe emittiert. In den vergangenen Jahren hat die Zementindustrie ihren Brennstoffenergiebedarf deutlich gesenkt (Bild 1) und dabei ein verfahrenstechnisches Optimum nahezu erreicht. Insofern kommt für eine weitere Reduzierung der CO_2 -Emissionen bei der Zementherstellung

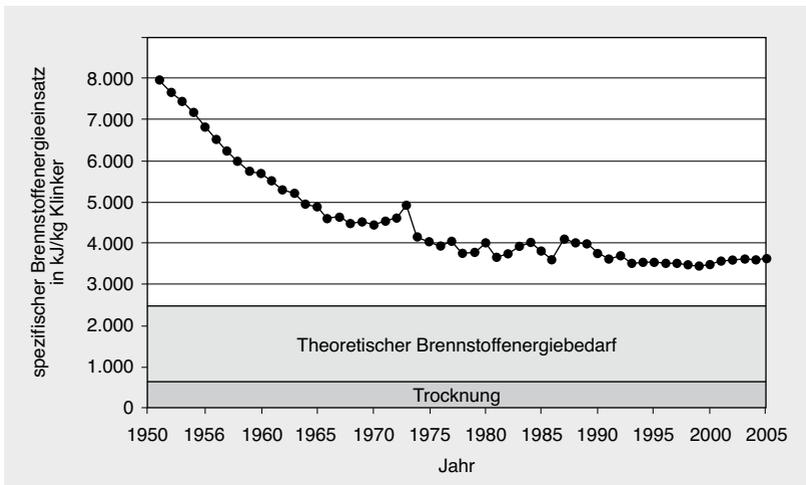


Bild 1: Entwicklung des spezifischen Brennstoffenergieeinsatzes bezogen auf den Klinker [VDZ05a]

solchen Zementen eine besondere Bedeutung zu, die neben Klinker noch andere Hauptbestandteile enthalten. CEM II- und CEM III-Zemente erfüllen daher auch die ökologischen Anforderungen an umwelt- und ressourcenschonende Baustoffe.

Am Beispiel der hüttensandhaltigen Zemente zeigt Bild 2 die spezifischen CO₂-Emissionen, die mit der Herstellung dieser Zemente verbunden sind. Dabei wird deutlich, dass mit zunehmendem Hüttensandgehalt die spezifischen CO₂-Emissionen pro Tonne Zement deutlich abnehmen. Dieser Zusammenhang gilt im Übrigen nicht nur für die CO₂-Emissionen, in ähnlicher Weise verringert sich der Einsatz natürlicher Rohmaterialien oder der Bedarf an Brennstoffenergie bei zunehmendem Hüttensandgehalt.

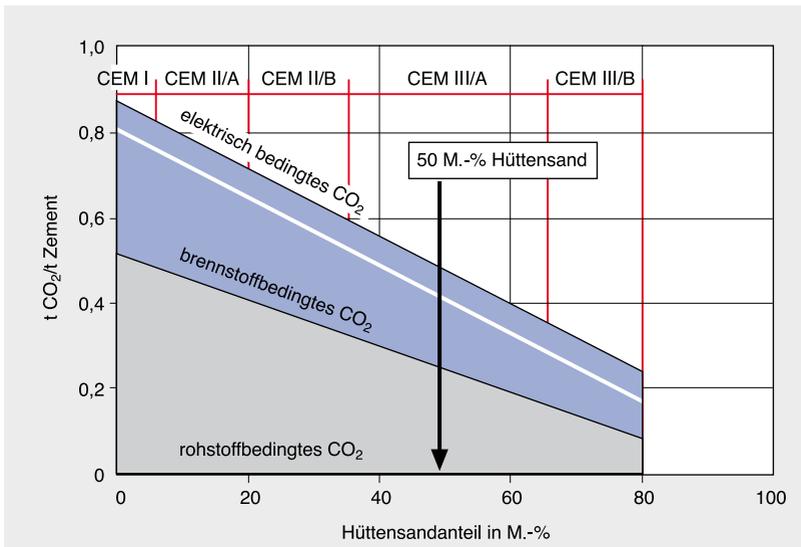


Bild 2: CO₂-Emissionen bei der Herstellung hüttensandhaltiger Zemente 32,5 R im Vergleich zu Portlandzement [Hoe03]

3 Normen und Marktsituation

3.1

3.1 Zementarten

CEM II- und CEM III/A-Zemente werden durch gemeinsames Mahlen oder durch getrenntes Mahlen und anschließendes Mischen ihrer Hauptbestandteile hergestellt.

Die folgenden, nach Norm zulässigen Hauptbestandteile werden in Deutschland eingesetzt:

- Portlandzementklinker (K) wird durch Brennen eines Gemisches aus Kalkstein, Ton und quarzhaltigem Sand sowie weiteren Korrekturstoffen hergestellt. Fein gemahlen besitzt er hydraulische Eigenschaften.
- Hüttensand (S) ist ein latent-hydraulischer Stoff. Er entsteht aus feuerflüssiger Hochofenschlacke, die schnell abgekühlt wird und dabei weitgehend glasig zu feinen Partikeln erstarrt (Granulation).
- Silicastaub (D) entsteht bei der Reduktion von hochreinem Quarz mit Kohle in Lichtbogenöfen bei der Herstellung von Silicium- und Ferrosiliciumlegierungen. Er besteht aus sehr feinen kugelförmigen Partikeln und besitzt puzzolanische Eigenschaften.
- Flugaschen (V) sind feinkörnige Verbrennungsrückstände, die in Elektrofiltern zur Abgasreinigung von Kohlekraftwerken abgeschieden werden. Steinkohlenflugasche (SFA) besitzt puzzolanische Eigenschaften.
- Gebrannter Ölschiefer (T) wird bei Temperaturen von 800 °C im Wirbelschichtverfahren hergestellt. Aufgrund der Zusammensetzung des natürlichen Ausgangsmaterials und des Herstellungsverfahrens enthält er Klinkerphasen und puzzolanisch reagierende Oxide. Dem entsprechend weist gebrannter Schiefer im feingemahlten Zustand hydraulische Eigenschaften auf.
- Kalksteinmehl (LL) als Hauptbestandteil für CEM II-Zemente wird aus hochwertigem, ausgesuchtem und aufbereitetem Kalkstein hergestellt.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht der in Deutschland eingesetzten CEM II- und CEM III/A-Zemente. Die europäische Zementnorm DIN EN 197-1 definiert den Begriff „Portlandkompositzement“ in zweifacher Hinsicht. Zum einen wird er als Oberbegriff für die gesamte Gruppe der CEM II-Zemente verwendet. Hierzu gehören z.B. die Portlandhüttenzemente CEM II-S, darüber hinaus Portlandschieferzement CEM II-T und Portlandkalksteinzement CEM II-LL mit jeweils einem weiteren Hauptbestandteil neben Portlandzementklinker. Außerdem wird der Begriff „Portlandkompositzement“ für die CEM II-M-Zemente verwendet, bei denen neben Portlandzementklinker mehrere Hauptbestandteile miteinander kombiniert werden.

Tabelle 1: In Deutschland verwendete CEM II- und CEM III/A-Zemente (Auszug aus DIN EN 197-1)

Zement		Zusammensetzung (Massenanteile in Prozent)						Nebenbestandteile
		Hauptbestandteile						
		Portlandzementklinker	Hütten-sand	Silica-staub	Flugasche (kiesel-säurereich)	Gebr. Öl-schiefer	Kalk-stein	
		K	S	D	V	T	LL	
CEM II/A-S	Portlandhüt-tenzement	80-94	6-20	-	-	-	-	0-5
CEM II/B-S		65-79	21-35	-	-	-	-	
CEM II/A-T	Portland-schieferzement	80-94	-	-	-	6-20	-	
CEM II/B-T		65-79	-	-	-	21-35	-	
CEM II/A-LL	Portlandkalk-steinzement	80-94	-	-	-	-	6-20	
CEM II/A-D	Portlandsilica-staubzement	90-94	-	6-10	-	-	-	
CEM II/A-M*	Portlandkom-positzement	80-94	6-20					
CEM II/B-M*		65-79	21-35					
CEM III/A	Hochofen-zement	35-64	36-65	-	-	-	-	

* Derzeit in Deutschland nur als CEM II-M (S-LL), (V-LL) und (S-D) hergestellt.

Bild 3 zeigt, in welchen Anteilen die verschiedenen Zementarten in Deutschland und Europa eingesetzt werden. Der Vergleich zur gesamteuropäischen Situation ergibt sich anhand der Daten des Dachverbandes der europäischen Zementindustrie CEMBUREAU. Danach werden in Europa bereits wesentlich mehr CEM II-Zemente als CEM I-Zemente verwendet. Bild 4 zeigt, dass diese Entwicklung auch in Deutschland fortschreitet.

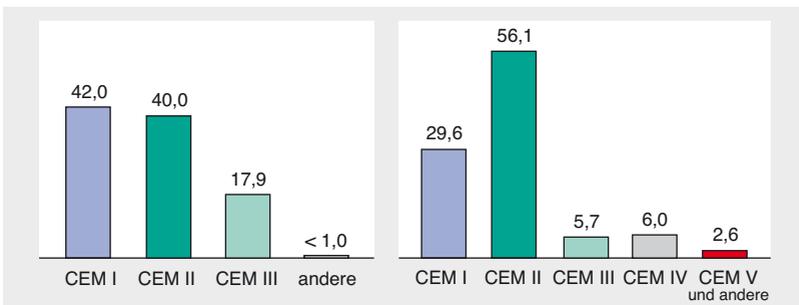


Bild 3: Inlandsversand der 2006 in Deutschland hergestellten Zemente (l.) und die 2005 in Europa hergestellten Zemente (r.) nach Zementarten, Anteile in % [VDZ07, CEM05]

3 Normen und Marktsituation

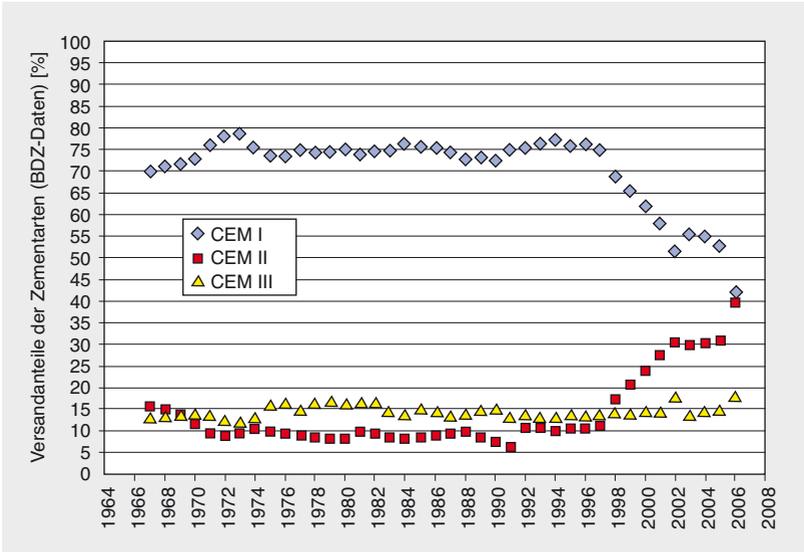


Bild 4: Zeitliche Entwicklung der Zementarten in Deutschland, Inlandsversand von 1997 bis 2006 [BDZ06, BDZ07]

3.2 Anwendungsregeln

Die aktuellen Betonnormen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 enthalten die Anwendungsregeln für Normzemente in Abhängigkeit von den Expositionsklassen. 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 Expositionsklassen durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Anwendungszulassung AZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erbracht.

Auch im gesamteuropäischen Regelungsbereich der DIN EN 206-1 sind einige Zemente, die DIN EN 197-1 entsprechen, von der Anwendung in bestimmten Expositionsklassen ausgeschlossen, weil die baupraktischen Erfahrungen fehlen und keine anerkannten wissenschaftlichen Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit vorliegen. Aufgrund der vielfach nachreifenden Erfahrungslage sind diese Zemente zwischenzeitlich teilweise normativ berücksichtigt worden oder stehen zur Integration in die Anwendungsregeln an.



Einhausung der BAB A4 bei Jena, Fundament, Gewölbe und Kappen mit CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R, Bauzeit: Beginn 2004, voraussichtliches Ende 2010, Betonmenge: 76.000 m³

Aktuell dürfen folgende Zementarten in allen Expositionsklassen verwendet werden:

- 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
- Portlandflugaschezemente 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/A¹⁾

¹⁾ Expositionsklasse XF4: CEM III/A der Festigkeitsklasse $\geq 42,5$ N oder der Festigkeitsklasse 32,5 R mit bis zu 50 M.-% Hüttenessand

3 Normen und Marktsituation



Zentraler Leitstand im Zementwerk Dotternhausen, Wände, Stützen und Decken mit CEM II/B-T 42,5 N, Baujahr: 2006, Betonmenge: 601 m³

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 5).

