

Nachweis der Eignung von Portlandhüttenzement

DIN EN 197-1 CEM II/B-S für die Herstellung von Brückenkappen

Von Norbert Klose und Andreas Michel, Hamburg

1 Ausgangssituation

Bei der Herstellung von Zement wird bei der Verbrennung von Brennstoffen und indirekt durch den Einsatz elektrischer Energie Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt und emittiert. Rohstoffbedingte CO₂-Emissionen entstehen außerdem bei der Entsäuerung des Kalksteins. Die deutschen Zementhersteller haben sich 1995 verpflichtet, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und den spezifischen Brennstoffverbrauch von 1987 bis 2005 um 20 % zu senken. In einer weiteren Selbstverpflichtung vom Dezember 2000 haben sie erklärt, die energiebedingten CO₂-Emissionen aus Brennstoff- und Strombedarf, bezogen auf das Basisjahr 1990, bis zum Jahr 2012 um 28 % zu senken, u.a. durch Verringerung der Herstellung von Portlandzementklinker und damit durch vermehrten Einsatz von Zementen mit geringeren Klinkergehalten, wie CEM II und CEM III. Besonders effektiv bei der praktischen Umsetzung der Energiebedarfsminderung ist der Einsatz von Hüttsand bzw. die Herstellung von Portlandhüttenzement CEM II-S bei gleichzeitiger Berücksichtigung der am häufigsten geforderten bautechnischen Eigenschaften [1].

Die o.g. klimarelevanten Maßnahmen der Zementindustrie kommen aber nur dann zum Tragen, wenn Hindernisse, die der Verwendung der Portlandhüttenzemente in der Baupraxis entgegenstehen, beseitigt werden, d.h., wenn die Zementabnehmer diese auch verwenden.

Regelwerksbedingte Einschränkungen bei der Verwendung von Portlandhüttenzement CEM II-S gibt es nicht. Eine Ausnahme, die die uneingeschränkte Markteinführung bis-

lang behinderte, gibt es im Brückenbau. Hier gelten die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Kunstbauten“, Ausgabe 1996, des Bundesministers für Verkehr, Bauen und Wohnen [2]. Entsprechend Abschnitt 6.7.5.4 „Zement“ des Allgemeinen Rundschreibens Straßenbau Nr. 12/1999 vom 20.4.99 zur ZTV-K „bedurfte die Verwendung von Portlandhüttenzement CEM II-S bei der Herstellung von Brückenkappen bislang der Zustimmung des Auftraggebers“ [3]. Dieses hat sich erst durch das Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 8/2002 [4] geändert.



Bild 1: Brücke bei Rethwisch („Brücke R“) – Ansicht Westseite

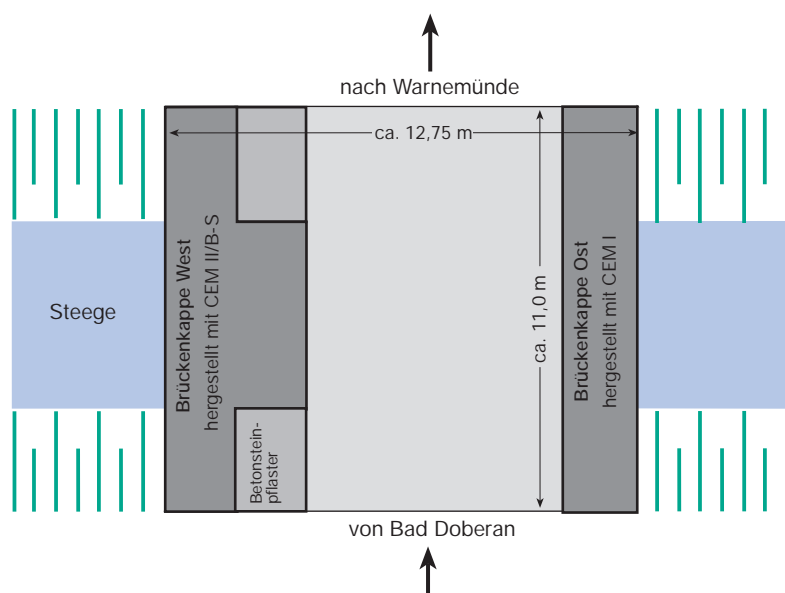


Bild 2: „Brücke R“ – Draufsicht mit Angabe der für die Herstellung der Brückenkappen verwendeten Zementarten (unmaßstäbliche Skizze)

