

Portlandkompositzement CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ: Einsatz im Transportbeton

Ein Erfahrungsbericht

Von Peter Koppe, Wössingen, Daniel Preiß, Albstadt, und Alexander Paatsch, Karsdorf

1 Einleitung

Hochwertige Produkte herzustellen und dabei aktiven Klimaschutz zu leisten – das sind wichtige Ziele, an denen die Unternehmen der deutschen Zementindustrie kontinuierlich arbeiten. Die Reduzierung von CO₂-Emissionen stellt ein wesentliches Kernelement dieser Bemühungen dar. Dabei spielt die Entwicklung neuer Zemente eine wichtige Rolle. Für die Senkung der CO₂-Emissionen bei der Zementherstellung gibt es drei Hauptansatzpunkte:

- die Beeinflussung über den Brennstoff
- die Beeinflussung über die Rohstoffe
- die Senkung des Klinkeranteils im Zement

Bereits seit Jahren wird im Bereich der Portlandkompositzemente bezüglich verschiedener Themenfelder geforscht, um neue klimaschonende Produkte zu entwickeln. Dabei liegt ein wesentlicher Schwerpunkt des Entwicklungsprozesses auf dem ziel sichereren Erreichen der Dauerhaftigkeitsanforderungen der aus diesen Zementen hergestellten Betone.

Portlandkompositzemente sind Normalzemente nach EN 197-1, die neben dem Ausgangsstoff Portlandze-

mentklinker zwischen 6 % und maximal 35 % weitere Hauptbestandteile enthalten können. Dies sind beispielsweise kieselsäurereiche Flugasche (V) oder Kalksteinmehl (LL). **Tafel 1** zeigt die CEM II-Zemente, die üblicherweise in Deutschland Verwendung finden. **Bild 1** verdeutlicht dabei den Zusammenhang zwischen dem abnehmenden Klinkergehalt und der Reduzierung der CO₂-

Emissionen bei der Herstellung von Portlandkomposit- und Hochofenzementen.

Verschiedene Zementhersteller haben im In- und Ausland seit Jahren umfangreiche Erfahrungen in der Anwendung von Portlandkompositzementen gesammelt. Insbesondere in Mittel- und Süddeutschland sind mit CEM II/B-M (S-LL)-Zementen der Festigkeitsklassen 32,5 R sowie 42,5 R vielfältige Bauaufgaben realisiert worden. Als ein prominentes Beispiel hierfür kann die Saale-Elster-Talbrücke genannt werden, die zurzeit mit einer Gesamtlänge von fast 9 km als derzeit längste Eisenbahnbrücke Deutschlands in Sachsen-Anhalt gebaut wird (**Bild 2**).

Auf der Grundlage dieser positiven Erfahrungen lag es nahe, unter Berücksichtigung regionaler Bedingungen und Verfügbarkeit von Rohstoff-

Tafel 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 (kieselsäurereich)	Gebr. Ölschiefer	Kalkstein	
		K	S	D	V	T	LL	
CEM II/A-S	Portlandhüttenzement	80-94	6-20	-	-	-	-	0-5
CEM II/B-S		65-79	21-35	-	-	-	-	
CEM II/A-T	Portlandschieferzement	80-94	-	-	-	6-20	-	
CEM II/B-T		65-79	-	-	-	21-35	-	
CEM II/A-LL	Portlandkalksteinzement	80-94	-	-	-	-	6-20	
CEM II/A-D	Portlandsilicastaubzement	90-94	-	6-10	-	-	-	
CEM II/A-M*	Portlandkompositzement	80-94	6-20					
CEM II/B-M*		65-79	21-35					
CEM III/A	Hochofenzement	35-64	36-65	-	-	-	-	