Je nach Anwendungsbereichen können darüber hinaus die spezifischen Leistungsmerkmale von CEM II- bzw. CEM III/A-Zementen gezielt genutzt werden. So zeigen beispielsweise CEM III/A-Zemente im Vergleich zu Portlandzement gleicher Festigkeitsklasse eine geringere Hydratationswärmeentwicklung. Die damit verbundene Temperaturerhöhung im Bauteil wird somit begrenzt. Die Hydratationswärmeentwicklung der CEM II-Zemente liegt etwa im Bereich der von CEM I-Zementen.

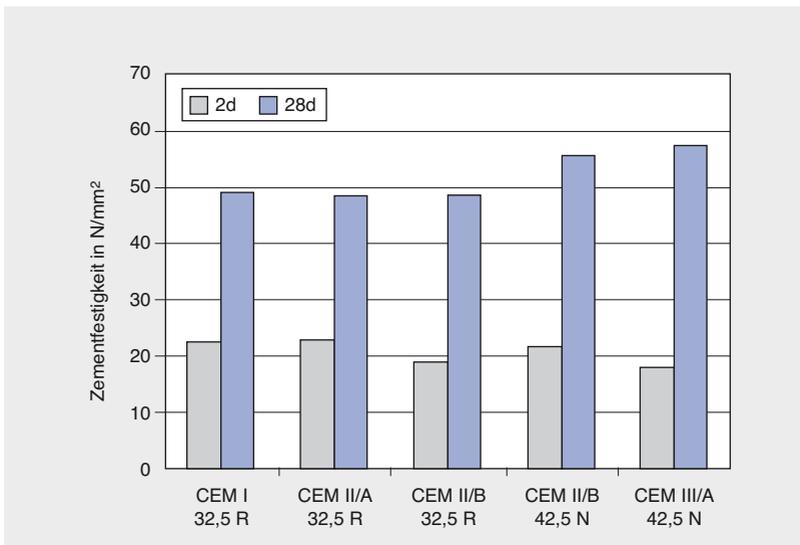


Bild 5: Mittelwerte der Normdruckfestigkeiten verschiedener Zementarten auf der Basis der Ergebnisse der Fremdüberwachung [VDZ05c]

5 Baupraktische Betoneigenschaften

Bei Änderungen der Betonzusammensetzung und damit auch beim Wechsel der Zementart lassen sich mit der Erstprüfung mögliche Auswirkungen auf die Verarbeitbarkeit, die Wirksamkeit der Betonzusatzmittel oder die Festigkeitsentwicklung feststellen.

Praxiserfahrungen belegen, dass Betonzusatzstoffe in CEM II- und CEM III/A-Betonen vergleichbar wirksam sind wie in CEM I-Betonen. Von daher kann Flugasche in jeweils gleicher Weise angerechnet werden. Eine Einschränkung gilt für flugaschehaltige Zemente, für die die anrechenbare Flugaschemenge auf 25 M.-% des Zementgehaltes begrenzt ist.

5.1 Verarbeitbarkeit

Die Verarbeitungseigenschaften eines Betons werden von der Betonzusammensetzung, den Eigenschaften der Betonbestandteile und der Betontemperatur bestimmt. Der Wasserbedarf von Beton wird überwiegend durch Art, Zusammensetzung und Menge der Gesteinskörnung beeinflusst. Demgegenüber ist der Einfluss der verwendeten Zementart gering.

Betone mit CEM II/B-Zementen und CEM III/A-Zementen zeigen i.d.R. ein günstiges Ansteifverhalten, insbesondere bei höheren Außentemperaturen und längeren Transportzeiten.

Darüber hinaus ist aufgrund der optimierten Korngrößenverteilung von CEM II- und CEM III/A-Zementen von einer guten Verarbeitbarkeit der damit hergestellten Betone auszugehen. Sie bieten sich daher auch zur Herstellung von Betonem der Konsistenzklassen F5 und F6 an. Auch für den Einsatz in größeren, frisch-in-frisch herzustellenden Bauteilen sind die für CEM II/B- und CEM III/A-Betone tendenziell längeren Verarbeitungszeiten durchaus erwünscht.

5.2 Wasserrückhaltevermögen

Das Wasserrückhaltevermögen von Beton hängt von seiner Zusammensetzung, vor allem vom enthaltenen Fein- und Feinstkornanteil ab. Daher weisen Betone mit Zementen geringerer Mahlfeinheit ein schlechteres Wasserrückhaltevermögen auf und neigen zum Wasserabsondern (Bluten) des Frischbetons. CEM II- und CEM III/A-Zemente werden feiner aufgemahlen als vergleichbare CEM I-Zemente. Dies beugt dem Wasserabsondern vor und verbessert das Zusammenhaltevermögen von Betonem mit CEM II- und CEM III/A-Zementen.



Windkraftanlage in Emden, Fundament und Mast mit CEM III/A 42,5 N, Bauzeit: 2003 – 2004, Betonmenge: 2000 m³ je Anlage

5 Baupraktische Betoneigenschaften

5.3 Wärmeentwicklung

Die Wärmeentwicklung von Beton ist vor allem vom Zementgehalt und der spezifischen Hydratationswärmeentwicklung des Zements abhängig. Im Allgemeinen gibt es bei vergleichbarer Festigkeitsentwicklung keine baupraktisch relevanten Unterschiede zwischen Betonen mit CEM I-, CEM II- und CEM III/A 42,5 N-Zementen.

Bei Verwendung von Betonen mit CEM III/A-Zementen der Festigkeitsklasse 32,5 ist die Hydratationswärme hinsichtlich der absoluten Wärmemenge und der zeitlichen Entwicklung niedriger. Das aufgrund von Temperaturunterschieden auftretende Spannungs- und Rissrisiko ist bei Betonen mit niedriger Wärmeentwicklung verringert.

5.4 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.

Im Bild 6 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. Dem entsprechend 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.

5.5 Ausschulfristen und Nachbehandlungsdauer

Die Ausschulfrist und die Nachbehandlungsdauer eines Betonbauteils richten sich nach der Festigkeitsentwicklung des Betons und den Erhärtungsbedingungen. Wenn keine ausreichenden Erfahrungswerte vorliegen, können Erhärtungs- oder Reifegradprüfungen durchgeführt werden. Betone mit CEM II- und CEM III/A 42,5 N-Zementen erfordern in der frühen Erhärtungsphase eine sorgfältige Nachbehandlung. Die Gesamtdauer der Nachbehandlung hängt für alle Betone von der Festigkeitsentwicklung (r -Wert nach DIN 1045-3) ab, unabhängig von der verwendeten Zementart.

Im Einzelfall kann eine Anpassung der Frühfestigkeitsentwicklung des Betons durch die Wahl einer entsprechenden Zementfestigkeitsklasse erreicht werden.

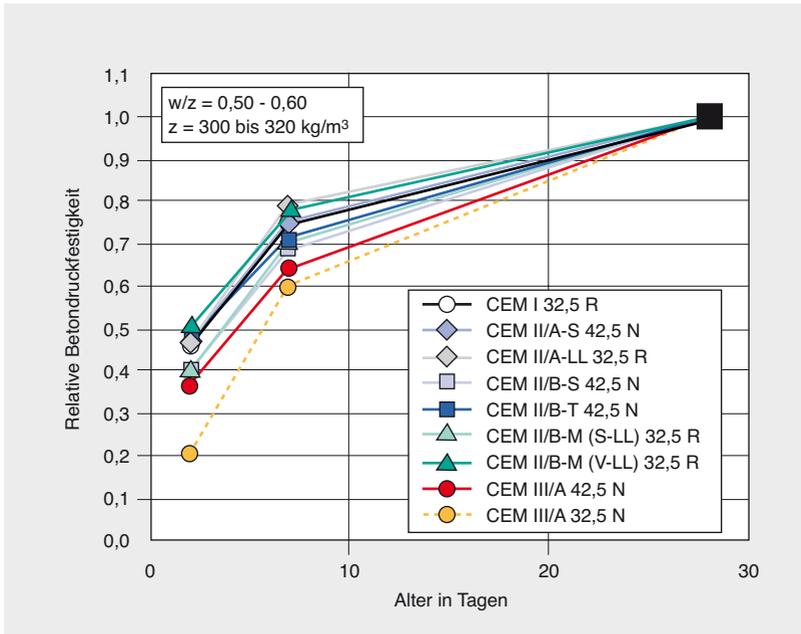


Bild 6: Relative Druckfestigkeit von Betonen mit verschiedenen CEM II- und CEM III/A-Zementen im Vergleich zum CEM I-Beton [VDZ05c]

6 Dauerhaftigkeit

6.1

6.1 Allgemeines

Wesentliche Kennwerte für die Dauerhaftigkeit von Betonen sind der Carbonatisierungswiderstand, der Widerstand gegenüber eindringenden Chloriden, der Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand sowie der Widerstand gegen chemischen Angriff. Untersuchungen [z.B. Mül05, Mül07] und insbesondere Praxiserfahrungen belegen die hohe Leistungsfähigkeit der CEM II- und CEM III/A-Zemente. Durch Verwendung dieser Zemente können dauerhaftigkeitsrelevante Parameter der Betone gezielt eingestellt werden.

Die Porosität und die Porengrößenverteilung im Beton sind ausschlaggebend für den Widerstand gegen das Eindringen schädigender Gase und Flüssigkeiten. Die Transportvorgänge von Gasen und Flüssigkeiten finden i.d.R. in Kapillarporen statt. Gelporen hingegen haben eine geringe Größe und hemmen den Transport. Messungen zeigen, dass bei Einsatz von Hüttensand (S) und Steinkohlenflugasche (V) als Hauptbestandteile die Kapillarporosität abnimmt (Bild 7). Die Anzahl der Gelporen im Zementstein nimmt mit steigendem Hüttensand- bzw. Flugaschegehalt des Zements zu [Smo76]. Der Beton wird dichter gegen das Eindringen schädlicher Stoffe.

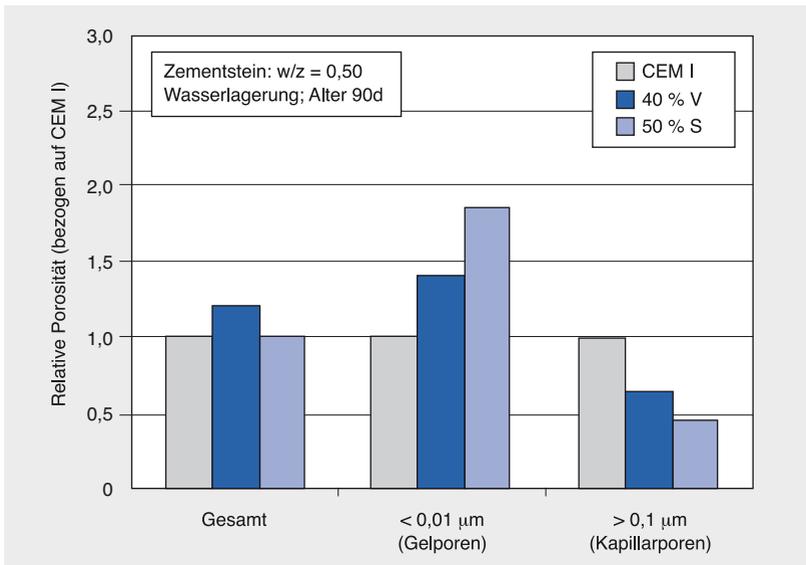


Bild 7: Einfluss verschiedener Hauptbestandteile auf die relative Porosität von Zementstein [Mül06]

6.2 Carbonatisierung

Untersuchungen an Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken, die mit Betonen verschiedener Festigkeitsklassen und unterschiedlicher Zusammensetzung hergestellt wurden, haben gezeigt, dass bei im Freien bewitterten Bauteilen kein Einfluss der Zementart auf das Carbonatisierungsverhalten zu erkennen ist [Sch67]. Obwohl sich an trockenen Innenbauteilen höhere Carbonatisierungsfortschritte ergeben können, besteht aufgrund des geringen Feuchtegehaltes dieser Bauteile kein Risiko der Korrosion der Bewehrung.

6.3 Chloriddiffusion, Chloridbindung, Korrosionsschutz

Im Hinblick auf den Chlorideindringwiderstand sind in der Praxis Unterschiede zwischen Betonen mit verschiedenen Zementarten feststellbar. Die Verwendung hüttsand- und flugaschehaltiger Zemente führt aufgrund der Verfeinerung des Porensystems zu einer z.T. deutlichen Erhöhung des Widerstands des Betons gegen das Eindringen von Chloriden, d.h. einer Verringerung des Chloriddiffusionskoeffizienten (siehe Bild 8) [z.B. Bro83]. Dieser Effekt tritt ab Hüttsandgehalten von etwa 40 M.-% sehr deutlich auf. Von daher kann bei Betonen für massige Bauteile nach DAfStb-Richtlinie und bei Verwendung eines CEM III/A oder CEM III/B in den Expositionsklassen XD3 und XS3 der höchstzulässige Wasserzementwert von 0,45 auf 0,50 bei gleich bleibendem Korrosionsschutz der Bewehrung erhöht werden.