4 Betonieren der Brückenkappen

Die Kappen der „Brücke R“ wurden im November 2001 betoniert. Das Betonieren der beiden Brückenkappen des westlichen Teils der „Brücke G“ (Bild 4, „Brücke West“) erfolgte im Juni 2002. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden nur die Betonarbeiten an dieser Teilbrücke überwacht und die dazugehörigen Baustoffprüfungen durchgeführt. Die Betone wurden bei beiden Brückenbauwerken mit Rüttelflaschen verdichtet. Bei „Brücke R“ wurde der Beton anschließend mit einer Gerüstbohle grob abgezogen (Bild 6). Die Oberfläche wurde mit Reibebrett und Kelle geglättet und danach mit einem Besenstrich versehen. Bei der „Brücke G“ erfolgte die Oberflächenerstellung mit Rüttelbohle (Bild 7) und anschließendem Besenstrich. Beide Brückenkappenbetone hatten, unabhängig von der verwendeten

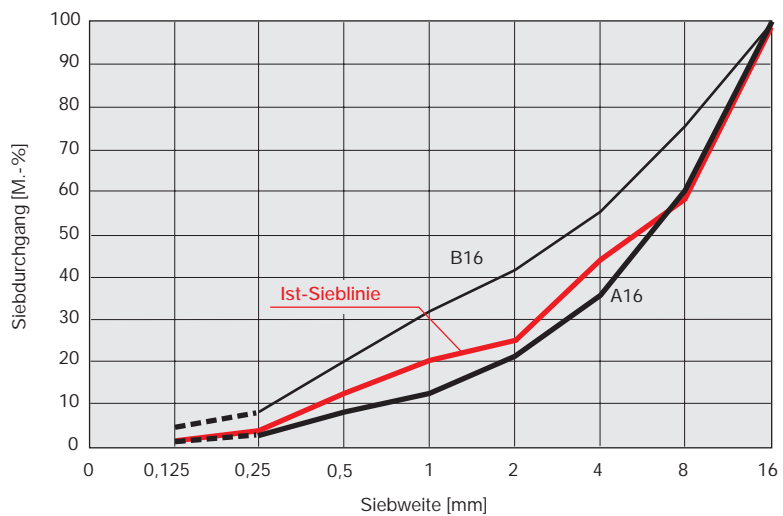


Bild 5: Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung bei der Eignungsprüfung

Zementart, gleiche Verarbeitungseigenschaften. Sie wiesen ein gutes Zusammenhaltevermögen auf, zeigten keinen Mörtelüberschuss und

neigten nicht zum Wasserabsondern (Bluten). Die Nachbehandlung der Brückenkappen erfolgte durch Abdecken mit Kunststoffolie, sobald dieses ohne Schädigung der Oberflächentextur möglich war.

Tafel 1: Zusammensetzung der Brückenkappenbetone für „Brücke R“ und „Brücke G“ bei der Eignungsprüfung

Bauwerk		Brücke Rethwisch (R) Brücke Groß Schwaab (G)	
Bauteil		Brückenkappen	
Betonfestigkeitsklasse besondere Eigenschaften		B 25 Wasserundurchlässigkeit hoher Frost- und Tausalz widerstand	
Konsistenz		KP	
Zementart und Festigkeitsklasse		CEM I 32,5 R-NA	CEM II/B-S 32,5 R-NA
Zementgehalt z	kg/m ³	340	340
Wassergehalt w/z-Wert	kg/m ³	170 0,50	170 0,50
Gesteinskörnung		A/B 16	A/B 16
Sieblinie			
Sand 0/2a (Klocksinn, MVP)	kg/m ³	458	454
Splitt 2/8 (Skien, Norwegen)	kg/m ³	604	598
Splitt 8/16 (Skien, Norwegen)	kg/m ³	710	704
Gesamtgehalt	kg/m ³	1.772	1.756
Mehlkorngehalt	kg/m ³	351	351
Mehlkorn + Feinstsandgehalt	kg/m ³	400	399
Zusatzmittel			
Art		LP	LP
Gehalt	% von z	0,25	0,30