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

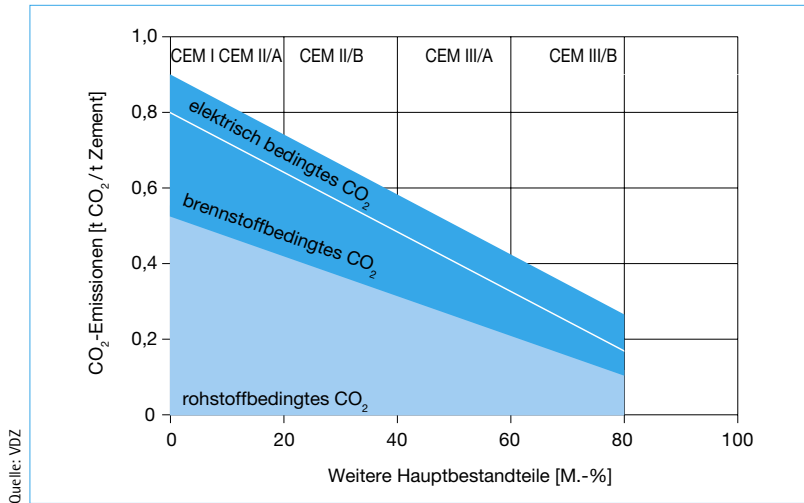


Bild 1: CO₂-Emissionen in Abhängigkeit vom Klinkergehalt

fen sowie Ressourcen, adäquate Zemente mit dem Hauptbestandteil Flugasche zu entwickeln.

Der CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ als Ergebnis dieser Entwicklungsarbeit unterstreicht diese nachhaltige Strategie. Ein Teil des energieintensiv hergestellten Zementklinkers wird bei diesem Zement durch weitere Hauptbestandteile ersetzt. Die CO₂-Emission pro Tonne Zement wird dadurch erheblich gemindert. Der Zement leistet damit einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz.

2 Vorteile bei der Anwendung

Eine der häufigsten Fragen im Zusammenhang mit dem Einsatz von CEM II/B-M (V-LL)-Zement lautet: Ist dieser Zement in allen Bereichen des Betonbaus einsetzbar oder gibt es Anwendungsbeschränkungen?

Für den CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ ist der Nachweis der Eignung für die Anwendung in allen Expositionsklassen durch die allgemeine bauaufsichtliche Anwendungszulassung (-AZ) des Deutschen Instituts für

Bautechnik (DIBt) erbracht. Dies umfasst auch die Anwendung für Bohrpfähle nach DIN EN 1536 / DIN FB 129 sowie die Herstellung von FD-Betonen gemäß DAFStb-Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BUMwS)“.

Bei der Verwendung im Beton weist der CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ für viele Anwendungen verbesserte technologische Eigenschaften auf:

- gutes Wasserrückhaltevermögen und damit geringes „Bluten“ sowie eine geringere Sedimentationsneigung gerade bei Massenbetonen
- günstiges Ansteifverhalten aufgrund des reduzierten Klinkeranteils
- gutes Nacherhärtungspotenzial aufgrund der puzzolanischen Wirkung der Flugasche
- optimierte Verarbeitungseigenschaften
- geschmeidigere Beton- und Mörtelsysteme
- zielsicheres Erreichen der Dauerhaftigkeitsanforderungen bei Frostwiderstand, Frost-Taumittel-Widerstand, Karbonatisierung sowie Chloriddiffusion



Bild 2: Bau der Saale-Elster-Talbrücke mit einer Gesamtlänge von fast 9 km

Im Bereich der Dauerhaftigkeit weist der CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ signifikante Verbesserungen auf. Wesentliche Kennwerte für die Dauerhaftigkeit von Betonen sind der Karbonatisierungswiderstand, der Widerstand gegenüber eindringenden Chloriden, der Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand sowie der Widerstand gegenüber chemischen Angriffen, die im Rahmen der Zulassungsuntersuchungen geprüft werden. Die Bilder 3 und 4 unterstreichen, dass die Dauerhaftigkeit von Betonen mit CEM II/B-M (V-LL) mit künstlichen Luftporen im CDF-Verfahren vergleichbar gute

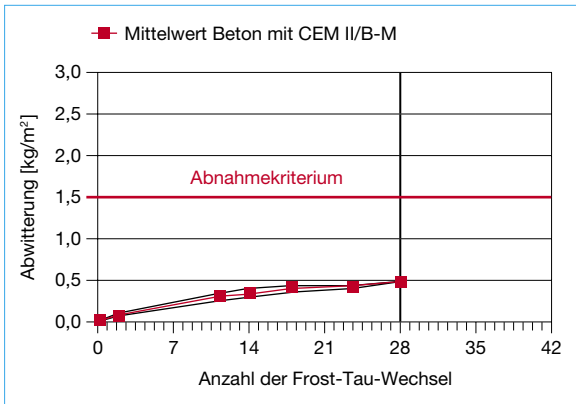


Bild 3: Zeitlicher Verlauf der Abwitterung von Beton mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ [1]