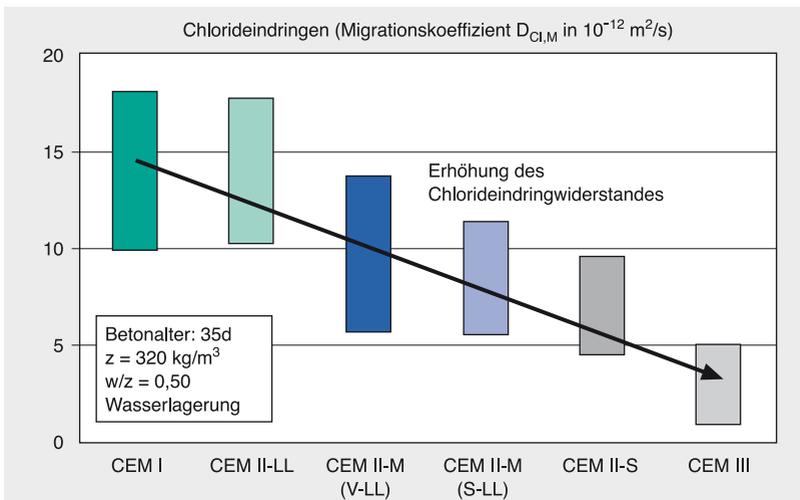


Bild 8: Einfluss der Zementart auf den Chlorideindringwiderstand mittels Schnelltest von Beton [Mü106, Mü107]

6.2

6.3

Neben einem erhöhten Chlorideindringwiderstand verfügen Betone mit hüt- tensandhaltigen Zementen über ein höheres Chloridbindevermögen. Hiermit wird die Wirkung eingedrungener Chloride erheblich gehemmt.

6.4 Frostwiderstand, Frost-Tausalz-Widerstand

Langjährige praktische Erfahrungen (Kap. 7) zeigen, dass Betone mit CEM II/A-LL-, CEM II-S-, CEM II-T- und CEM III/A-Zementen bei sach- gerechter Betonzusammensetzung, -verarbeitung und -nachbehandlung zuverlässig einen hohen Frost- sowie Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen. Da die Verwendung von Portlandkompositzementen CEM II/B-M (S-LL) und CEM II/B-M (V-LL) in Beton nach DIN 1045-2 für die Expositionsclassen XF2 bis XF4 bisher ausgeschlossen sind, wurde der Nachweis der Eignung im Rahmen von Zulassungsversuchen (Anwendungszulassung AZ) erbracht. Erste Anwendungen bestätigen die Eignung der Zemente. Lediglich CEM III/A der Festigkeitsklasse 32,5 N sowie CEM III/A 32,5 R mit mehr als 50 M.-% Hüttensand dürfen in der Expositionsklasse XF4 nicht verwendet werden.

Bild 9 zeigt beispielhaft die im Frostversuch nach dem Würfelverfahren nach der DIN CEN/TS 12390-9 ermittelten Abwitterungen von Betonen unter Ver- wendung verschiedener CEM I- sowie CEM II- und CEM III/A-Zemente. Das Würfelverfahren wird in den Zulassungsprüfungen des Deutschen Instituts für

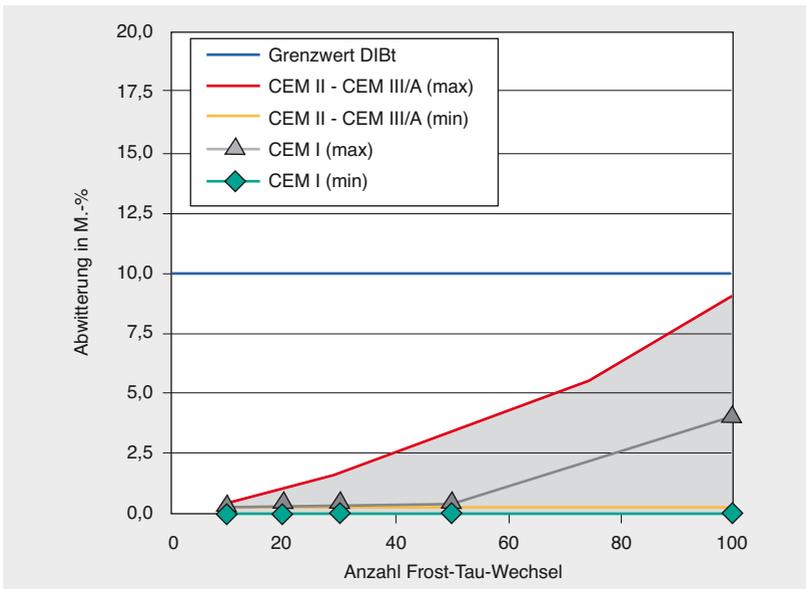


Bild 9: Frostwiderstand von Beton bei Prüfung mit dem Würfelverfahren (Auftauen und Einfrieren unter Wasser): w/z = 0,60; z = 300 kg/m³ [VDZ06b]

Bautechnik verwendet und ist damit ein maßgeblicher Bewertungsmaßstab. Zemente, die das Beurteilungskriterium (Abwitterung nach 100 FTW ≤ 10 M.-%) erfüllt hatten, haben sich auch in der Praxis bewährt.

Voraussetzung für einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand insbesondere in der Expositionsklasse XF4 sind der Gehalt und die Verteilung wirksamer Mikroluftporen. Zur Sicherstellung des erforderlichen Luftporengehaltes kann bei Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen eine geringfügig höhere LP-Mittel-Dosierung erforderlich sein.

In Bild 10 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.

Bei der Bewertung der mit den Laborprüfverfahren ermittelten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Prüfbedingungen einen maßgeblichen Einfluss haben und eine Übertragung auf die Praxis nur eingeschränkt möglich ist.



Talbrücke „Wilde Gera“ mit CEM II/B-S 32,5 R, Baujahr: 2001, Betonmenge: 18.000 m³

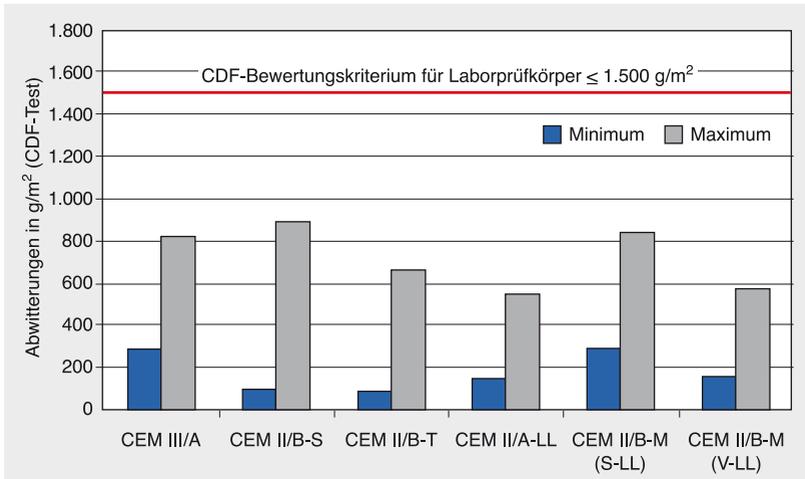


Bild 10: Frost-Tausalz-Widerstand von Luftporenbetonen bei Prüfung mit dem CDF-Verfahren [VDZ06c], Zementgehalt 320 bis 365 kg/m³; w/z-Wert 0,41 bis 0,50; Festigkeitsklassen der Zemente: 32,5 R und 42,5 N

Zahlreiche Praxisbeispiele belegen die Eignung der CEM II- und CEM III/A-Zemente für Anwendungen, die einen erhöhten Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand erfordern.

6.5 Chemischer Angriff

Der Widerstand eines Betons gegen chemische Angriffe ist von der Betonzusammensetzung bzw. seinem Wasserzementwert abhängig. Nach DIN 1045-2 bestehen für die Anwendung der hier behandelten CEM II- und CEM III/A-Zemente keine Einschränkungen in den Expositionsklassen XA. Lediglich bei starkem Sulfatangriff ist Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS- bzw. SR-Zement) erforderlich. Neben einigen CEM I-Zementen mit C₃A-Gehalten ≤ 3 M.-% und Al₂O₃-Gehalten ≤ 5 M.-% erfüllen alle CEM III/B-Zemente mit einem Hüttensandgehalt von ≥ 66 M.-% die Anforderungen eines HS-Zements. Darüber hinaus sind auch ausgewählte CEM III/A-Zemente mit HS-Eigenschaften bauaufsichtlich zugelassen.

6.6 Widerstand gegen schädigende Alkalireaktion

Reaktionsfähige Bestandteile der Gesteinskörnung können mit den im Zement enthaltenen Alkalien eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) auslösen. Bei Verwendung reaktiver Gesteinskörnungen schreibt die Alkali-Richtlinie des DafStb in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen und des Zementgehaltes einen Austausch der Gesteinskörnung oder die Verwendung



Inn-Kanal-Sanierung, Kanalseitenflächen und Sohlen mit CEM II/B-S 32,5 R, Baujahr: 2003, Betonmenge: 150.000 m³

von Zementen mit einem niedrigen wirksamen Alkaligehalt (NA-Zement, vgl. Tabelle 2) vor.

Eine Reihe nationaler und internationaler Veröffentlichungen sowie baupraktische Erfahrungen haben gezeigt, dass die Verwendung hüttensandhaltiger Zemente zu einer dauerhaften und nachhaltigen Vermeidung einer schädigenden AKR beiträgt [z.B. Bij96, Sie01, Sie02]. Dies beruht auf einer Reduzierung des wirksamen Alkaligehalts sowie insbesondere bei höheren Hüttensandgehalten durch eine aktive Alkalibindung [Sch06, Loh03, Smo74].

Tabelle 2: Zement mit einem niedrigen wirksamen Alkaligehalt (NA-Zement) nach DIN 1164-10

Zementart	Anforderung
CEM I bis CEM V	Na ₂ O-Äquivalent ≤ 0,60 M.-%
CEM II/B-S	> 21 M.-% Hüttensand und Na ₂ O-Äquivalent ≤ 0,70 M.-%
CEM III/A	≤ 49 M.-% Hüttensand und Na ₂ O-Äquivalent ≤ 0,95 M.-% ≥ 50 M.-% Hüttensand und Na ₂ O-Äquivalent ≤ 1,10 M.-%
CEM III/B und CEM III/C	Zusammensetzung nach DIN EN 197-1 und Na ₂ O-Äquivalent ≤ 2,00 M.-%

7 Langzeiterfahrungen in der Anwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen im Betonbau

Die bisher in Deutschland produzierten und im Betonbau eingesetzten CEM II- und CEM III/A-Zemente erfüllen die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Portlandzement CEM I in gleichem Umfang. Im Hinblick auf ihre Verarbeitungseigenschaften, die Festigkeitsentwicklung und die Dauerhaftigkeit des Betons haben sie sich in jahrzehntelangem Praxiseinsatz bewährt, wie nachfolgende Praxisbeispiele aus verschiedenen Bereichen des Betonbaus zeigen.

Projektübersicht

- Brücken Umgehung Freudenstadt (S. 25)
- Saalebrücke Beesedau (S. 26)
- Brücke Merklingen (S. 27)
- Brückenkappen Neugattersleben (S. 28)
- Brückenkappen Hettstedt (S. 29)
- Fahrbahndecke Bundesautobahn BAB A29 (S. 30)
- Fahrbahndecke Bundesautobahn BAB A44 (S. 31)
- Doppelsparschleuse Hohenwarthe (S. 32)
- Trinkwassertalsperre Leibis/Lichte (S. 33)
- Rennsteigtunnel im Zuge der BAB A71, Erfurt – Schweinfurt (S. 34)
- Tunnel Burgholz im Zuge der L 418n, Wuppertal (S. 35)
- Kirche „Christus unser Friede“ Duisburg-Neumühl (S. 36)

Objekt: Brücken Umgehung Freudenstadt



Mehrere Brücken im Zuge der B294 Umfahrung Freudenstadt bei Lauterbad in klimatisch exponierter Lage im Nordschwarzwald, Taktschiebeverfahren

Bauzeit	1978 / 1980 / 1984	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	Portlandschieferzement CEM II/B-T 32,5 R	Stützen, Überbau, Kappen
Gesamtmenge Beton	10.000 m ³	
Technische Kennwerte	B 45, KP, Zement 320 kg/m ³ ; w/z = 0,48; Sieblinie A/B 32; Zuschlag eFT, 0,5 % BV, kein LP mittlere Festigkeitsentwicklung; WU; hoher Frostwiderstand	
Besichtigung	August 2006	
Kommentare/ Hinweise	<p>Vom Bauherrn (Straßenbauamt Karlsruhe) wurde damals vorgegeben, den Beton ohne Luftporenbildner herzustellen.</p> <p>Die Besichtigung ergab, dass die Brücken in einem sehr guten Zustand sind. Der CEM II-Beton weist nach weit über 20 Jahren Verkehrs- und Klimabelastung keine Schädigungen auf.</p> <p>Die Brückenkappen sind an der Oberfläche lediglich leicht angewittert, jedoch ohne größere Ausbrüche oder Schädigungen.</p> <p>Nacharbeiten oder Instandsetzung waren bislang nicht notwendig.</p>	

