Erprobungsstrecke mit Hochofenzement CEM III/A

Von Norbert Ehrlich, Düsseldorf, Roland Mellwitz, Bernburg, und Karl-Heinz Rother, Halberstadt

1 Einleitung

Um der volkswirtschaftlichen Forderung der Verminderung der CO_2-Emissionen gerecht zu werden, muss die Zementindustrie den Klinkeranteil reduzieren. Insofern kommt den 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 [1].

Um diesen Weg langfristig vorzubereiten, ist unter Mitwirkung des BMVBS, der BASt und des Landesbetriebs Bau Sachsen-Anhalt eine Erprobungsstrecke mit einem hüttensandhaltigen CEM III/A 42,5 N-NA in Waschbetonbauweise ausgeführt worden. Alle Beteiligten waren sich hierbei bewusst, dass die Verkehrsfreigabe dieses Bauabschnitts nicht vor 2010 erfolgen wird. Damit sind zwar zeitnah keine Erfahrungen hinsichtlich Dauerhaftigkeit unter Verkehrsbedingungen verfügbar, aber es werden bundesweit erste Erfahrungen von der Herstellung über den Einbau bis hin zum Fugenschnitt beim Bau von Waschbetonstrecken mit CEM III/A gesammelt, die für weitere Maßnahmen genutzt werden können.

Als Zement wurde ein CEM III/A gewählt, da er die obere Grenze von hüttensandhaltigen Hauptbestandteilen für einen Straßendeckenzement darstellt. Zemente mit einem niedrigeren Hüttensandgehalt, wie CEM II/A-S oder CEM II/B-S in der Festigkeitsklasse 42,5 N, sind dann geeignete Straßendeckenzemente, wenn die Betone den Anforderungen in der Erstprüfung genügen.

Die Erprobungsstrecke wurde im Oktober 2007 auf der B6n (autobahnähnliche vierspurige Bundesfernstraße) bei Güsten (Los 13.1, östlich BW 82, jeweils ca. 1.000 m Richtungsfahrbahn) gebaut.

2 Prüfungen

Im Vorfeld wurde ein umfangreicher Prüfplan für Erst-, Eigenüberwachungs-, Kontroll- und Langzeitprüfungen erstellt und mit allen Partnern abgestimmt, **Tafel 1**. In Vorgesprächen beim Auftraggeber wurden Einzelheiten abgeklärt und Festlegungen darüber getroffen, wer wofür verantwortlich ist.

Im Rahmen der Erstprüfung wurden gemäß Prüfplan die Prüfungen nach **Tafel 2** im Betonlabor des Zementherstellers durchgeführt.

Es erfolgte eine gutachterliche Stellungnahme zur Erstprüfung des Betons hinsichtlich Alkali-Kieselsäure Reaktion vor Bauausführung.

Im Rahmen der Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen wurden gemäß Prüfplan die Prüfungen nach **Tafel 3** durchgeführt.

Bild 1: Gleitschalungsfertiger zur Herstellung der Fahrbahn

Tafel 1: Prüfplan für Zementprüfungen

1	Nachweis der physikalischen Eigenschaften nach DIN EN 196 Teile 1, 3 und 6 (Druckfestigkeit; Biegezugfestigkeit; Erstarren; Raumbeständigkeit; Mahlfeinheit)
2	Nachweis der chemischen Eigenschaften nach DIN EN 196 Teil 2 (chem. Zusammensetzung; Na_2O-Äquivalent)
3	Nachweis der Hydratationswärme nach DIN EN 196 Teil 8 oder Teil 9
4	Probenahme aus dem Silozug über Domdeckel nach DIN EN 196 Teil 7
5	Übergabe einer Zementprobe für die physikalisch-chemischen Untersuchungen an die BASt (durch LBB[1]), Parallelprobe für das Labor des Zementherstellers
6	Nachweis der Fremdüberwachung des Zements