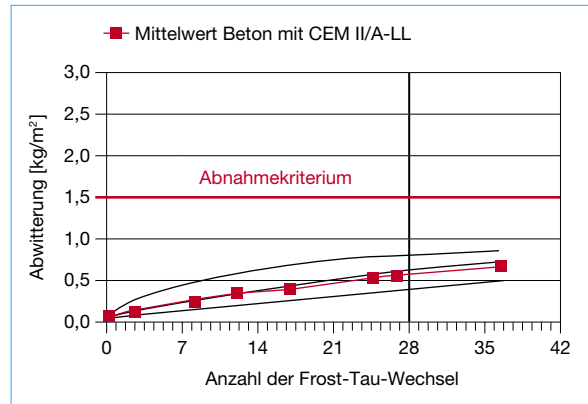


Bild 4: Zeitlicher Verlauf der Abwitterung von Beton mit Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL 32,5 R [1]

Werte erzielt wie die von Betonen mit CEM II/A-LL-Zementen.

Mit Betonen auf Basis dieses Zements wurden 2011 von den Beteiligten Bauvorhaben mit teils hohen betontechnologischen Anforderungen (Tafel 2) umgesetzt. Nachfolgend werden diese Objekte beschrieben.

3 Praktische Anwendungsbeispiele

Im Rahmen umfangreicher Erstprüfungen wurden die Eigenschaften verschiedener Betongüten unter Verwendung des CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ ermittelt. Hier reichte das Spektrum der untersuchten Druckfestigkeitsklassen vom C20/25 bis hin zum C35/45. Je nach den betontechnologischen Anforderungen lagen die verwendeten Zementgehalte zwischen 260 kg/m³ und 360 kg/m³ Frischbeton. Parallel wurden Betonzusammensetzungen mit und ohne Verwendung von Flugasche als Betonzusatzstoff überprüft. Die Flugaschegehalte betragen zwischen 30 kg/m³ und 60 kg/m³. Um praxistaugliche Frischbetonkonsistenzen zu erzielen, wurden Betonzusatzmittel mit verflüssigenden Eigenschaften

ten auf der Basis von Polycarboxylathern (PCE) eingesetzt. Dabei wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Erzielung hoher Ausgangskonsistenzen von 520 mm bis 610 mm (Ausbreitmaß gemessen nach 10 Minuten) bei geringem Rücksteifen um durchschnittlich 30 mm bis 50 mm nach 45 Minuten unter wirtschaftlichem Einsatz der Betonzusatzmittel
- sehr gutes Zusammenhaltvermögen der Betone
- keinerlei Wasserabsondern („Bluten“) der Betone
- zielsicheres Erreichen der geforderten Betondruckfestigkeiten

Mit diesen Ergebnissen begann die praktische Umsetzung. Die Sorten C20/25 und C25/30, die einen wesentlichen Teil der Betonproduktion ausmachen, wurden in verschiedenen Anwendungsbereichen, wie Fundamenten, Bodenplatten oder Decken, erfolgreich eingesetzt. Ein besonderer Höhepunkt in dieser Phase waren Herstellung und Einbau eines Kappenbetons mit CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ bei der Instandsetzung der Donaubrücke Laizerstraße in Sigmaringen (Bild 5).

Besonderes Augenmerk bei Brückenkappen gilt dem Widerstand gegenüber Umwelteinflüssen. Um die Dauerhaftigkeit des eingesetzten Betons gegenüber Frost-Tausalz-Bbeanspruchungen zu prüfen, gilt beispielsweise das CDF-Verfahren als anerkanntes Prüfverfahren. Bei der Prüfung dieser Betonzusammensetzung wurde nachgewiesen, dass anhand der sehr niedrigen Abwitterungsrate nach 28 Frost-Tau-Wechseln mit 243 g/m² ein Wert erzielt werden konnte, der den Vergleich mit für diese Anwendung gängigen Portlandzementen nicht zu scheuen braucht (Tafel 3 und Bild 6).

In Vorbereitung der Belieferung des Brückenbauwerks Ortsumgehung Herbertingen wurden an weiteren Objekten (Tafel 2, Objekte 2 bis 5) zusätzliche Erfahrungen unter baupraktischen Bedingungen gesammelt.

Unter zum Teil anspruchsvollen betontechnologischen Bedingungen bestand die Aufgabe darin, eine stabile, dem Anwendungszweck entsprechende Verarbeitbarkeit der Betone zu gewährleisten – unter der Maßgabe, höhere Betondruckfestigkeitsklassen zuverlässig zu erreichen.