7 Langzeiterfahrungen in der Anwendung

Objekt: Saalebrücke Beesedau



Saalebrücke Beesedau im Zuge der Bundesautobahn BAB A14 (Vorlandbrücke)

Bauzeit	1999	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM III/A 32,5 N-NW/NA	Pfeiler
	CEM II/B-S 42,5 R	Überbau
	CEM II/B-S 32,5 R	Kappe der Vorlandbrücke Richtungsfahrbahn Magdeburg
Gesamtmenge Beton	ca. 15.000 m ³	
Technische Kennwerte	Länge der Vorlandbrücke: 495 m, Gesamtlänge: 805 m 28-Tage-Druckfestigkeit der Brückenkappe: 36 N/mm ² Abwitterungen im CDF-Test nach 28 Frost-Tau-Wechseln: Labor 887 g/m ² , auf der Baustelle hergestellte Probe 514 g/m ²	
Besichtigung	Besichtigung Mai 2006 Begehungsbericht Nr.16/401/432/2006 WTI-Bau / Dr.-Ing. Löffler GmbH Unterwellenborn vom 30.06.06	
Kommentare/ Hinweise	Die Kappen aus CEM II-Beton sind mit denen aus CEM I-Beton in ihrem heutigen Qualitätszustand über weite Bereiche vergleichbar. Die festgestellten kleineren Schäden (Abwitterungen, kleine Risse, Kantenabplatzungen etc.) sind unabhängig von der Zementart. Diese Erscheinungsbilder sind eine Frage der Betonverarbeitung und des Betoneinbaus. (Quelle: o.g. Gutachten) [Ehr00]	

Objekt: Brücke Merklingen



Brückenbauwerk zur Umfahrung der Stadt Merklingen, Überführung über die L 1230

Bauzeit	1998	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM II/A-LL 32,5 R	gesamtes Bauwerk
Gesamtmenge Beton	ca. 210 m ³	
Technische Kennwerte	Breite: 6 m, Gesamtlänge: 31 m Fundamente, Pfeiler, Überbau: B 25; Kappe: B 25 Abwitterungen im CDF-Test nach 28 Frost-Tau-Wechseln: 275 g/m ²	
Besichtigung	August 2006	
Kommentare/ Hinweise	Bei der Begehung der Brücke wurden keine Schäden am Bauwerk festgestellt. Die Brückenkappen befinden sich in sehr gutem Zustand. Auf den Brückenkappen hat sich leichter Moosbewuchs eingestellt. Risse und Abplatzungen sind nicht erkennbar.	

7 Langzeiterfahrungen in der Anwendung

Objekt: Brückenkappen Neugattersleben

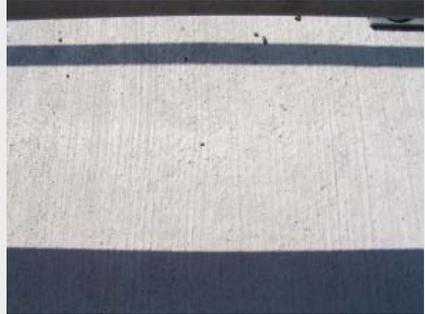


Brücke Neugattersleben im Zuge der BAB A14

Bauzeit	1999	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM II/B-S 32,5 R	Innenkappe Richtungsfahrbahn Magdeburg
	CEM I 32,5 R	andere Brückenkappen
	CEM I 42,5 R	Überbau
Gesamtmenge Beton	ca. 60 m ³ mit CEM II/B-S 32,5 R	
Technische Kennwerte	Kappen mit B 25 und LP, Kies/Splitt-Beton mit 340 kg/m ³ CEM II/B-S 32,5 R Abwitterungen im CDF-Test nach 28 Frost-Tau-Wechseln: Labor 677 g/m ²	
Besichtigung	Mai 2006	
Kommentare/ Hinweise	Oberflächenstruktur in gutem Zustand, negative Veränderungen im Vergleich zu früheren Begehungen waren nicht zu erkennen. [Ehr00]	

Objekt: Brückenkappen Hettstedt

Brücke im Zuge der B 180n bei Hettstedt BW
3a



Kappenansicht

Bauzeit	2004	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	Brückenkappe Richtung Hettstedt
	CEM I 32,5 R	andere Brückenkappe als Vergleich
	CEM I 42,5 R	Überbau
Gesamtmenge Beton	ca. 50 m ³ für Brückenkappe	
Technische Kennwerte	C 30/37 mit LP für Brückenkappe Abwitterungen im CDF-Test nach 28 Frost-Tau-Wechseln: 535 g/m ²	
Besichtigung	Mai 2006	
Kommentare/ Hinweise	Die Begehung mit der gutachterlichen Einrichtung (MFPA Leipzig) ergab keine Abwitterungen oder Risse. Die Außenkante der Kappe mit dem CEM II/B-M-Zement zeigte eine hervorragende Sichtbetonfläche. [Deh06]	

7 Langzeiterfahrungen in der Anwendung

Objekt: Fahrbahndecke Bundesautobahn BAB A29



Betonfahrbahndecke Bundesautobahn BAB A29 zwischen Oldenburg und Wilhelmshaven

Bauzeit	1979	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	EPZ 35 F (CEM II/B-S 32,5 R)	Fahrbahndecke
Gesamtmenge Beton	ca. 12.000 m ³	
Technische Kennwerte	Länge x Breite x Dicke pro Richtungsfahrbahn [in m]: 2500 x 11 x 0,22 B 35 LP-Beton (C30/37, XF4, XM2) Zementgehalt 340 kg/m ³ w/z = 0,44 LP = 4,1% $\beta_{D28} = 45 \text{ N/mm}^2$ (Erstprüfung)	
Besichtigung	Zustandserfassungen in den Jahren 1997 und 2002 ergaben keine negativen Auffälligkeiten oder Beanstandungen	
Kommentare/ Hinweise	Beide Richtungsfahrbahnen wurden einschichtig mit einem Gleitschalfertiger eingebaut. Im Raum Wilhelmshaven, Zeitraum 1978 – 1998: Anzahl der Frosttage: 1162, Anzahl der Eistage: 327 (an 327 Tagen wurde gestreut) Quelle: Deutscher Wetterdienst [Lan99]	

Objekt: Fahrbahndecke Bundesautobahn BAB A44



Bundesautobahn
BAB A44
ABK Unna-Ost bis
ABK Werl (Fahrtrichtung
Kassel)

Bauzeit	2002	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM III/A 42,5 N	Unterbeton (22 cm)
	CEM III/A 42,5 N	Oberbeton (8 cm)
Gesamtmenge Beton	ca. 27.000 m ³	
Technische Kennwerte	Länge der Fahrbahndecke: ca. 7 km Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen: 53 N/mm ² Biegezugfestigkeit im Alter von 28 Tagen: 8,3 N/mm ² Abwitterungen im CDF-Test nach 28 Frost-Tau-Wechseln: 716 g/m ² (Erstprüfung)	
Besichtigung	2007	
Kommentare/ Hinweise	Erste Fahrbahndecke mit CEM III/A 42,5 N auf einer Bundesautobahn. Bei der Besichtigung wurden keine Mängel festgestellt. Obwohl Unter- und Oberbeton nur mit 340 kg/m ³ Zement (Mindestzementgehalt gemäß Ausschreibung) hergestellt wurden, ist die gute Verarbeitbarkeit (Geschmeidigkeit) des Betons – charakteristisch für Betone mit Hochofenzement – hervorzuheben. Als besonders vorteilhaft erwies sich bei den hochsommerlichen Temperaturen während der Baumaßnahme der durch das langsamere Abbinden des Betons vergleichsweise größere Verarbeitbarkeitszeitraum. [Bil05a]	

7 Langzeiterfahrungen in der Anwendung

Objekt: Doppelsparschleuse Hohenwarthe



Blick in die Schleuse, Länge 190 m,
Breite 12,50 m; Hubhöhe 18,55–19,05 m



Detail

Bauzeit	1999–2003	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM III/A 32,5 N-LH/NA	Sohle Schleuse und Sparbecken
	CEM III/A 32,5 N-LH/NA	Kammerwände
	Forderung für Hydratationswärmeentwicklung < 230 J/g	
Gesamtmenge Beton	ca. 320.000 m ³	
Technische Kennwerte	C 25/30 mit Flugasche, Konsistenzklasse F3 Sohle: 240 kg/m ³ Zement, 110 kg/m ³ Flugasche, w/z = 0,57; Kammerwände: 270 kg/m ³ Zement, 80 kg/m ³ Flugasche, w/z = 0,47	
Besichtigung	Februar 2007	
Kommentare/ Hinweise	Die Schleusenwände zeigen einen natürlichen Bewuchs im Bereich der Wasserwechselzone. Fehlstellen sind nicht zu erkennen. [Wei03]	

Objekt: Trinkwassertalsperre Leibis/Lichte



Gesamtansicht Gewichtsstaumauer



Tosbecken

Bauzeit	2000–2005	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM II/B-S 32,5 R-NA nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Nr. Z – 3.11 – 1666	Sohlenfein- und Arbeitsfugenbeton (0/32) Kern-, Vorsatz- und Sohlenbeton (0/125)
Gesamtmenge Beton	ca. 630.000 m³	
Technische Kennwerte	Gewichtsstaumauer aus Massenbeton mit gerader Achse bei lotrechter Wasser- und einer 1:0,78 geneigten Luftseite Gesamtstauraum: 39,2 Mio. m³ ; Gesamtstaufläche: 119,7 ha Höhe über Gründungssohle: 102,5 m Kronenlänge: 369 m, Sohlenbreite: 80,6 m	
	Folgende qualitätsrelevante Kriterien für den Zement waren sicherzustellen: Zementzusammensetzung: 65 M.-% bis 70 M.-% Portlandzementklinker, 30 M.-% bis 35 M.-% Hüttensand Hydratationswärmeentwicklung nach 24 h < 150 J/g, nach 7 d < 270J/g, Druckfestigkeit nach 2 Tagen (15 ± 3) N/mm², nach 28 Tagen (49 ± 2,5) N/mm², Wasseranspruch (28 ± 1)%.	
Kommentare/ Hinweise	Diese und weitere Parameter konnten nur durch einen im Mischturn des Zementwerkes hergestellten Sonderzement sicher erreicht werden. [Wag04]	

Objekt: Rennsteigtunnel im Zuge der BAB A71, Erfurt – Schweinfurt



Spritzbetoneinbau (Nassspritzverfahren)



Lafettenbohrer im Einsatz

Bauzeit	1998–2002	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM II/A-S 52,5 R (sp)	Spritzbetonschale
Gesamtmenge Beton	250.000 m ³ Spritzbeton	
Technische Kennwerte	Länge: 7.900 m Ausbruchsmassen: ca. 1,5 Mio. m ³ Ausbruchquerschnitt: ca. 85 m ² Gesamtbauzeit: 45 Monate Bausumme: ca. 430 Mio. DM	
Kommentare/ Hinweise	Der Vortrieb der beiden Röhren erfolgte parallel, d.h. die verwendeten Gerätschaften konnten in den Querschlägen alle 300 m von einer Röhre in die andere fahren. Der Vortrieb wurde nach den Grundsätzen der so genannten „Neuen Österreichischen Tunnelbauweise“ vollzogen (Aufeinanderfolge von Ausbruch und Sicherung der Hohlräume). Der Spritzbeton wurde mit Fahrmaschinen zu je 9 m ³ angeliefert. Die vorübergehende Sicherungsmaßnahme umfasste eine Kombination von Ankern, Spießen, Ausbaubögen, den Einbau der Bewehrung und des Spritzbetons. Ortsbrust und Gewölbe wurden dabei mit einer Spritzbetonschicht (Festigkeitsklasse B 25, Körnung 0/8 mm, Erstarrungsbeschleuniger 5 % v. Zement) von 3 cm bis 6 cm vorgespitzt. [Neu02]	

Objekt: Tunnel Burgholz im Zuge der L 418n, Wuppertal



Tunnelröhre im Zuge der vierstreifigen L 418n

Bauzeit	2002–2006	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM III/A 42,5 N	Außenschale (Spritzbeton)
	CEM III/A 42,5 N	Innenschale
Gesamtmenge Beton	52.500 m ³ Spritzbeton 72.500 m ³ Innenschale	
Technische Kennwerte	Tunnellänge: Nordröhre 1.784 m, Südröhre 1.860 m Außenschale: Spritzbeton B 25 Innenschale: Beton B 25 WU und B 35 WU	
Kommentare/ Hinweise	<p>Der Doppelröhren-Tunnel unter dem „Staatsforst Burgholz“ ist der längste Landesstraßentunnel in Nordrhein-Westfalen.</p> <p>Um einen technologisch und wirtschaftlich geeigneten Nassspritzbeton herzustellen, wurden alle zur Verfügung stehenden Zemente der Festigkeitsklasse 42,5 in diversen Versuchen mit verschiedenen alkalifreien Beschleunigern im Versuchsstollen Hagerbach in der Schweiz getestet.</p> <p>Bei diesen Spritzbetonversuchen zeigte der CEM III/A 42,5 N die für diesen Einsatz günstigste Festigkeitsentwicklung: Die Frühfestigkeiten von mindestens 5 N/mm² nach 12 Stunden und 10 N/mm² nach 24 Stunden konnten sowohl im Sommer als auch im Winter realisiert werden.</p>	

Objekt: Kirche „Christus unser Friede“ Duisburg-Neumühl



Betonrelief auf den Wandscheiben des Glockenturms. Aufnahme aus dem Jahr 2007.