[1] Landesbetrieb Bau Sachsen-Anhalt

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

Tafel 2: Betonerstprüfung nach Entwurf TL Beton-StB 07, Anhang E

1 Gesteinskörnungsprüfung	
Kornzusammensetzung	alle 5 Körnungen
2 Frischbetonprüfungen	
Konsistenz (Verdichtungsmaß)	10 min und 60 min
Luftgehalt (LP-Topf)	10 min und 60 min
Frischbetonrohdichte	für alle hergestellten Prüfkörper
zusätzlich	
Mikroluftporengehalt und Abstandsfaktor, AVA (jeweils Messen bei Probenherstellung CDF)	für Unter- u. Oberbeton
3 Festbetonprüfungen	
Druckfestigkeit	je 3 Würfel für Unter- u. Oberbeton
Biegezugfestigkeit	je 3 Balken für Unter- u. Oberbeton
Festbetonporengehalt auszählen	1 x für Oberbeton
Texturtiefe (Waschbeton-Musterplatte herstellen)	Ausbürsten bei 20 °C
zusätzlich mit CEM III/A 42,5 N-NA	
Spaltzugfestigkeit	je 3 Zylinder für Unter- u. Oberbeton
Elastizitätsmodul	je 3 Zylinder für Unter- u. Oberbeton
Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF/CIF	3 Würfel (Teflon) für Oberbeton
Frost-Tausalz-Widerstand nach V2-95[1)]	3 Würfel für Oberbeton
Frost-Tausalz-Widerstand nach CDF/CIF	Waschbetonoberfläche prüfen
Frost-Tausalz-Widerstand nach V2-95	Waschbetonoberfläche prüfen
Festbetonporengehalt	für Oberbeton
Ausbürsten bei 10 °C (20 °C siehe oben)	Waschbetonplatte mind. 900 cm²
zusätzlich mit CEM I 42,5 N-sd zu Vergleichszwecken	
Spaltzugfestigkeit	3 Zylinder für Oberbeton
Elastizitätsmodul	3 Zylinder für Oberbeton
Ausbürsten bei 20 °C und 10 °C	Waschbetonplatte mind. 900 cm²

[1)] Verfügung 2-95 des Landes Sachsen-Anhalt

Tafel 3: Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen gemäß Prüfplan

1 Bautechnische Begleitung des Einbaus einschließlich WPK nach Entwurf TL Beton-StB 07, Anhang E	
1.1 **Frischbetonprüfungen (Einbaustelle)**	
Konsistenz (Unter- und Oberbeton)	alle 100 m
Wasserzementwert (Unter- und Oberbeton)	alle 100 m
Betonzusammensetzung (Unter- und Oberbeton)	1 x je Produktionstag
Rohdichte	bei jeder Prüfkörperherstellung
Luftporengehalt (Unterbeton)	alle 50 m
Luftporengehalt (Oberbeton)	1 x je Stunde
zusätzlich (Mischanlage)	
Luftporengehalt (Unterbeton)	1 x je 50 m
AVA-Messung (Oberbeton)	bei Anfangsmischung, danach 1 x je Produktionstag
AVA-Messung (Oberbeton) mit CEM I 42,5 N-sd	1 x als Vergleich
1.2 **Festbeton** *zusätzlich mit CEM III/A 42,5 N-NA*	
Druckfestigkeit (Unter- und Oberbeton)	3 Würfel je Produktionstag
Biegezugfestigkeit (Unter- und Oberbeton)	3 Balken je Produktionstag
Frost-Tausalz-Widerstand CDF/CIF (Oberbeton)	3 Bohrkerne[1)] je Richtungsfahrbahn
Frost-Tausalz-Widerstand am Bohrkern gemäß V2-95 am Oberbeton	3 Bohrkerne je Richtungsfahrbahn
zusätzlich mit CEM I 42,5 N-sd zu Vergleichszwecken am Oberbeton	
Frost-Tausalz-Widerstand am Bohrkern gemäß V2-95	3 Bohrkerne als Vergleich (WPK)
Frost-Tausalz-Widerstand CDF/CIF	3 Bohrkerne[1)]
2 Prüfungen der BASt beim Einbau	
Mörtelschichtdicke	alle 100 m
Auftragsmenge des Kontaktverzögerers	alle 100 m
Auftragsmenge des NBM	alle 100 m
Rautiefe mit Sandfleckmethode (ggf. Rautiefe mit 3D-Sonde)	alle 100 m (alle 100 m)
3 Aufzeichnung der Klimadaten bis 14 Tage nach Betoneinbau	
4 Aufzeichnung des Temperaturverlaufs innerhalb der Betonschicht (unten, Mitte, oben, Luft) bis 7 Tage; als Vergleich eine Messung beim CEM I 42,5 N-sd	
5 Nachbehandlung (Untersuchung des Austrocknungsverhaltens verschiedener Zemente und Nachbehandlungsmittel) UNI Weimar	
6 Untersuchung der Helligkeit der Waschbetonoberflächen im Vergleich mit dem Zement CEM I 42,5 N-sd an Probeplatten der Erstprüfungen. Zur Anwendung kommt das Spektralmessverfahren mit einer Ulbricht´schen Kugel und gepulstem Xenonblitz (Zementhersteller)	
7 Messungen der Griffigkeit SKM-Messungen für den gesamten Abschnitt 13.1 werden nach Verkehrsfreigabe (voraussichtlich 2010) vom LBB übernommen, einbezogen werden Oberflächenstrukturen Jutetuch und Kunstrasen (PA 12)	
8 Lärmtechnische Messungen werden erst nach Verkehrsfreigabe (voraussichtlich 2010) stattfinden, Nachfeldmessung mit Schallmessanhänger (BASt)	
9 Es wird eine **jährliche Begehung** der Erprobungsstrecke vorgenommen, in der eine kurze Einschätzung der optischen Eindrücke dokumentiert wird.	
10 Dokumentation: Erstellen einer umfassenden Dokumentation über Einbaubedingungen und Besonderheiten wie Regen, extreme Temperaturen, Betonierunterbrechungen sowie Fugen schneiden, Verbrauch an Kontaktverzögerer, Ausbürstverhalten, Verdichtungswilligkeit und Glätteigenschaften im Vergleich zum CEM I 42,5 N-sd u.s.w. (einschließlich Fotodokumentation)	