Tafel 2: Bauobjekte mit CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ

Bauobjekt		1 Instandsetzung Donaubrücke Laizerstraße		2 Bahnbrücke Schmidten- brunnenbach	3 Zollern, Erweiterung Zieherei	4 Geschäfts- haus mit Tiefgarage	5 Bioenergie- anlage		6 B32/B311 Ortsumge- hung Brücke Bauwerk 3
Ort		Sigmaringen		Beuron	Sigmaringendorf	Sigmaringen	Ringgenbach		Herbertingen
Beton nach ZTV-Ing		x		x					x
Betondruck- festigkeits- klasse		C25/30		C35/45	C35/45	C35/45	C35/45		C30/37
Expositions- klassen		XC4 XF4 XD3		XC4 XD3 XF2 XF3 XA3	XC4 XD3 XF2 XF3 XA3	XC4 XF2 XF3 XD2	XC4 XD3 XF2 XF3 XA3		XC4 XD2 XF2 XF3 XA2
Zementgehalt	kg/m ³	350		380	380	360	360		340
Wassergehalt	kg/m ³	165		163	164	156	156		168
w/z-Wert		0,47		0,43	0,43	0,43	0,43		0,49
Gesteins- körnung Art		Kies Moräne Ober- schwaben		Kies Moräne Ober- schwaben	Kies Moräne Ober- schwaben	Kies Moräne Ober- schwaben	Kies Moräne Ober- schwaben		Kies Moräne Ober- schwaben
Größtkorn Gehalt	kg/m ³	GK 16 1.770		GK 16 1.863	GK 16 1.860	GK 32 1.896	GK 32 1.896		GK 32 1.880
Zusatzmittel Art		PCE-FM	LP- Bildner	PCE-FM	PCE-FM	PCE-FM	PCE-FM		PCE-FM
Gehalt	% v.z	0,7	0,14	0,8	1,15	0,8	0,8		0,6
Bauteil		Brückenkappen		Überbau	Bodenplatte flügelgeglättet	Fundamente, Stützen, Wände	Bioenergie- behälter, Fahrsiloböden		Fundamente, Widerlager, Stützen
Prüfung vom		31.08.11	5.11.11	29.09.11	20.10.11	17.10.11	16.06.11	06.09.11	19.09.11
TL/TB	°C	23 / 27	8 / 15	14 / 21	6 / 16	5 / 15	26 / 27	8 / 21	12 / 21
Ausbreitmaß in Minuten nach Misch- beginn	mm	f ₃₀ = 470	f ₅₀ = 480	f ₄₅ = 460	f ₆₀ = 560	f ₁₀ = 610	f ₉₀ = 500	f ₆₀ = 530	f ₄₅ = 440
Luftgehalt	Vol.-%	5,9	6,1	-	-	-	-	-	-
w/z gedarrt		0,50	-	-	-	0,43	-	-	-
Betondruck- festigkeiten	N/mm ²	2 d = 15,6 28 d = 31,0	28 d = 43,3	mittel 28 d = 56,4	mittel 28 d = 54,0	2 d = 31,1 28 d = 60,1	mittel 28 d = 49,1	mittel 28 d = 51,1	2 d = 25,1 7 d = 34,7 28 d = 44,2
CDF mitt- lere Abwit- terung nach 28 FTW	g/m ²	243 < 1.500							



Bild 5: Instandsetzung der Donaubrücke Laizerstraße in Sigmaringen

Tafel 3: Auswertung der Ergebnisse des CDF-Tests (Prüfbericht 11/041) [2]

Prüffläche	cm ²	166,5	166,5	166,5	166,5	167,61
m ₄ (Abwitterung nach 4 FTW)	g/m ²	66	70	57	35	48
m ₆ (Abwitterung nach 6 FTW)	g/m ²	91	85	85	49	67
m ₁₄ (Abwitterung nach 14 FTW)	g/m ²	183	136	168	110	138
m ₂₈ < 1.500 g/m ²	g/m ²	282	220	270	204	239

Mittelwert der Abwitterung nach 28 FTW [g/m²] (Serie 1): 243

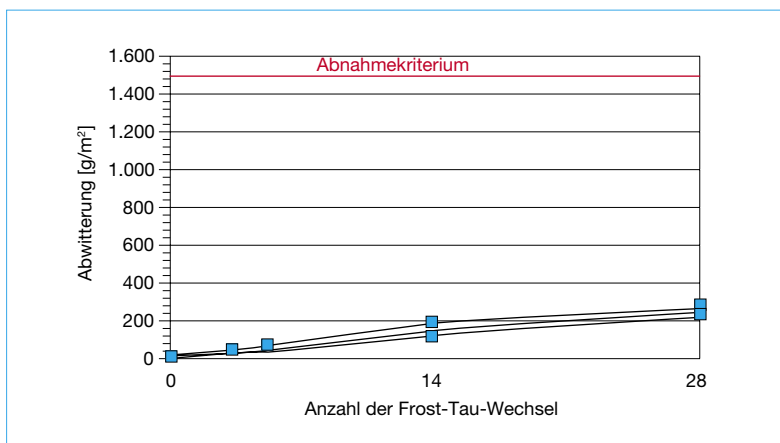


Bild 6: Ergebnisse des CDF-Tests (Prüfbericht 11/041) [2]