Bauzeit	1996	
Eingesetzte Zemente	Zementart	Bauteil
	CEM III/A 42,5 N	Wandscheiben
Gesamtmenge Beton	ca. 60 m ³	
Technische Kennwerte	Höhe des Glockenturms: 16 m Sichtbeton B 25 (C25/30, XA1, XC4, XF1)	
Besichtigung	2005	
Kommentare/ Hinweise	<p>Der Glockenturm einschließlich des Betonreliefs wurde aus Transportbeton erstellt. Für die Reliefdarstellungen wurden Negativformen aus geschäumtem Polystyrol vorgefertigt und vor Ort auf der Schalung befestigt [Bec96].</p> <p>Nach fast 10-jähriger Bewitterung mit zahlreichen Sonnenstunden, Wind, Regen und weit über 300 Frosttagen, hat das Betonrelief an seiner Ausdruckskraft und Schönheit nichts verloren, auch die Farbigkeit ist erhalten geblieben [Hen05]. Auf der Betonoberfläche ist die sechseckige Struktur der Polystyrol-Formen noch erkennbar.</p>	

Aktuelle Beispiele für die Anwendung 8 von CEM II- und CEM III/A-Zementen

In Tabelle 3 ist eine Auswahl aktueller Beispiele für die Verwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen aus unterschiedlichen Bereichen des Betonbaus zusammengestellt.

Tabelle 3: Aktuelle Beispiele für die Verwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen im Betonbau

Verkehrsflächen				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Flughafen Berlin Tegel	Vorfelderweiterung Terminal C	2005	CEM II/B-S 42,5 N (st)	ca. 3.000 t Zement
Tunnel Berghofen	Fahrbahndecke mit Waschbetontextur	2007	CEM II/A-S 42,5 N (st)	ca. 5.000 m ³
Ortsumgehung Cloppenburg	Brückenkappen	2006	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	ca. 500 m ³
Kreisverkehr Bad Sobernheim	Fahrbahnplatten, Bordsteine, Entwässerungsrinnen	2006	CEM II/A-S 52,5 N	ca. 500 m ³
Hanse Hafen Magdeburg	Verkehrsflächen aus Stahlfaserbeton	2006	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	ca. 4.400 m ³
Ortsumgehung Mittenberg (PPP)	alle Bauteile	2006 – 2007	CEM II/A-S 32,5 R CEM II/A-S 42,5 R	–
Fahrbahndecke BAB A5 Walldorf-Bruchsal [Gus02]	BAB A5	1999	CEM II/B-S 32,5 R	–
Narjes & Bender, Essen [Bil01]	Werkstraße	1995	CEM III/A 42,5 N	–
Zementwerk Rüdersdorf [Bo05]	Werkstraße	2004	CEM II/B-S 42,5 N (st)	180 m ³ / 600 m ²
Autobahn Waidhaus	Fahrbahndecke	1997	CEM II/A-LL 32,5 R	ca. 1,2 km
Verkehrsfläche Depot Hesede in Bremerförde [Hau04]	Lager- u. Stellflächen aus Walzbeton	2002 – 2004	CEM III/A 42,5 N	8.400 m ³
Klinikum Minden	Hubschrauberlandeplatz	2006	CEM III/A 52,5 N	300 m ³ / 800 m ²
Krefeld, Krankenhaus	Hubschrauberlandeplatz	2005	CEM III/A 32,5 N CEM III/A 42,5 N	–
Bochum, Krankenhaus	Hubschrauberlandeplatz	2005/ 2006	CEM III/A 32,5 N CEM III/A 42,5 N	–
Salzgitter, Werkstraße	Fahrbahndecke	2006	CEM III/A 42,5 N	300 m ³
BAB A23	Fahrbahndecke	2003	CEM II/B-S 32,5 R-NA	13.000 m ³ / 2,9 km
Fahrweg Westerhever	Fahrbahndecke	2006	CEM III/A 42,5 N-NA	600 m ³
BAB A44	Fahrbahndecke Unter- und Oberbeton	2002	CEM III/A 42,5 N	ca. 27.000 m ³
BAB A29	Fahrbahndecke	1979	EPZ 35 F (CEM II/B-S 32,5 R)	ca. 12.000 m ³

8 Aktuelle Beispiele für die Anwendung

Brücken				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Lennetalbrücke [Sch00]	Pfeiler Überbau Kappen	1967	EPZ 375	–
Neckartalbrücke Rottweil B27	Brücke	2002	CEM II/B-T 42,5 N CEM II/B-T 42,5 R	6.000 m ³
Gäubahnbrücke Freudenstadt	Brücke	2003	CEM II/B-T 32,5 R	1.000 m ³
Hopfenbachtal- brücke und Wehretalbrücke BAB A44	Brücke/Brücken- überbau	2001 – 2002	CEM II/B-S 32,5 R CEM II/A-S 42,5 R	32.000 m ³
Talbrücke Streichgrund BAB A71 [Lec03]	Brücke	2000 – 2002	CEM II/B-S 32,5 R	11.000 m ³
Talbrücke Wilde Gera BAB A71 [Kra02]	Brücke	2001	CEM II/B-S 32,5 R	18.000 m ³
Thyra-Talbrücke BAB A38	Brücke	2002 – 2004	CEM III/A 42,5 N-NW/NA	30.000 m ³
Wasserstraßenkreuz Magdeburg	Stützen der Trogbrücke	1998 – 2001	CEM III/A 32,5 N-NW/NA	68.000 m ³
Mainbrücke Zeller	Brücke, Überbau	2002	CEM II/A-S 42,5 R	17.000 m ³
Mainbrücke Dettelbach	Brücke, Überbau	2004	CEM II/A-S 42,5 R	–
Maintalbrücke Lichtenfels	Brücke, Überbau	2006	CEM II/A-S 42,5 R	27.000 m ³
Füllbachtalbrücke	Brücke, Überbau	2006	CEM II/A-S 42,5 R	8.500 m ³
Grünbrücke, B6n	Widerlager, Pfeiler Überbau	2005 – 2006	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	2.700 m ³
Saalebrücke Nelben	Pfeiler und Überbau Vorlandbrücke Schrägstützen Brückenkappen	2006 – 2007	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ CEM II/B-M (S-LL) 42,5 R-AZ	4.800 m ³
Kylltalbrücke BAB A60 bei Bittburg	Bogen und Pfeiler	1995 – 1999	CEM II/B-S 42,5 R	30.000 m ³
Saalebrücke Beesedau	Pfeiler, Überbau, Kappen	1999	CEM III/A 32,5 N-NW/NA CEM II/B-S 42,5 R CEM II/B-S 32,5 R	15.000 m ³
Brücken Freudenstadt	Stützen, Überbau, Kappen	1978/ 1980/ 1984	CEM II/B-T 32,5 R	10.000 m ³
Brücke Merklingen	gesamtes Bauwerk	1998	CEM II/A-LL 32,5	ca. 210 m ³
Brücke Suhl-Friedberg	Brückenüberbau	1997	CEM II/A-S 42,5 R	ca. 400 m ³
Steinbachtalbrücke BAB A38	Brücke	2003	CEM II/B-S 32,5 R	–

Brückenkappen				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Brücke bei Gera	Brückenkappen	2006	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	ca. 120 m ³
Main-Brücke Karlbürg	Brückenkappen	2005	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	ca. 240 m ³
Brücke im Verlauf der neuen B6n bei Hoym	Widerlager, Brückekappen	2005	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	ca. 520 m ³
Brücke über BAB A3 bei Hösbach (Aschaffstr.) [Har99]	Widerlager, Pfeiler, Überbau, Kappen	1999	CEM II/A-S 42,5 R CEM II/B-S 32,5 R (CEM I 32,5 N-NW/HS)	–
Brücke über die Aschaff [Har99]	Überbau, Kappen	1999	CEM II/A-S 32,5 R CEM II/B-S 32,5 R	–
Talbrücke Streichgrund BAB A71 [Lec03]	Brückenkappen	2000 – 2002	CEM II/B-S 32,5 R	–
Talbrücke Wilde Gera BAB A 71 [Kra02]	Brückenkappen	2001	CEM II/B-S 32,5 R	–
Brücke Groß Schwaab [Klo03, Mic02]	Brückenkappen innen und außen	2002	CEM II/B-S 32,5 R-NA	Brückenlänge 70 m
Brücke Neugattersleben	Brückenkappen	1999	CEM II/B-S 32,5 R	60 m ³
Brücke B180 n bei Hettstett	Brückenkappen	2004	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	50 m ³

Tunnel				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Tunnel Augustaburg (ICE Strecke Nürnberg-Erfurt)	Tunnelschale (Spritzbeton)	2003 – 2005	CEM II/A-S 52,5 R (sp)	1.400 m (2-röhrig)
Tunnel Neckargemünd	Bodenplatte, Zufahrt; Tunnel in offener Bauweise	–	CEM II/A-S 32,5 R CEM II/B-S 32,5 R	6.000– 8.000 m ³
Tunnel Bernkastel-Kues [Sim99]	Außenschale (Spritzbeton)	1997	CEM II/B-S 32,5 R	15.000 m ³
	Innenschale		CEM II/B-S 32,5 R	7.500 m ³ Länge: 554 m
Weserauentunnel	Innenschale	2000 – 2001	CEM III/A 32,5 N	–
Tunnel Hornberg B33	Innenschale	2004	CEM II/B-T 42,5 N	40.000 m ³
Tunnel BAB A113, Berlin	Brücken (Stützen, Überbau), Tunnel	bis 2005	CEM III/A 32,5 N	–
U-Bahntunnel U55, Berlin	Tunnel, teils offene, teils geschlossene Bauweise	2006	CEM III/A 32,5 N	–

Fortsetzung >

8 Aktuelle Beispiele für die Anwendung

Tunnel (Fortsetzung)				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Rennsteigtunnel	Spritzbetonschale	1998 – 2002	CEM II/A-S 52,5 R (sp)	Länge: 7.900 m
Tunnel Burgholz	Außenschale (Spritzbeton)	2002 – 2006	CEM III/A 42,5 N	52.500 m ³
	Innenschale		CEM III/A 42,5 N	72.500 m ³
Einhausung der BAB A4 bei Jena	Fundamente, Wände, Gewölbe, Kappen	2004 – 2010	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R	76.000 m ³

Bodenplatten, Decken, Stützen, Wände				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Berlin, Parkviertel Dahlem (Parkhaus und Einkaufszentrum)	Bodenplatte, Wän- de, Stützen, Decken	2006 – 2007	CEM II/B-S 32,5 R	ca. 10.000 m ³
Einkaufszentrum „Eastgate“ in Berlin Marzahn	Bodenplatte, Wände, Stützen und Decken	2002 – 2005	CEM III/A 32,5 N	30.000 – 40.000 m ³
Heidelberg, Neubau Kinderklinik	Bodenplatte, Wän- de, Decken, Stützen	2007	CEM II/B-S 32,5 R	15.000 m ³
Heidelberg, Neubau der Strahlenklinik, Ionenbeschleuniger	Bodenplatte, Decken, Wände als Strahlenschutzbeton mit Festbetonroh- dichte > 2,40 kg/m ³ und Dicke zwischen 1,5 m und 3 m	2005	CEM III/A 32,5 N	20.000 m ³
Walldorf, SAP Campus	Bodenplatte > 1m	10/2005 bis 04/2006	CEM III/A 32,5 N	37.000 m ³
	Bodenplatte < 1m, Fundamente, Wän- de, Decken	Frühjahr 2006	CEM II/B-S 32,5 R Winter CEM II/A-S 32,5 R Sommer	–
	Stützen, Unterzüge	Frühjahr 2006	CEM II/A-S 42,5 R	–
Berlin, Alexa (Einkaufszentrum)	Bodenplatte, Keller- wände	–	CEM II/B-S 32,5 R CEM II/B-S 42,5 N	ca. 30.000 m ³ (Gesamtbe- tonmenge: ca. 80.000 m ³)
Berlin, Schlossgalerie Steglitz	Bodenplatte, Wän- de, Stützen, Decken	2005	CEM III/A 32,5 N CEM II/B-S 32,5 R	10.000 – 15.000 m ³
Berlin Franz-Helios-Klinik	Bodenplatte, Stützen Wände	bis 2005	CEM III/A 32,5 N CEM II/B-S 32,5 R	ca. 20.000 – 30.000 m ³
IKEA Regensburg	Bodenplatte, Wän- de, Stützen	2000	CEM II/A-LL 32,5 R	3.000 m ³