[1)] Bohrkerne aus Waschbetonoberfläche

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

3 Darstellung der Ergebnisse aus den Erstprüfungen

3.1 Gegenüberstellung der Zementdaten

Tafel 4 zeigt eine Gegenüberstellung der Zementdaten. Die Anfangsfestigkeit des CEM III/A 42,5 N-NA-Zements nach zwei Tagen ist mit dem bisher als Standardzement eingesetzten Straßendeckenzement CEM 32,5 R-sd vergleichbar, wobei die Frühfestigkeit nach wenigen Stunden geringer ist. Dadurch wird das Ausbürsten verzögert. Die Feinheit des Zements ist charakteristisch für seinen Festigkeitsverlauf und führt teilweise zu einem „klebrigen" Verhalten beim Glätten der verdichteten Betonoberfläche. Darauf muss man sich auf der Baustelle einstellen und ggf. durch geeignete Maßnahmen gegensteuern. Besonderes Augenmerk ist hier dem Oberflächenschluss am Längsglätter zu schenken.

3.2 Betonzusammensetzungen

Die Betonzusammensetzungen sind **Tafel 5** zu entnehmen. Nachdem eine gutachterliche Stellungnahme hinsichtlich AKR eingeholt worden war, wurde die Betonzusammensetzung zum Betonieren freigegeben.

3.3 Ergebnisse der Vergleichsprüfung im Rahmen der Erstprüfung beim Waschbeton

Auffallend ist die höhere Dosierung des LP-Bildners, was aber für hüttensandhaltige Zemente üblich ist. Die Rautiefe wurde auf der Probeplatte ermittelt und stellt keinen Vergleichswert für die zu erwartenden Praxiswerte dar.

3.3.1 Festbetonkennwerte

Die Festbetonkennwert der Erstprüfung sind in den **Bildern 2** bis **7** grafisch dargestellt.

Tafel 4: Gegenüberstellung der Zementdaten

Zementart	Anfangsfestigkeit (2 d) [MPa]	Normfestigkeit (28 d) [MPa]	Erstarren (nach Vicat) [min]	Mahlfeinheit (nach Blaine) [cm²/g]	Dichte [kg/dm³]	Alkaligehalt (Na_2O-Äquivalent) [%]	Hüttensandgehalt [%]
CEM I 42,5 N-sd	27	60	130/180	3.320	3,11	0,76	0
CEM III/A 42,5 N-NA	24	59	180/220	4.950	3,03	0,79	39

Tafel 5: Betonzusammensetzungen für Unter- und Ortbeton

		Unterbeton	Oberbeton
Betonfestigkeitsklasse		C30/37	C30/37
Konsistenzklasse		C2	C2
Expositionsklasse		XF4	XF4
Zementart und Festigkeitsklasse		CEM III/A 42,5 N-NA	CEM III/A 42,5 N-NA
Zementgehalt z	kg/m³	350	420
Wassergehalt	kg/m³	145	175
w/z		0,42	0,42
Gesteinskörnung			
Sand 0/2, Hoym	kg/m³	620	481
Kies 2/8, Hoym	kg/m³	185	-
Kies 8/16, Hoym	kg/m³	366	-
Splitt 2/8, Mammendorf	kg/m³	-	1.191
Splitt 11/22, Mammendorf	kg/m³	658	-
Gesamtgehalt	kg/m³	1.829	1.672
Zusatzmittel			
Art		LP FM	LP FM
Gehalt	% von z	0,25 0,40	0,45 - [1)]