Da für Bauwerke nach ZTV-ING die Zustimmung des Auftraggebers für den Einsatz von CEM II/B-M-Zementen nach wie vor notwendig ist, galt es für das Bauobjekt Brücke BW3 „Ortsumgehung Herberlingen“ (Tafel 2, Objekt 6, und Bilder 7 und 8), diese Genehmigung einzuholen. Das zuständige Regierungspräsidium Tübingen erteilte aufgrund der vorliegenden positiven Erfahrungen aus den vorangegangenen Betonagen sowie den eingereichten Ergebnissen der Erstprüfungen diese Zustimmung für das konkrete Bauwerk.

4 Zusammenfassung

Anhand der beschriebenen Praxisbeispiele konnte nachgewiesen werden, dass unter Verwendung von CEM II/B-M (V-LL)-Zement robuste Betone mit hohen Qualitätsmerkmalen zielsicher hergestellt werden können. Bei der Umstellung von Betonzusammensetzungen auf diesen Portlandkompositement tauchen immer wieder Fragen auf, die an dieser Stelle nochmals zusammenfassend beantwortet werden:

1. Was ist bei der Umstellung auf den CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ zu beachten?

Bei der Umstellung sind gegenüber anderen Normzementen keinerlei Anpassungen der herstellungstechnischen Abläufe im Transportbetonwerk erforderlich. Wie bei jeder Änderung der Ausgangsstoffe des Betons sind Erstprüfungen durchzuführen.

2. Weist der CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ Besonderheiten auf, die sich auf die Verarbeitungseigenschaften des Betons auswirken?

Der CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ ist feiner aufgemahlen, was sich günstig auf das Zusammenhalte- und das

Wasserrückhaltevermögen des Betons auswirkt.

3. Was ist bei der Nachbehandlung von Betonen mit CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ zu beachten?

Die Dauer der Nachbehandlung richtet sich – ohne genauen Nachweis der Festigkeit – nach der Expositionsklasse, der Oberflächentemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons.

4. Wie ist der Frost-Tausalz-Widerstand beim CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ zu bewerten?

Nach Norm bzw. bauaufsichtlicher Anwendungszulassung ist der Zement 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).

5. Was muss bei der Verwendung von Zusatzmitteln in Verbindung mit dem CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ beachtet werden?

Grundsätzlich gilt, dass bei Verwendung von Zusatzmitteln im Beton Erstprüfungen durchzuführen sind, um die Wechselwirkung in Verbindung mit den verwendeten Ausgangsstoffen nachzuweisen. Vor allem bei Verwendung von Betonverflüssigern (BV) oder Fließmitteln (FM) auf der Basis von Polycarboxylatethern (PCE) ist zu beachten, dass unabhängig von der verwendeten Zementart beim Wechsel des Zements geprüft werden muss, ob das verwendete PCE geeignet ist. Die bisherigen Erfahrungen zeigen aber, dass nicht mit negativen Einflüssen gerechnet werden muss.

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

Bei Verwendung flugaschehaltiger Zemente ist die anrechenbare Flugaschemenge auf 25 M.-% des Ze-



Bild 7: Betonieren der Brückenpfeiler im Zuge der Ortsumgehung Herbertingen

Foto: Daniel Preiß



Bild 8: Betonierarbeiten im Zuge der Ortsumgehung Herbertingen, Brücke BW3

Foto: Daniel Preiß

mentgehalts begrenzt. Ansonsten gilt die für Portlandzemente bekannte Regelung.

7. Gibt es Anwendungseinschränkungen für den CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R-AZ?

Bei der Verwendung des Zements gemäß ZTV-ING ist die Zustimmung des Auftraggebers erforderlich.

Literatur

- [1] Technischer Bericht TB-BTe B2237-A-3/2010, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf 2010
- [2] Ergebnisse des Prüfberichtes 11/041 der Betotech GmbH, Fürstzell 2011
- [3] CEM II- und CEM III/A-Zemente in Betonbau, Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton, Herausgeber VDZ e.V., Düsseldorf 2008