Fortsetzung >

Bodenplatten, Decken, Stützen, Wände (Fortsetzung)				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Motorradcenter PIA	Bodenplatte, Decken, Stützen	2000	CEM II/A-LL 32,5 R	1.500 m ³
Victoria Bürohochhaus Düsseldorf [Dos00]	Kern, Decken, Stützen, Wände	1998	CEM III/A 42,5 N	70.000 m ³
Bottrop, Parkhaus	Parkflächen	2006	CEM III/A 32,5 N CEM III/A 42,5 N	2.100 m ³
Fürst-Leopold-Carré, Dessau [Rös93]	Fundamentplatte	1993	HOZ 35 L-NW/HS/NA	9.000 m ³
Daimler-Chrysler Werk Düsseldorf, Lackierung	Treppenturm, Decken	2000	CEM III/A 32,5 R-NW/NA	5.800 m ³
Freizeitpark „Phantasia-land“, Brühl	Stützen, Hangsicherung, Unterkonstruktion	2002 – 2003	CEM III/A 32,5 R-NW/NA	10.000 m ³

Industrieböden				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Industriegebiet Pfungstuhl	Industrieboden	2006	CEM II/B-S 42,5 R	850 m ³
Befreiungshalle Kehlheim	Betriebshof, Bodenplatte	2006	CEM II/B-S 42,5 N	300 m ³

Kläranlagen				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Sindelfingen	Kläranlage	2005 – 2006	CEM II/B-T 42,5 N	4.500 m ³
Düsseldorf Süd	Klärwerk	–	CEM III/A 32,5 N CEM III/A 42,5 N	–
Wittenberg / Coswig [Kie95, Rös06]	Kläranlage	1993 – 1995	HOZ 35 L-NW/HS/NA	28.000 m ³

8 Aktuelle Beispiele für die Anwendung

Wasserbauwerke				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Fischtreppe der Staustufe Iffezheim (Rhein)	Fischtreppe	bis 2000	CEM III/A 32,5 N CEM III/B 32,5 N-NW/HS	11.500 m ³
Hochwasserschutzwand in Waldheim	Stützwand mit LP nach ZTV-ING	2005	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	ca. 1.000 m ³
Innkanal-Sanierung Jettenbach / Töging [Fel06]	Kanalseitenflächen teilweise Sohlen	2003	CEM II/B-S 32,5 R	150.000 m ³
Regenrückhaltebecken	Überlaufbauwerk	2006	CEM II/B-S 42,5 R	1.000 m ³
Weserwehr in Hameln [Bet02]	Fischtreppe	2003	CEM II/B-S 32,5 R	–
Freibad Paderborn	Schwimmbecken	2006 – 2007	CEM II/B-S 42,5 R	2.500 m ³
Freibad Bad Kötzing	Becken, Stützen, Wände	2004 – 2005	CEM II/A-LL 32,5 R	4.000 m ³
Köln Hochwasserschutz	Wände, Kopfbalken, Fundamente	2006	CEM III/A 32,5 N CEM II/B-S 32,5 R	15.000 m ³
Duisburg, Werksrheinhafen	Kaimauer	2006 – 2007	CEM III/A 32,5 N CEM III/A 42,5 N	4.000 m ³
Krefeld, Trinkwasserbehälter	Rundbecken	2004 – 2005	CEM III/A 32,5 N-NW	6.000 m ³
Schleuse Wernsdorf	Beckenerweiterung	2005 – 2006	CEM II/B-S 32,5 R	ca. 10.000 m ³
Doppelsparschleuse Hohenwarthe	Sohle, Sparbecken und Kammerwände	1999 – 2003	CEM III/A 32,5 N-LH/NA	ca. 320.000 m ³
Schleuse Uelzen [Wes01]	Kernbeton Hüllbauwerke	2001 – 2005	CEM III/A 32,5 N-LH/NA CEM II/B-S 32,5 R	240.000 m ³ davon
	Randbeton Kammer + Sohle	2002	CEM II/B-S 32,5 R	LP-Beton 170.000 m ³
Talsperre Leibis / Lichte	Sohlen-, Kern- und Vorsatzbeton	2000 – 2005	CEM II/B-S 32,5 R-NA (AZ)	ca. 630.000 m ³

Sichtbeton				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Richard Rother Realschule in Kitzingen [Bos06]	alle Wände in Sichtbeton (SB3)	2005	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	ca. 2.500 m ³
Realschule Tuttlingen	Wände, Decken, Säulen	2006	CEM II/B-T 42,5 N	6.500 m ³
Verwaltungsgebäude Fa. Boss, Metzingen	Wände, Decken, Säulen	2005 – 2006	CEM II/B-T 42,5 N	4.800 m ³
Freizeitbad TuWass, Tuttlingen	Wände, Decken	2001	CEM II/B-T 32,5 R	4.200 m ³
Stadthalle Tuttlingen	Wände, Decken, Säulen	2002	CEM II/B-T 32,5 R	12.300 m ³
Gymnasium Balingen	Wände	2000	CEM II/B-T 32,5 R	–
Frankfurt, FH, Neubau der Fakultät Bauingenieure	Wände	2005 – 2006	CEM III/A 42,5 N	
Schäfermuseum Schweinfurt	Wände, Decken	2000	CEM II/A-S 32,5 R	ca. 5.000 m ³
Sparkasse Ulm	Fassade, Innenwände	2005 – 2006	CEM II/A-LL 32,5 R	ca. 2.100 m ³
Marie-Elisabeth-Lüderthaus [Lau01]	Bodenplatten, Wände	bis 2001	CEM III/A 32,5 N	ca. 100.000 m ³
Berlin, neues Tierheim	Wände	2002 – 2003	CEM III/A 32,5 N	–
Düsseldorf-Medienhafen, Tiefgarage und Bürogebäude	Wände, Decken, Stützen, Bodenplatte	2005	CEM III/A 42,5 N CEM III/B 32,5 N-NW/HS	26.000 m ³
Straßenbahnunterführung, Jahnallee Leipzig	Wände	2004	CEM III/A 42,5 N	3.500 m ³
„Bunte Wellen“, Fußgängerzone Dessau [Paa04]	Elemente	2003	CEM III/A 42,5 N	–
Wasserschloss Großkmehlen	Brücke	2005	CEM III/A 42,5 N	–
Lufthansa Aviaton Center / Flughafen Frankfurt	Hochfeste Sichtbetonstützen	2000 – 2001	CEM II/A-S 52,5 R	ca. 500 m ³
Kirche St. Canisius in Berlin	Gebäudefassade Glockenturm	2000 – 2002	CEM III/A 32,5 N-NA	4.500 m ³
Konzertkirche in Neubrandenburg	Innere Pylone als Treppenhaus oder Fahrstuhlschacht	1998 – 2000	CEM III/A 32,5 N-NA	2.000 m ³

8 Aktuelle Beispiele für die Anwendung

Sonderbauten				
Ausführungsobjekt	Bauteil	Baujahr	Zementart	Betonmenge Abmessungen
Zementsilo Höver [Heu06]	Außenwand (Gleitschaltechnik)	2005	CEM III/A 42,5 N	1.100 m ³
Zementsilo Bremen [Bet01]	Außenwand (Gleitschaltechnik)	1999	CEM II/B-S 32,5 R	–
Getreidespeicher Ulm	Außenwand (Gleitschaltechnik)	2004	CEM II/A-LL 32,5 R	2.880 m ³ Höhe: 115 m
Zementsilo Allmendingen	Außenwand (Gleitschaltechnik)	2000	CEM II/A-LL 32,5 R	4.700 m ³
Zwischenlager für radioaktive Abfälle Brunsbüttel, Brokdorf Krümmel	Sohlen, Wände, Decken	2003 – 2004	CEM III/A 32,5 N	70.000 m ³
Biogasanlage Schmack	Wände	2005 – 2006	CEM II/A-LL 42,5 R	1.500 m ³
BayWa-Tower	Wände aus SVB	2006	CEM II/B-S 42,5 N	
Kirche Maria-Hilf, Freiburg	Wände	2005	CEM II/B-T 42,5 N	1.500 m ³
Salzgitter, Hütten- sandgranulations- anlage	Fundamente, Bo- denplatte, Stützen, Kühler	2005 – 2006	CEM III/A 32,5 N CEM III/A 42,5 N CEM III/B 32,5 N-NW/HS	5.300 m ³
Windkraftanlage Emden	Fundamente, Masten (Gleitschal- technik)	2003 – 2004	CEM III/A 42,5 N	ca. 2.000 m ³ je Anlage
Kongresszentrum Darmstadt	Stützen, Wände, Bodenplatten	2006 – 2007	CEM II/B-S 42,5 N CEM III/A 32,5 N	430.000 m ³
Windpark Simmersfeld	Fundamente (Mas- senbeton)	2006 – 2007	CEM II/B-T 42,5 N CEM II/B-T 52,5 N	12.000 m ³
Kurhotel Lauterbad	Innenwände	2005 – 2006	CEM II/B-T 42,5 N	1.000 m ³
Kirche Duisburg- Neumühl	Wandscheiben des Glockenturms als Relief	1996	CEM III/A 42,5 N	ca. 60 m ³

1. Was spricht für die Anwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen?

Im Wesentlichen sprechen zwei Gründe für die Verwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen:

Ökologischer Nutzen (vgl. Kap. 2) – Das Brennen des Portlandzementklinkers verursacht prozessbedingt hohe CO_2 -Emissionen. Durch den Einsatz weiterer Zementhauptbestandteile kann die spezifische CO_2 -Emission deutlich reduziert und damit ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Darüber hinaus werden vorhandene Ressourcen (z.B. Brenn- und Rohstoffe) geschont.

Anwendungstechnischer Nutzen (vgl. Kap. 5 und 6) – Aufgrund der Zusammensetzung von CEM II- und CEM III/A-Zementen können insbesondere unter den immer differenzierteren betontechnologischen Vorgaben der Anwendung entsprechende Eigenschaften im Frisch- bzw. Festbeton erzielt werden (Verarbeitbarkeit, Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit).

2. Was ist bei der Umstellung auf CEM II- bzw. CEM III/A-Zemente zu beachten?

Bei der Umstellung auf CEM II- und CEM III/A-Zemente sind gegenüber anderen Normzementen keinerlei Anpassungen der herstellungstechnischen



Bundesbauten am Spreebogen in Berlin, Bodenplatten und Sichtbetonwände mit CEM III/A 32,5 N, Bauzeit: 1996 – 2001, Betonmenge: gesamt ca.100.000 m³

Abläufe im Transportbetonwerk erforderlich. Wie bei jeder Änderung der Ausgangsstoffe des Betons sind Erstprüfungen durchzuführen. Der übliche Baubetrieb nimmt eine eventuell langsamere Festigkeitsentwicklung i. A. erst bei einer Umstellung auf CEM III/A-Zemente insbesondere bei kühleren Witterungsbedingungen wahr. Bauweisen und Bauaufgaben, die sensibel gegenüber geringen Veränderungen der Verarbeitungszeiten und der Frühfestigkeiten sind, wie z.B. der Gleitschalungsbau oder das Betonieren in engen Zeit- bzw. Abschnittstakten, erfordern bei Zementumstellungen eine enge Abstimmung mit dem Baubetrieb. In vielen Fällen ist eine etwas längere Verarbeitungszeit gewünscht oder baubetrieblich günstig, vor allem in der warmen Jahreszeit und bei der Herstellung großer Bauteile (vgl. Kap. 5).

3. Weisen CEM II- und CEM III/A-Zemente Besonderheiten auf, die sich auf die Verarbeitungseigenschaften des Betons auswirken?

CEM II- und CEM III/A-Zemente sind i.d.R. feiner aufgemahlen als vergleichbare CEM I-Zemente. Dies wirkt sich insbesondere günstig auf das Zusammenhalten und das Wasserrückhaltevermögen des Betons aus (vgl. Kap. 5.2).

Die höhere Mahlfineinheit kann zu einem Anstieg des Wasseranspruchs der Zemente in der Normprüfung führen. Auf den Wasserbedarf des Betons hat dieser Effekt üblicherweise keinen Einfluss, da die Verarbeitungseigenschaften eines Betons maßgeblich von der Betonzusammensetzung und den Eigenschaften aller Betonbestandteile bestimmt werden (vgl. Kap. 5.1).



Freizeit- u. Thermalbad „TuWass“ in Tuttlingen, Wände, Stützen und Decken mit CEM II/B-T 32,5 R, Baujahr: 2001, Betonmenge: 4.200 m³

4. Sind CEM II- und CEM III-Zemente in allen Bereichen des Betonbaus einsetzbar oder gibt es Anwendungsbeschränkungen?

Nach DIN 1045-2 sind folgende, in Deutschland hergestellte Zemente für die Verwendung in allen Expositionsklassen geeignet: CEM II-S-, CEM II-T-, CEM II/A-LL- und CEM II-V-Zemente sowie CEM III/A-Zemente *).

Für CEM II-M-Zemente wurde der Nachweis der Eignung für die Anwendung in bestimmten Expositionsklassen durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Anwendungszulassung AZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) erbracht (vgl. Kap. 3.2).