[1)] Beim Einbau herstellungsbedingt von 0,40 % von z auf 0 % von z reduziert

Tafel 6: Übersicht der Ergebnisse aus den Erstprüfungen CEM I/ CEM III

Eigenschaft			CEM I 42,5 N-sd	CEM III/A 42,5 N-NA
Frischbeton				
Verdichtungsmaß		-	1,32	1,21
Rohdichte		kg/dm³	2,28	2,23
Luftgehalt	LP-Topf	Vol.-%	6,0	6,8
Luftporengehalt	AVA (A_{300})	%	7,1	7,3
Abstandsfaktor	AVA	mm	0,07	0,08
Betontemperatur		°C	23	24
Zusatzmitteldosierung				
LP (1:2 verdünnt)		% von z	0,28	0,45
FM		% von z	-	0,40
Festbeton				
Druckfestigkeit	nach 28 Tagen	N/mm²	47,5	44,5
Spaltzugfestigkeit	nach 28 Tagen	N/mm²	3,9	4,0
stat. E-Modul	nach 28 Tagen	N/mm²	31.700	34.100
Biegezugfestigkeit	nach 28 Tagen	N/mm²	-	7,5
Rautiefe		mm	0,99	0,99
CDF-Prüfung	teflongeschalte Fläche	g/m²	-	950
	Waschbeton	g/m²	424	680
FTW nach V2-95	Würfel	cm³/cm²	-	0,033
	Waschbeton	cm³/cm²	0,023	0,026