5 Frischbetoneigenschaften der Brückenkappenbetone

Zum Nachweis der Eignung des Portlandhüttenzements für die Herstellung von Brückenkappen gemäß ZTV-K wurden im Rahmen einer erweiterten Eigenüberwachungsprüfung des Transportbetonwerks umfangreiche Betonprüfungen durchgeführt. Im Transportbetonwerk und auf der Baustelle wurden die Konsistenz, der Luftgehalt, die Rohdichte und die Temperatur des Frischbetons bestimmt. Probekörper wurden für die Prüfung der Druckfestigkeit, der Wassereindringtiefe und des Frost- und Tausalz widerstands hergestellt. Die Frischbeton- und Festbetonprüfungen wurden bei der „Brücke R“ von der Universität Rostock, bei der „Brücke G“ von der Abteilung Anwendungstechnik des Zementherstellers überwacht. Die Frischbetoneigenschaften der Kappenbetone beider Brücken beim Einbau enthält

Tafel 3. Die Ergebnisse der Luftgehaltsmessung im Transportbetonwerk und die auf der Baustelle ermittelten Luftgehalte stimmten überein und korrelierten mit den Ergebnissen der Eignungsprüfung und den am Festbeton bestimmten Luftporenkennwerten.

6 Festbetoneigenschaften der Brückenkappenbetone

Von den Brückenkappenbetonen wurden die Druckfestigkeit, die Wassereindringtiefe, die Luftporenkennwerte am Festbeton und der Frost- und Tausalzstand nach dem CDF-Verfahren ermittelt. Die Ergebnisse der Prüfungen der Kappenbetone beider Brücken sind in Tafel 3 zusammengefasst.

6.1 Druckfestigkeit

Für die Druckfestigkeitsprüfungen wurden Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm auf der Baustelle hergestellt und nach DIN 1048 gelagert. Die Betone wurden im Alter von 7, 28 und 56 Tagen geprüft (und auf die für die nach DIN 1045:1988 maßgebende Druckfestigkeit β_{w200} umgerechnet). Die Bestimmung der Festbetonrohddichte erfolgte ausschließlich im Alter von 28 Tagen. Die Nenn- und die Serienfestigkeiten der mit CEM I und CEM II/B-S her-

Tafel 2: Frisch- und Festbetoneigenschaften der Brückenkappenbetone (Eignungsprüfung) (Anforderung: Beton der Festigkeitsklasse B 25 mit hohem Frost- und Tausalzstand nach ZTV-K)

		Brückenkappenbetone	
Zement		Portlandzement CEM I 32,5 R-NA	Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R-NA
Ausbreitmaß	nach 10 min	420	430
	nach 45 min	390	400
Frischbetonrohddichte	kg/m ³	2.304	2.286
Luftgehalt	Vol.-%	5,1	4,8
Festbetonrohddichte	kg/m ³	2.287	2.274
Wassereindringtiefe	mm	13	11
Druckfestigkeit β_{w200}	nach 7 Tagen	31	28
	nach 28 Tagen	39	37

gestellten Betone lagen über der für einen Beton der Festigkeitsklasse B 25 geforderten Festigkeit.

6.2 Wassereindringtiefe

Als besondere Betoneigenschaft war in der Ausschreibung ein wasserundurchlässiger Beton mit einer Wassereindringtiefe von < 30 mm gefordert. Die Wassereindringtiefe wurde nach DIN 1048 bestimmt. Die Brückenkappenbetone erfüllen mit 7 mm bis 18 mm die Anforderung.

6.3 Luftporenkennwerte

Der Mikroluftporengehalt und der Abstandsfaktor als Maß für den Frost- und Tausalzstand der Brückenkappenbetone wurden nach DIN EN 480-11 [5] an Betonzylindern (d = 150 mm, h = 300 mm) bestimmt. Die untersuchten Betonproben erfüllten unabhängig von der verwendeten Zementart die im Rahmen der Prüfungen am Bauwerk und bei Kontrollprüfungen gestellten Anforderungen hinsichtlich des Mikroluftporengehalts und des Abstandsfaktors.