In DIN EN 1536 / DIN FB 129 (Bohrpfähle) sowie nach der DAfStb-Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Flüssigkeiten ist die Anwendung von CEM II-M-Zementen derzeit noch über die Anwendungszulassung zu regeln. Bei der Errichtung von Bauwerken nach ZTV-ING bedarf die Anwendung von CEM II-M-Zementen der Zustimmung des Auftraggebers.

Weitere Details können den Tabellen F.3.1 sowie F.3.2 in DIN 1045-2 sowie den entsprechenden Anwendungszulassungen entnommen werden.

5. Was ist bei der Nachbehandlung von Betonen mit CEM II- bzw. CEM III/A-Zementen zu beachten?

Die Nachbehandlungszeiten sind für alle normativ zugelassenen Betone in DIN 1045-3 festgelegt. Die erforderliche Nachbehandlungszeit ist von den Temperaturverhältnissen und der Erhärtungscharakteristik (r-Wert) des Betons abhängig. Der r-Wert ist der Quotient aus der 2-Tage-Festigkeit und der 28-Tage-Festigkeit eines Betons. An Betonen, die vereinbarungsgemäß zu einem späteren Zeitpunkt geprüft werden (56 Tage, 90 Tage etc.), wird die 2-Tage-Festigkeit durch die nach dieser Zeit ermittelte Festigkeit dividiert. In diesem System sind alle in Deutschland marktüblichen Zemente erfasst, so dass sich bei Beachtung der Normvorgaben stets die technisch richtigen Nachbehandlungszeiten ergeben und im Weiteren nicht gesondert auf die verwendete Zementart eingegangen werden muss (vgl. Kap. 5.5).

6. Wie ist der Frost-Tausalz-Widerstand der CEM II- und CEM III/A-Betone zu bewerten?

Nach Norm bzw. bauaufsichtlicher Anwendungszulassung (AZ) sind Betone unter Verwendung der in dieser Broschüre behandelten Portlandkomposit-

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

zemente CEM II und Hochofenzemente CEM III/A in allen Bereichen einsetzbar, in denen der durchfeuchtete Beton einem erheblichen Angriff durch Frost-Tau-Wechsel ohne bzw. mit Tausalz ausgesetzt ist (Expositionsklassen XF1 bis XF4). 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 Expositionsklasse XF4 ausgeschlossen.

Unter Laborbedingungen können Betone mit CEM III/A-Zementen erhöhte Abwitterungswerte zeigen (vgl. Kap. 6.4). Bei der Bewertung der mit den Laborprüfverfahren ermittelten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Prüfbedingungen einen maßgeblichen Einfluss haben und eine Übertragung auf die Praxis nur eingeschränkt möglich ist. Zahlreiche Praxisbeispiele belegen die Eignung dieser Zemente (vgl. Kap. 7 und 8).

7. Was muss bei der Verwendung von Zusatzmitteln in Verbindung mit CEM II- und CEM III-Zementen beachtet werden?

Grundsätzlich gilt, dass bei Verwendung von Zusatzmitteln im Beton Erstprüfungen durchzuführen sind, um die Wirkung in Verbindung mit den verwendeten Ausgangsstoffen nachzuweisen (vgl. Kap. 5).

Vor allem bei Verwendung von Betonverflüssigern (BV) oder Fließmitteln (FM) auf Basis von Polycarboxylatethern (PCE) ist zu beachten, dass beim Wechsel des Zementes unabhängig von der verwendeten Zementart geprüft werden muss, ob das verwendete PCE geeignet ist.

Für einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand (vgl. Kap. 6.4) ist ein entsprechendes Mikroluftporengefüge im Beton ausschlaggebend, das über die Zugabe von LP-Bildnern erreicht wird. Zur Sicherstellung des erforderlichen Luftporengehaltes kann bei Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen eine geringfügig höhere LP-Mittel-Dosierung erforderlich sein.



Fahrweg Westerhever mit CEM III/A 42,5 N-NA, Baujahr: 2006, Betonmenge: 600 m³

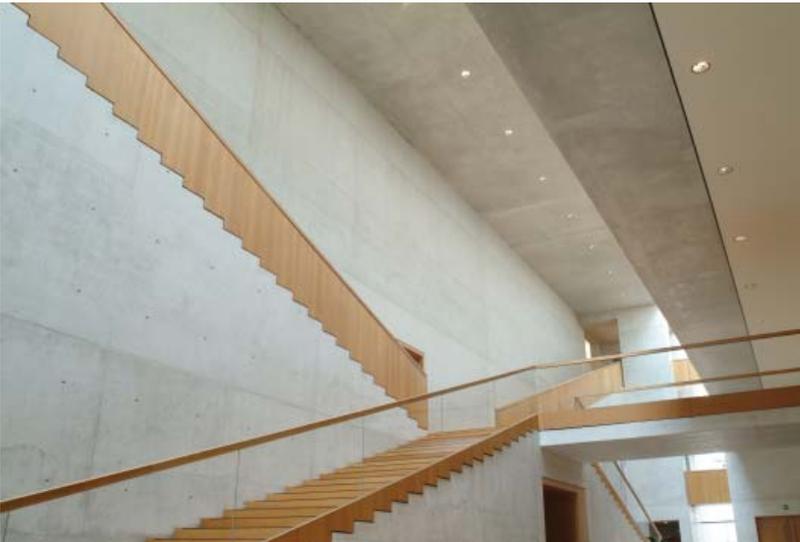
8. Sind bei der Umstellung auf CEM II- bzw. CEM III/A-Zemente Farbunterschiede am Bauteil zu erwarten?

Diese Frage stellt sich im Allgemeinen nur bei der Herstellung von hochwertigen Sichtbetonbauteilen, die eine Änderung der Zementart ohne die Absicherung der Farbgleichheit nicht zulässt. Grundsätzlich muss bei jeder Zementumstellung mit farblichen Veränderungen gerechnet werden.

Bei Verwendung von CEM II- und CEM III/A-Zementen ergeben sich vielfach bessere und robustere Ansichtsflächen als mit CEM I-Zementen. Durch die meist hellere Färbung der fertigen Flächen entsprechen diese Zemente dem aktuellen architektonischen Gestaltungstrend, der möglichst helle Flächen verlangt (vgl. Kap. 8).

9. Kann Flugasche als Betonzusatzstoff in gleicher Weise angerechnet werden wie bei CEM I-Zementen?

Für die hier behandelten Portlandkompositzemente CEM II und Hochofenzemente CEM III/A darf Flugasche – wie bei Portlandzement – auf den Mindestzementgehalt und den Wasserzementwert angerechnet werden. Nur bei Verwendung flugaschehaltiger Zemente ist die anrechenbare Flugaschemenge auf 25 M.-% des Zementgehaltes begrenzt. Ansonsten gilt die für Portlandzement bekannte Regelung (vgl. Kap. 5).



Museum Georg Schäfer in Schweinfurt, Sichtbetonwände und Sichtbetondecken mit CEM II/A-S 32,5 R, Baujahr: 2000, Betonmenge: ca. 5.000 m³

- [Alb93] Albeck, J.; Kirchner, G.: Einfluß der Verfahrenstechnik auf die Herstellung marktorientierter Zemente. ZKG International 46 (1993) Nr. 10, S. 615-626.
- [BDZ06] Daten des BDZ bis 2006, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie.
- [BDZ07] Zahlen und Daten 2006-2007. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie.
- [Bec96] Becker, G.; Hermanns, H.; Stratmann, E.; Henning, H.-W.: Symbiose von Beton und Kunst beim Bau eines Kirchturms. Beton-Informationen 36 (1996) H. 6, S. 83-99.
- [Bet01] Mehrkammersilo in Gleitschalungsbauweise. Beton-Informationen 41 (2001) H. 6, S. 11-12.
- [Bet02] Fischpass hilft bei Fischansiedlung in der Weser. Beton-Informationen 42 (2002) H. 4, S. 51.
- [Bij96] Bijen, J.: Blast furnace slag cement for durable marine structures. VCN/BetonPrisma, 's-Hertogenbosch (1996).
- [Bil01] Bilgeri, P.: Erfahrungen mit Hochofenzement im Verkehrsbau – Betonfertigteile, Betonwaren und Ortbeton. Beton-Informationen 41 (2001) H. 5, S. 3-13.
- [Bil05a] Bilgeri, P.; Fuchs, A.; Henneken, R.: Innovation im Autobahnbau – Fahrbahndecke mit Hochofenzement CEM III/A 42,5 N. Beton-Informationen 45 (2005) H. 1, S. 3-16.
- [Bil05b] Bilgeri, P.; Spenrath, M.: Sieben lichtgrüne Pfeiler in Sichtbetonqualität setzen optische Akzente im Düsseldorfer Hafen. Beton-Informationen 44 (2005) H. 5, S. 59-62.
- [Bil07a] Bilgeri, P.; Eickschen, E.; Felsch, K.; Klaus, I.; Vogel, P.; Rendchen, K.: Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton – Erfahrungsbericht. Straße und Autobahn 58 (2007) H. 12, S.61-68.
- [Bil07b] Bilgeri, P.; Eickschen, E.; Felsch, K.; Klaus, I.; Vogel, P.; Rendchen, K.: Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton – Erfahrungsbericht. Beton-Informationen 47 (2007) H. 2, S. 15-31.
- [Bol05] Bollmann, K.; Lyhs, P.: Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N(st). Beton-Informationen 45 (2005) H. 5, S. 91-100.

- [Bos06] Bose, T.; Hemrich, W.: Sichtbeton beim Bau der Richard Rother Realschule in Kitzingen. Beton-Information 46 (2006) H. 6, S. 99-109.
- [Bro83] Brodersen, H. A.: Transportvorgänge verschiedener Ionen im Beton. Beton-Informationen 23, H. 3, Seiten 36-38, 1983.
- [CEM05] Daten des CEMBUREAU, 2005.
- [Deh06] Dehn, F.; Ehrlich, N.; Hemrich, W.; Lietzmann, M.: CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ im Transportbeton. beton 55 (2006) Nr. 4, S. 138-143.
- [Dos00] Dose, R.; Meures, G.: Der Turm der Victoria Versicherung, ein neues Wahrzeichen der Landeshauptstadt Düsseldorf. Beton-Informationen 40 (2000) H. 1, S. 8-15.
- [Ehr97] Ehrenberg, A.; Geiseler, J.: Ökologische Eigenschaften von Hochofenzement: Lebenswegphase Produktion ; Energiebedarf, CO₂-Emission und Treibhauseffekt. Beton-Informationen 37 (1997) H. 4, S. 51-63.
- [Ehr01] Ehrenberg, A.: Zur Optimierung der Korngrößenverteilung von hüttensandhaltigen Zementen. Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Nr. 10, 2001.
- [Ehr00] Ehrlich, N.; Böning, E.: Praktische Erfahrungen bei der Realisierung von Brückenkappen mit CEM II/B-S 32,5 R. 14. Internationale Baustofftagung : 20.-23. September 2000 Weimar ; Tagungsbericht Band 1 / Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg.). – Weimar : Bauhaus- Univ. Weimar, 2000, S. 669-676.
- [Fel06] Felsch, K.; Erbing, M.: Neue Betondecken für umweltgerechte Stromerzeugung: Herausforderung bei der Instandsetzung des Innkanals. Beton-Informationen 46 (2006) H. 3, S. 19-28.
- [Gun92] Gunkel, H. P.: Die Bindung des Chlorids im Zementstein und die Zusammensetzung chloridhaltiger Porenlösungen. – Dortmund, Diss., 1992.
- [Gus02] Guse, U.; Müller, H.S.; Kraeft, U.; Härdtl, R.: Fahrbahndeckenbeton mit Portlandhüttenzement CEM II/B-S für die Autobahn A 5 Walldorf-Bruchsal. Beton-Informationen 42 (2002) H. 1, S. 8-15.
- [Har99] Hartmann, V.; Hemrich, W.; Paltian, A.; Schewior, W.: Einsatz von Portlandhüttenzement im Brückenbau – Brückenkappen: vergleichender Einsatz von Portland- und Portlandhüttenzement. beton 49 (1999) Nr. 11; S. 616-619.
- [Hau04] Haupt, H.; Peters, A.; Brendel, J.; Freimann, Th.: Verkehrsflächen aus Walzbeton. Beton-Information 44 (2004) H. 4, S. 43-50.
- [Hen05] Henning, H.-W.: 10 Jahre Witterungseinwirkung auf gestaltete Betonflächen. Beton-Informationen 45 (2005) H. 6, S. 114-116.