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

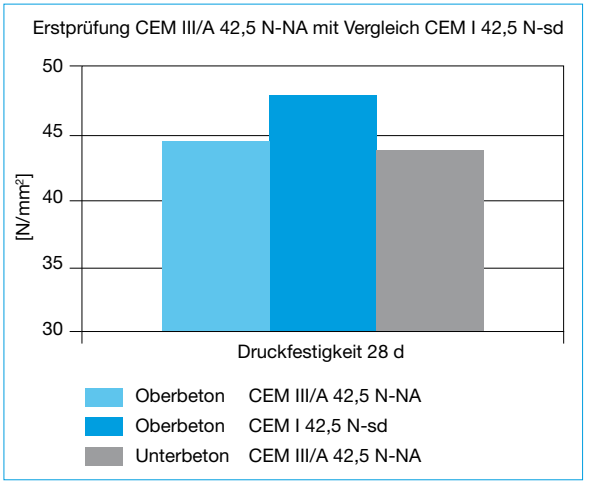

Bild 2: Betondruckfestigkeit

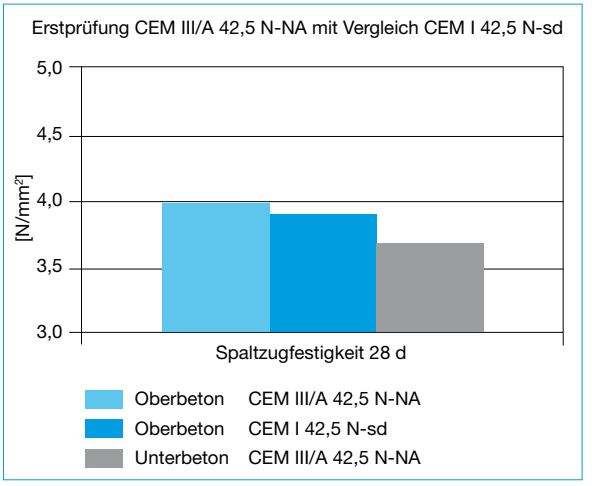

Bild 3: Spaltzugfestigkeit

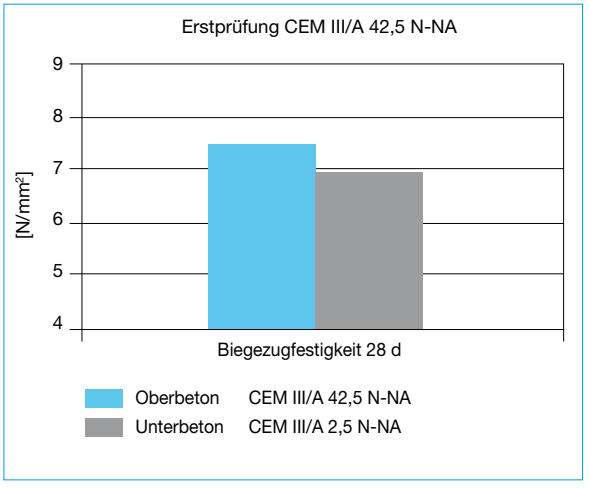

Bild 4: Biegezugfestigkeit

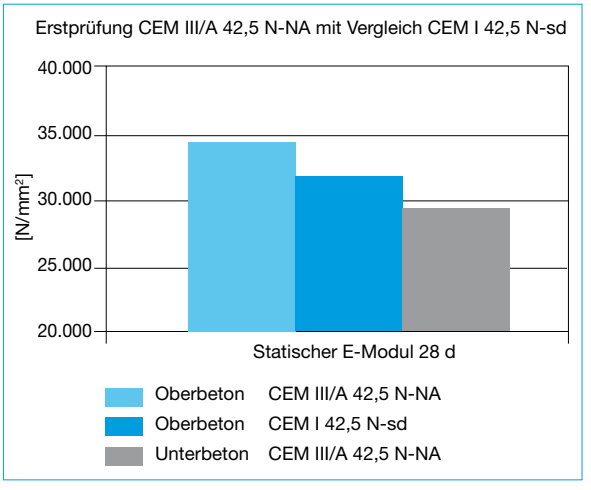

Bild 5: Statischer E-Modul

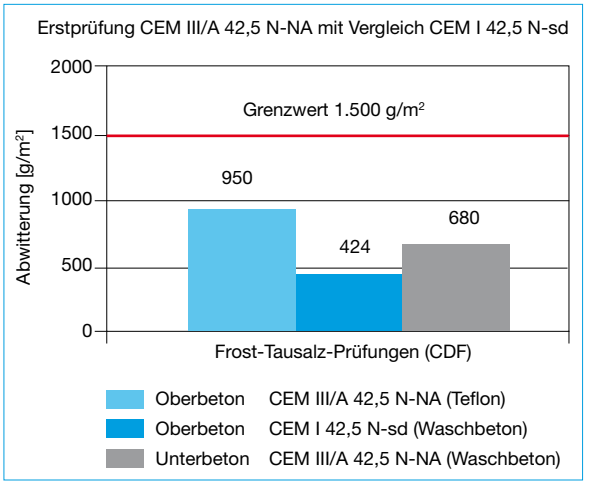

Bild 6: Prüfung Frost-Tausalz-Widerstand (nach CDF-Verfahren)

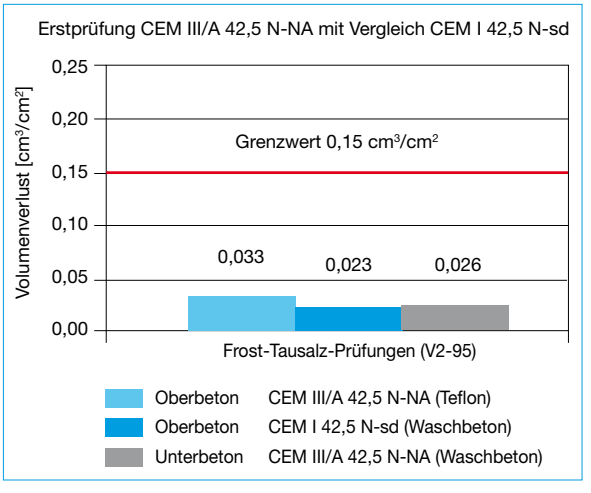

Bild 7: Prüfung Frost-Tausalz-Widerstand (V2-95)

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

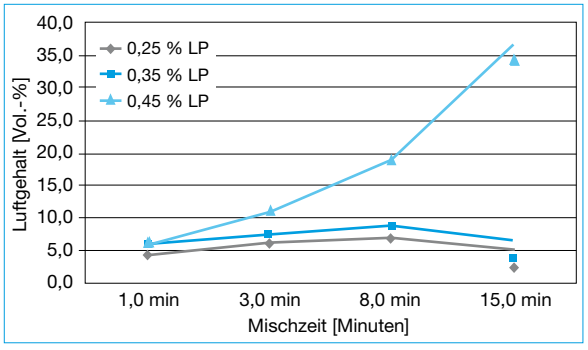

Bild 8: Entwicklung des Luftgehalts bei Erhöhung der Mischzeit

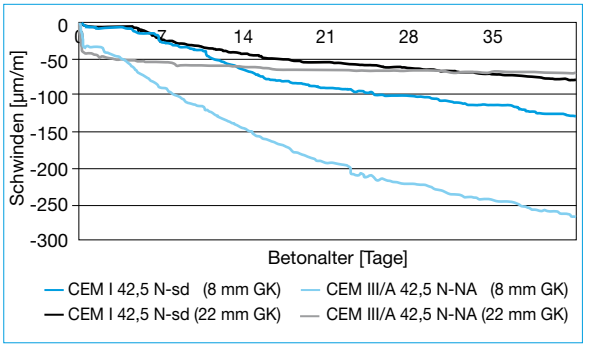

Bild 9: Schwindmessungen am Unterbeton (22 mm GK) und Waschbeton (8 mm GK) der B6n

3.3.2 Bestimmung der LP-Kennwerte nach DIN EN 480-11 am Festbeton

Die Luftporenkennwerte am Festbeton nach DIN EN 480-11 sind in **Tafel 7** zu erkennen. Laut „Merkblatt für LP-Beton" sind die Anforderungen im Rahmen der Erstprüfung erfüllt.