Bild 6: „Brücke R“ (östliche Brückenkappe) – Einbringen, Verdichten, Abziehen und Glätten des Kappenbetons



Bild 7: „Brücke G“ (Außenkappe Brückenteil Ost) – Verdichten und Abziehen des Kappenbetons mit Rüttelbohle

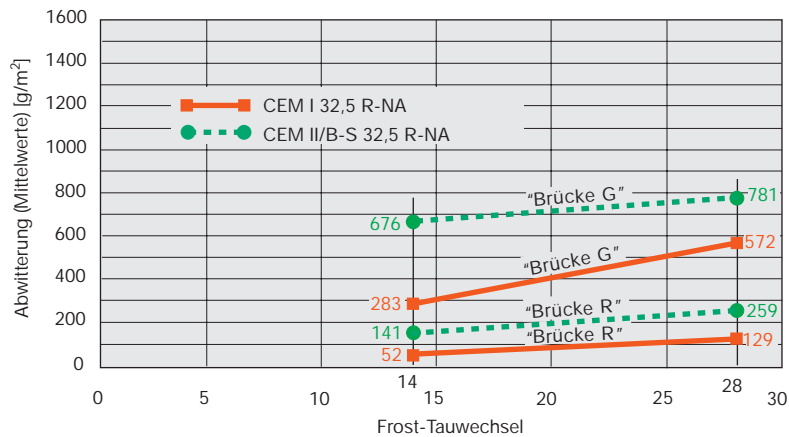


Bild 8: Abwitterung der Brückenkappenbetone bei der CDF-Prüfung

6.4 Frost- und Tausalzstand nach dem CDF-Verfahren

Die CDF-Abwitterungswerte sind in Bild 8 dargestellt. Die Betone unterschritten nach 28 Frost-Tauwechslern deutlich den nach diesem Verfahren für den Frost- und Tausalzstand empfohlenen Grenzwert für die Abwitterung von 1.500 g/m².

Tafel 3: Frisch- und Festbetoneigenschaften der Brückenkappenbetone „Brücke R“ und „Brücke G“ (Ausführung)

Bauteil		Brückenkappen			
		„Brücke R“	„Brücke G“	„Brücke R“	„Brücke G“
Zement		Portlandzement CEM I 32,5 R-NA		Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R-NA	
Frischbetontemperatur	°C	10	16 - 18	10,4	15 - 17
Ausbreitmaß im Transportbetonwerk bei Baustellenankunft nach 60 Minuten	mm	440	440	440	450
	mm	370	370 - 380	380	350 - 380
	mm	-	-	340	-
Frischbetonrohddichte	kg/m ³	2.320	2.330	2.300	2.330
Luftgehalt im Transportbetonwerk bei Baustellenankunft nach 60 Minuten	Vol.-%	6,3	6,5	7,5	6,7
	Vol.-%	5,2	5,8	6,8	5,8
	Vol.-%	6,0	-	7,0	-
Festbetonrohddichte nach 28 Tagen	kg/m ³	2.330	2.290	2.290	2.280
Druckfestigkeit β_{w200} nach 7 Tagen nach 28 Tagen nach 56 Tagen	N/mm ²	30	28	28	22
	N/mm ²	42	38	38	38
	N/mm ²	44	44	44	43
Wassereindringtiefe	mm	15	7	7	18
Luftgehalt Mikroluftporengehalt L_{300} Ist-Wert Soll-Wert	Vol.-%	4,2		6,6	
	Vol.-%	2,3	nicht bestimmt	3,3	nicht bestimmt
	Vol.-%	$\geq 1,5$		$\geq 1,5$	
Abstandsfaktor AF_{300} Ist-Wert Soll-Wert	mm	0,16		0,14	
	mm	$\leq 0,24$		$\leq 0,24$	
Abwitterung (CDF, i.M.) nach 14 Frost-Tauwechslern nach 28 Frost-Tauwechslern	g/m ²	52	283	141	676
	g/m ²	129	572	259	781