- [Heu06] Heuschild, J.: Neubau eines Zementsilos in Gleitschalungsbauweise mit Hochofenzement. Beton-Informationen 46 (2006), H. 6, S. 110-115.
- [Hoe03] Hoenic, V.; Schneider, M.: CO2 Reduction in the Cement Industry. Process Technology of Cement Manufacturing / VDZ Congress 2002 / Verein Deutscher Zementwerke, VDZ (Hrsg.). – Düsseldorf, Verlag Bau Technik, 2003. – ISBN 3-7640-450-0; S. 499-505 (2003).
- [Kie95] Kielgast, F.; Rösler, R.: Bau der Gemeinschaftskläranlage in der Lutherstadt Wittenberg. Beton-Information 35 (1995) H. 3, S. 31-37.
- [Klo03] Klose, N.; Michel, A.: Nachweis der Eignung von Portlandhüttenzement DIN EN 197-1 CEM II/B-S für die Herstellung von Brückenkappen. Beton-Informationen 43 (2003) H. 1, S. 18-23.
- [Kra02] Kranert, W.: Talbrücke „Wilde Gera“ – Einsatz von Portlandhüttenzement für Fahrbahnplatte und Brückenkappe. Beton-Informationen 42 (2002) H. 2/3, S. 19-26.
- [Lan99] Lang, Eberhard: Untersuchungen an altem Fahrbahndeckenbeton mit Eisenportlandzement : 55 Jahre alte Autobahndecke aus Beton mit EPZ. Beton-Informationen 39 (1999) H. 5/6, S. 3-12.
- [Lan03] Lang, E.: Einfluss unterschiedlicher Karbonatphasen auf den Frost-Tausalzstand – Labor- und Praxisverhalten. Beton-Informationen 43 (2003) H. 3, S. 39-59.
- [Lau01] Laufenberg, Joachim von: Erfahrungen bei der Ausführung von Sichtbeton mit Hochofenzement beim Bauvorhaben Luisenblöcke in Berlin. Beton-Informationen 41 (2001) H. 2/3, S. 3-12.
- [Lec03] Lechte, K.-D.: Erste Brücke in den neuen Bundesländern vollständig mit CEM II/B-S-Zement. Beton-Informationen 43 (2003), H. 2, S. 34-35.
- [Loh03] Lang, E.; Lohmann, D.: Untersuchung und Beurteilung des wirksamen Alkaligehalts von hüttenessandhaltigen Zementen in Beton mit alkaliempfindlichen Gesteinskörnungen. Cement International 1 (2003) 1, S. 87-94.
- [Lud05] Ludwig, H.-M.; Rothenbacher, W.: Entwicklung und Einführung von CEM II/M-Zementen. beton 55 (2005) Nr. 4, S. 160-162.
- [Man98] Manns, W.; Thielen, G.; Laskowski, C.: Bewertung der Ergebnisse von Prüfungen zur bauaufsichtlichen Zulassung von Portlandkalksteinzementen. beton 48 (1998), Nr. 12, S. 779-784.
- [Mat84] Mathauer, W.: Ölschieferzement im Transportbeton. Betonwerk + Fertigteil-Technik 50 (1984), Nr.9, S. 613-619.

- [Mic05] Michel, A.: Erfahrungen mit Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R-NA in Beton für Brückenkapfen. Beton-Informationen 45 (2005), H. 5, S. 101-103.
- [Mül05] Müller, C.; Lang, E.: Dauerhaftigkeit von Beton mit Portlandkalkstein- und Portlandkompositzement CEM II/M (S-LL). beton 55 (2005) Nr. 3, S. 131-138; Nr. 4, S. 197-202 und Nr. 5, S. 266-269.
- [Mül06] Müller, C.: Performance of Portland-composite cements. Cement International (4), Heft 2, S. 112-119 (2006).
- [Mül07] Müller, C.; Severins, K.: Dauerhaftigkeit von Betonen mit flugaschehaltigen Zementen. beton 57 (2007) Nr. 3, S. 119-126.
- [Neu02] Neumeister, W.; Prax, K.; Reinstadler, V.: Spritzbetoneinbau nach dem Nassspritzverfahren am Rennsteigtunnel BAB A71 mit Portlandhüttenzement CEM II/A-S 52,5 R -sp-. Beton-Informationen 42 (2002) H. 4, S. 44-50.
- [Paa04] Paatsch, A.; Koppe, P.: Optacolor: Ein neuer Hochofenzement EN 197-1 CEM III/A 42,5 N für besondere Anwendungsgebiete. Beton-Informationen 44 (2004) H. 1, S. 11-15.
- [Rap84] Rapp, G.: Sichtbeton aus Ölschieferzement. Betonwerk + Fertigteil-Technik 50 (1984), Nr. 7, S. 468-473.
- [Rie87] Riedhammer, M.: Abbau und Verarbeitung von Ölschiefer zur gezielten Herstellung hochwertiger Ölschieferzemente. Zement-Kalk-Gips 40 (1987), Nr. 8, S. 393-398.
- [Rif04] Riffel, S.: Kompaktbeton, eine neue Bauweise für hochbelastete Verkehrsflächen. Beton-Informationen 44 (2004) H. 4, S. 51-55.
- [Rös93] Rösler, R.; Zimmermann-Bröcking, R.: Fürst-Leopold-Carré in Dessau. Beton-Informationen 33 (1993) 5/6, S. 60-62.
- [Rös06] Rösler, R.: Gemeinschaftskläranlagen in der Lutherstadt Wittenberg und in Coswig – eine betontechnische Bestandsaufnahme. Beton-Information 46 (2006) H. 1/2, S. 3-9.
- [Sam04] Sammann, B.: Individueller Wohnbau in Sichtbeton. Beton-Informationen 44 (2004) H. 5; S. 76-83.
- [Sch90] Schießl, P.: Wirkung von Steinkohlenflugaschen in Beton. beton 40 (1990) Nr. 12, S. 519-523.
- [Sch06] Schäfer, E.: Einfluss der Reaktionen verschiedener Zementhauptbestandteile auf den Alkalihaushalt der Porenlösung des Zementsteins. Schriftenreihe der Zementindustrie 69 (2006).
- [Sch67] Schröder, F.; Smolczyk, H.-G.; Grade, K.; Vinkeloe, R.; Roth, R.: Einfluß von Luftkohlenäure und Feuchtigkeit auf die Beschaffenheit des Betons als Korrosionsschutz für Stahlbeton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Schriftenreihe (1967) 182.

- [Sch00] Schultz, W., Nicolay, J.: Die Lennetalbrücke – Erfahrungen im Brückenbau mit Hochofen- und Eisenportlandzementen. beton 50 (2000) Nr. 1, S. 22-23.
- [Sie01] Siebel, E., Bokern, J., Sylla, H.-M.: Entwicklung neuer NA-Zemente auf Basis von Zementen mit Hüttensand als Hauptbestandteil – Teil 1. beton 51 (2001) Nr. 12, S. 693-697.
- [Sie02] Siebel, E., Bokern, J., Sylla, H.-M.: Entwicklung neuer NA-Zemente auf Basis von Zementen mit Hüttensand als Hauptbestandteil – Teil 2. beton 52 (2002) Nr. 1, S. 47-50.
- [Sie07] Siebel, E., Böhm, M., Borchers, I., Bokern, J., Müller, C., Schäfer, E.: AKR-Prüfverfahren – Vergleichbarkeit und Praxisrelevanz. 16. Internationale Baustofftagung (ibausil) 20.-23.09.2006 in Weimar, HV 2.47, Band 2, S. 2-0373.
- [Sim99] Simon, P.: Bau des Burgbergtunnels von Bernkastel-Kues. Beton-Informationen 39 (1999) H. 2, S. 3-9.
- [Smo74] Smolczyk, H.-G.: Slag cements and alkali reactive aggregates. VI International Congress on the Chemistry of Cement: Supplementary paper, section III. – Moscow, 1974.
- [Smo76] Smolczyk, H.-G.; Romberg, H.: Der Einfluß der Nachbehandlung und der Lagerung auf die Nacherhärtung und Porenverteilung von Beton ; Teil 1 ; Teil: 2. Tonindustrie-Zeitung 100 (1976) 10, S. 349-357; 100 (1976) 11, S. 381-390.
- [Sta97] Stark, J.; Ludwig, M.: Frost-Tausalz-Widerstand von HOZ-Betonen: Untersuchungen an Betonem mit hüttensandreichen Zementen. beton 47 (1997) 11, S. 646-656.
- [Tre01] Trenkwalder, J; Ludwig, H.-M.: Herstellung hüttensandhaltiger Zemente durch getrenntes Mahlen und Mischen im Zementwerk Karlstadt. ZKG International 54 (2001) Nr. 9, S. 480-491.
- [VDZ05a] Verein Deutscher Zementwerke: Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2005.
- [VDZ05b] Verein Deutscher Zementwerke: Verminderung der CO₂-Emission, Umfrage zum Monitoring-Bericht 2005.
- [VDZ05c] Verein Deutscher Zementwerke: Mittelwerte der Druckfestigkeiten für verschiedene Zemente und Betone. Ergebnisse aus der Prüfdatenbank des Forschungsinstituts der Zementindustrie (unveröffentlicht).
- [VDZ06a] Verein Deutscher Zementwerke: Zusammenstellung von Ergebnissen aus Zulassungsversuchen, beauftragt durch VDZ-Mitgliedsunternehmen (unveröffentlicht).

- [VDZ06b] Verein Deutscher Zementwerke: Ergebnisse aus der Prüfdatenbank des Forschungsinstituts der Zementindustrie (unveröffentlicht).
- [VDZ06c] Verein Deutscher Zementwerke: Ergebnisse aus den Prüfdatenbanken der VDZ-Mitgliedsunternehmen (unveröffentlicht).
- [VDZ07] Verein Deutscher Zementwerke: Tätigkeitsbericht 2005-2007.
- [Wag04] Wagner, J.-P.: Massenbetone für die Gewichtsstaumauer Talsperre Leibis/Lichte. Beton-Informationen 44 (2004) H. 2/3, S. 19-28.
- [Wal03] Walther, R.: Ausbau der BAB A44 – mehr als eine Brücke. Beton-Informationen 43 (2003) H. 4, S. 63-75.
- [Wal56] Walz, K.; Hartmann, E.: Eigenschaften und Wirkung luftporenbildender Zusatzmittel bei der Verwendung zu Beton: Stand der Erkenntnisse. Berlin: Ernst, 1956 (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Schriftenreihe 123).
- [Web98] Weber, R.; Bilgeri, P.; Kollo, H.; Vißmann, H.-W.: Hochofenzement, Eigenschaften und Anwendungen im Beton. Düsseldorf, 2. Auflage, 1998.
- [Wei03] Weisner, A.: Betonanforderungen und Betontechnologie beim Neubau der Doppelschleuse Hohenwarthe am Wasserstraßenkreuz Magdeburg. Beton-Informationen 43 (2003) H. 1, S. 3-17.
- [Wes01] Westendarp, A.: Entwicklungen und Tendenzen bei Baustoffen und Bauausführung im Schleusenbau. Beton-Informationen 41 (2001) H. 1, S. 38.
- [Wie97] Wiegmann, D.; Müller-Pfeiffer, M.: Herstellung von Hüttenzementen mit verschiedenen Anlagensystemen im Zementwerk Schwelgern. Zement-Kalk-Gips 50 (1997) 3, S. 154-160.

- DIN-Fachbericht 100 „Beton“: Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 – 2. Auflage 2005.
- DIN 1164-10 Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften.
- DIN 1164-11 Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 11: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren.
- DIN 1164-12 Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 12: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen.
- DIN EN 197-1, Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Deutsche Fassung EN 197-1:2000+A1:2004.
- DIN EN 197-4, Zement – Teil 4: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit.
- DIN EN 14216, Zement - Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzementen mit sehr niedriger Hydratationswärme.
- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“. 2005.
- Vornorm DIN CEN/TS 12390-9 : 2006-08. Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand; Abwitterung; Deutsche Fassung prEN 12390-9.
- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“. 2007.

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

Regionale Ansprechpartner

BetonMarketing Nord GmbH

Anderter Straße 99D
30559 Hannover
Telefon 0511 554707-0
Telefax 0511 554707-15
hannover@betonmarketing.de

BetonMarketing Ost

Gesellschaft für Bauberatung & Marktförderung mbH

Teltower Damm 155
14167 Berlin-Zehlendorf
Telefon 030 3087778-0
Telefax 030 3087778-8
mailbox@bmo-berlin.de

BetonMarketing Süd GmbH

Gerhard-Koch-Straße 2 + 4
73760 Ostfildern
Telefon 0711 32732-200
Telefax 0711 32732-202
info@betonmarketing.de

Rosenheimer Straße 145 g
81671 München
Telefon 089 450984-0
Telefax 089 450984-45
muenchen@betonmarketing.de

Friedrich-Bergius-Straße 7
65203 Wiesbaden
Telefon 0611 261066
Telefax 0611 261068
wiesbaden@betonmarketing.de

BetonMarketing West

Gesellschaft für Bauberatung und Marktförderung mbH

Annastraße 3
59269 Beckum
Telefon 02521 8730-0
Telefax 02521 8730-29
bmwest@betonmarketing.de

Durch die stetig steigenden Anforderungen an den Umwelt- und Klimaschutz kommt heute der Herstellung und Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen aufgrund ihrer ökologischen Vorteile eine immer größere Bedeutung zu. Der erfolgreiche Einsatz in der Baupraxis belegt die Leistungsfähigkeit solcher Zemente für anspruchsvolle und dauerhafte Betonbauwerke.

In diesem Buch werden die anwendungstechnischen Eigenschaften von CEM II- und CEM III/A-Zementen, die ökologischen Vorteile ihrer Verwendung sowie eine Vielzahl praktischer Anwendungsbeispiele vorgestellt.