Um ein Fehlverhalten beim Mischvorgang zu vermeiden, wurde die Entwicklung des Luftgehalts bei Erhöhung der Mischzeit überprüft. Erkennbar ist der überproportional ansteigende Luftgehalt ab einer bestimmten Zugabemenge des LP-Bildners in Abhängigkeit von der Mischzeit (**Bild 8**).

3.3.3 Schwindmessungen am Unterbeton (GK 22 mm) und Oberbeton (GK 8 mm)

Die Schwindmessungen bestätigen die Theorie, dass hüttensandhaltige Zemente ein geringeres Schwindverhalten als CEM I-Zemente aufweisen. Das starke Schwinden des Unterbetons mit CEM I hängt vermutlich mit den unterschiedlichen Schwindrinnen zusammen (für 22 mm GK 100 mm breite Rinne und für 8 mm GK 50 mm breite Schwindrinne). Um eine umfassende Aussage zu treffen, müsste der Versuch wiederholt werden (**Bild 9**).

Für die Erstprüfung kann festgestellt werden, dass alle Ergebnisse im positiven Bereich liegen und in der Praxis bestätigt werden müssen.

4 Herstellung der Erprobungsstrecke mit CEM III/A

Die beiden Richtungsfahrbahnen mit ca. 800 bzw. 1.100 m Länge wurden an zwei Tagen in Tag- und Nachtschicht betoniert (**Bild 10**).

Unter- und Oberbeton wurden wie üblich mit Gleitschalungsfertiger mit Quer-/Längsglätter hergestellt. Zeitnah wurde das Kombinationsmittel, bestehend aus Verzögerer und Nachbehandlungsmittel, aufgesprüht. Das Ausbürsten erfolgte nach einem Zeitraum von 14 bis 18 Stunden (**Bild 11**) mit nachfolgendem Schneiden der Quer- und später der Längsfugen.

Dabei wurde festgestellt, dass das Ausbürsten durch die geringere Frühfestigkeit des Betons in Verbindung mit den klimatischen Bedingungen im Herbst erst später beginnen konnte. Die Ausführenden müssen sich bei ungünstigen Witterungsbedingungen (geringe Nachttemperaturen) auf einen größeren zeitlichen Aufwand für die Oberflächenstrukturierung einstellen. Des Weiteren sind beim Befahren der Oberfläche frühzeitige Lenkbewegungen, die zum Ausbrechen der Splittkörner führen können, zu vermeiden. Felder, die durch Nacharbeit etwas mehr Mörtel an der Oberfläche aufweisen, zeigten nach dem Ausbürsten eine unterschiedliche

Tafel 7: Luftporenkennwerte

		Grenzwerte Erstprüfung	CEM I 42,5N-sd	CEM III/A 42,5 N-NA
Mikroluftporengehalt (A_{300})	%	≥ 1,8	3,08	3,16
Abstandsfaktor (L)	mm	≤ 0,20	0,12	0,12

Bild 10: Betonieren der Fahrbahnen

Bild 11: Fertige Waschbetonoberfläche

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

Struktur. Diese Tatsache ist auch bei Betonen mit CEM I-Zementen festzustellen. Im ersten Bauabschnitt führte das frühzeitige Schneiden der Fugen zum teilweisen Ausplatzen der Fugenränder, was jedoch nach Herstellen der Fugenfase kaum noch sichtbar war.

Im weiteren Verlauf konnte durch späteres Schneiden ein gutes Fugenbild erzielt werden. Der optische Gesamteindruck der Betonoberfläche kann als gut bezeichnet werden.

5 Ergebnisse der Baustellenprüfungen am Frisch- und Festbeton mit CEM III/A 42,5 N-NA

5.1 Temperaturerfassung an verschiedenen Stellen

Bild 12 zeigt die Messvorrichtung zur Erfassung des Temperaturverlaufs im Beton. Der Temperaturverlauf am 12. Oktober 2007 ist **Bild 13** zu entnehmen. Der Temperaturverlauf zeigt das moderate Verhalten eines CEM III/A- Zements, das besonders im Sommer von Vorteil ist.

5.2 Verarbeitbarkeit und w/z-Wert

Verarbeitbarkeit und w/z-Wert von Ober- und Unterbeton sind **Tafel 8** zu entnehmen.