7 Dauerhaftigkeit der Brückenkappen

Der Nachweis der Dauerhaftigkeit der Brückenkappen, hergestellt mit Portlandzement CEM I und Portlandhüttenzement CEM II/B-S, erfolgte einerseits durch Prüfung entsprechender Kriterien an Probekörpern. Andererseits sollte die Dauerhaftigkeit der Kappenbetone auch unter betrieblicher Beanspruchung durch Inaugenscheinnahme der Brückenbauwerke überprüft werden. Von besonderer Bedeutung dabei ist die mögliche Wirkung der Frost- und Taumittelbeanspruchung, die, wie Erfahrungen zeigen, insbesondere im ersten Winter und wenn zudem die Bauteile nicht mindestens einmal ausgetrocknet Frost ausgesetzt sind, besonders stark ist. Eine Inaugenscheinnahme war bauzeitbedingt bisher nur bei der „Brücke R“ nach der ersten Herbst- und Winterperiode 2001/02 möglich. Nach Angabe der Straßenmeisterei kann man im Winter eine durchschnittliche Frost- und Tausalzbeanspruchung unterstellen. Als Zwischenergebnis ist festzustellen, dass die durch den Besenstrich bedingte Oberflächenstruktur der Kappen seit der Herstellung unverändert gut ist, wie aus den Bildern 9 und 10 ersichtlich. Risse, Absandungen der Oberflächen, Abplatzungen oder andere schad-



Bild 9: „Brücke R“ – Brückenkappe West, hergestellt mit CEM II/B-S, nach dem ersten Winter 2001/02



Bild 10: „Brücke R“ – Brückenkappe Ost, hergestellt mit CEM I, nach dem ersten Winter 2001/02

hafte Erscheinungen sind nirgendwo aufgetreten. Die Oberflächen beider Brückenkappen sowohl mit CEM I als auch mit CEM II/B-S weisen ein gleich gutes Aussehen auf. Die Praxisbeobachtungen werden fortgeführt. Darüber wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.

Zwischenzeitlich ist festzustellen, dass die zehn Jahre geltende Einschränkung der Verwendung von Portlandhüttenzement für die Herstellung von Brückenkappenbetonen mit dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 8/2002 [4] aufgehoben ist. Danach dürfen nunmehr Portlandzement, Portlandhüttenzement und Hochofenzement (Hütten sandgehalt ≤ 50 M.-%), aber auch Portlandschieferzement CEM II/A-T und CEM II/B-T sowie Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL uneingeschränkt verwendet werden. Dieses gilt auch für die Expositions-kategorie XF4 „Frost- und Taumittelan-griff bei hoher Wassersättigung“. Die bei den Bauwerken „Brücke R“ und

„Brücke G“ durchgeführten Untersu-chungen haben dazu beigetragen, bestehende Bedenken gegen die Verwendung von Portlandhütten-zement bei Brückenkappen abzu-bauen und rechtfertigen die Anwen-dung des vorgenannten ARS auch in Mecklenburg-Vorpommern.

8 Literatur

- [1] Klose, N.: Klimarelevante Umweltvorsorge der Zementindustrie und deren Umsetzung im Baugeschehen. Beton-Informationen 42 (2002) Heft 1, S. 3-7.
- [2] ZTV-K - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Kunstbauten, Ausgabe 1996. Hrsg.: Der Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau; Abt. Binnenschifffahrt und Wasserstraßen.
- [3] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 12/1999 (20. April 1999): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Kunstbauten, Ausgabe 1996 (ZTV-K); Ergänzungen bzw. Änderungen.
- [4] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 8/2002 (13. April 2002): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Kunstbauten, Ausgabe 1996 (ZTV-K); Zemente nach DIN EN 197 und DIN 1164 für den Brücken- und konstruk-

tiven Ingenieurbau an Bundesfernstraßen, Ergänzungen bzw. Änderungen.

- [5] DIN EN 480-11 - Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Prüfverfahren - Teil 11: Bestimmung von Luftporenkennwerten in Festbeton (2.99)

Bauschild

Brücke Groß-Schwaab

Bauherr

- Bundesrepublik Deutschland

Tragwerksplanung

- Ing.-Büro Grosse, Niederlassung Greifswald

Ausführungsplan

- Ing.-Büro Hartmann und Partner, Herford

Bauüberwachung

- Ing.-Büro Dr. Herold AG, Rostock

Bauausführung

- ARGE
- Alpen-Bau Mecklenburg GmbH, Satow
- Becker Bau, Rostock
- Meyer W. & Co. KG, Wittenförden/Schwerin

Transportbeton

- Lafarge Beton GmbH, Werk Groß Schwaab