5.3 Luftgehalt und Textur

Tafel 9 zeigt die Luftgehalte sowie die Messwerte für die Textur von Ober- und Unterbeton als Mittel aus allen Messungen von allen Beteiligten. Alle gemessenen Werte entsprechen den Grenzwerten für die Luftgehalte sowie dem Grenzwert für die Textur des Oberbetons, beide nach ZTV Beton-StB 07.

5.4 Frischbeton-Luftporengehalt (AVA-Messung)

Als Anhalt für den Luftporengehalt im Festbeton kann die Messung des Luftporengehalts im Frischbeton mit dem AVA-Gerät dienen, mit dem man die Verteilung der Mikroluftporen, die für den Frost-Tausalz-Widerstand maßgebend sind, sofort erkennen kann.

Den Luftporengehalt für den Portlandzement CEM I 42,5 N-sd zeigen **Tafel 10** sowie die **Bilder 14** und **15**. Den Luftporengehalt für CEM III/A 42,5 N-NA zeigen **Tafel 11** und die **Bilder 16** bis **18**. Gemessen wurde auf der Baustelle, das Betonalter betrug 75 Minuten.

5.5 Festbetonprüfungen (Würfel und Balken)

Die Ergebnisse der Festbetonprüfungen an Würfel und Balken sind

Bild 12: Messeinrichtung zur Temperaturverlaufserfassung

Tafel 9: Luftgehalt und Textur

	CEM III/A 42,5 N-NA		
	Unterbeton	Oberbeton	Textur
	[Vol. -%]	[Vol. -%]	[mm]
Mittelwert	4,7	5,8	0,83 - 1,10
Stand.-abw.	0,4	0,5	-
Min-Wert	3,8	4,3	0,71 - 0, 86
Max-Wert	5,2	6,4	0,96 - 1,30
Anzahl	10	24	27

Tafel 8: Verarbeitbarkeit und w/z-Wert

	Oberbeton		Unterbeton	
	Verdichtungsmaß	w/z-Wert	Verdichtungsmaß	w/z-Wert
Mittelwert	1,36	0,44	1,41	0,44
Stand.-abw.	0,05	0,03	0,05	0,02
Min.-Wert	1,24	0,37	1,32	0,41
Max.-Wert	1,44	0,49	1,50	0,47

Tafel 10: Beton mit CEM I 42,5 N-sd

		Grenzwert	nach 10 min	nach 90 min
Abstandsfaktor (L)	mm	≤ 0,24	0,090	0,131
Mikroluftporengehalt (A_{300}) AVA	%	≥ 1,5	4,6	3,3
Gesamtluftgehalt AVA	%	-	6,0	5,4

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

Tafel 11: Beton mit CEM III/A 42,5 N-NA

		Grenzwert (Baustelle)	1. Tag	2. Tag	3. Tag
Luftgehalt (LP-Topf)	Vol.-%	≥ 5,0	6,1	5,4	5,3
Abstandsfaktor (AVA)	mm	≤ 0,24	0,165	0,158	0,128
Mikroluftporengehalt (A_{300}) (AVA)	%	≥ 1,5	3,4	2,8	3,0
Gesamtluftporengehalt (AVA)	%	-	5,6	4,0	4,5

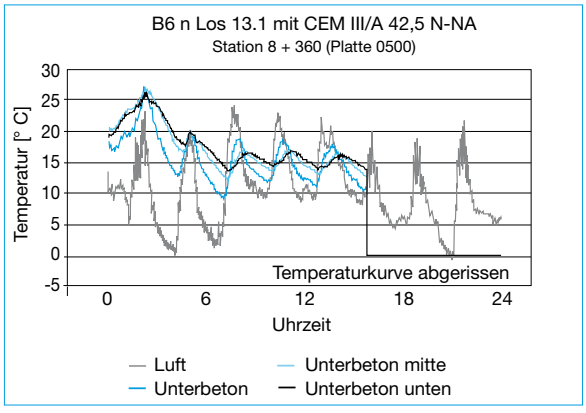

Bild 13: Temperaturverlauf im Fahrbahndeckenbeton über den 12. Oktober 2007

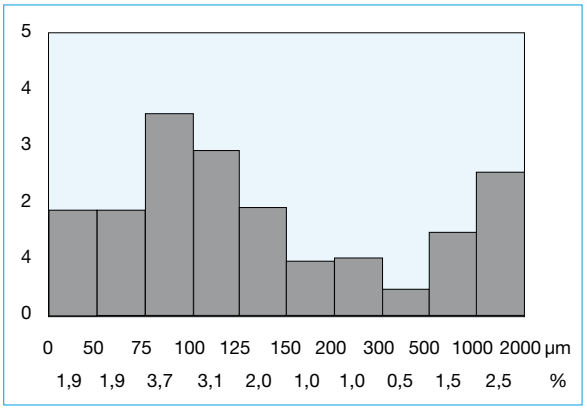

Bild 14: Luftporengehalt nach 10 min, gemessen im Zementleim (CEM I 42,5 N-sd, AVA)

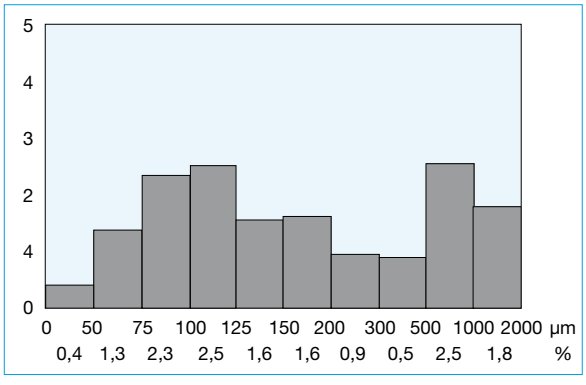

Bild 15: Luftporengehalt nach 90 min, gemessen im Zementleim (CEM I 42,5 N-sd, AVA)

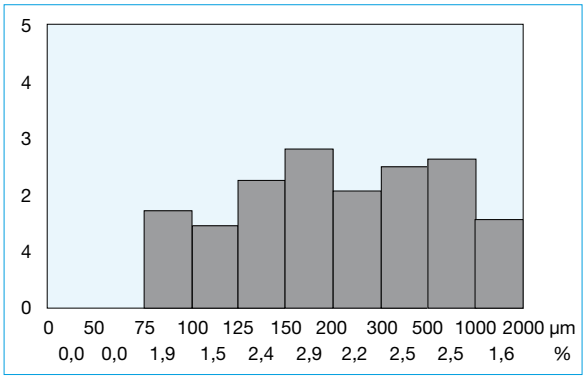

Bild 16: Luftporengehalt am 1. Betoniertag, gemessen im Zementleim (CEM III/A 42,5 N-NA, AVA)

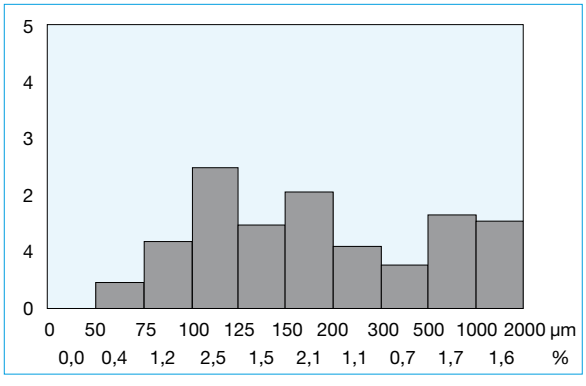

Bild 17: Luftporengehalt am 2. Betoniertag, gemessen im Zementleim (CEM III/A 42,5 N-NA, AVA)

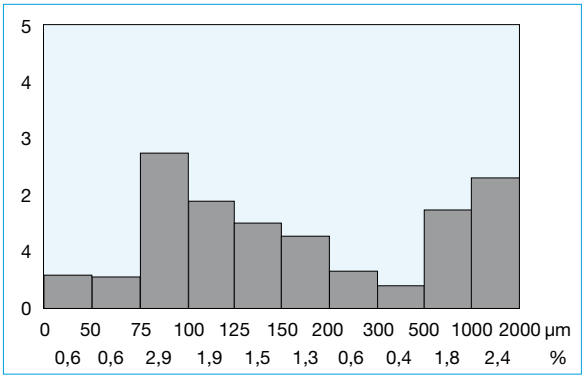

Bild 18: Luftporengehalt am 3. Betoniertag, gemessen im Zementleim (CEM III/A 42,5 N-NA, AVA)

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

den **Bildern 19** und **20** zu entnehmen.

5.6 Frost-Tausalz-Widerstand

Der Frost-Tausalz-Widerstand wurde an Waschbeton-Bohrkernen geprüft. **Bilder 21** und **22** zeigen die Ergebnisse der CDF-Prüfung, **Bild 23** die Prüfergebnisse nach Verfügung V2-95.

5.7 Griffigkeits- und Lärmmessungen

Die hergestellte Betonfahrbahndecke kommt voraussichtlich erst 2010 unter Verkehr. Griffigkeits- und Lärmmessungen werden erst nach Verkehrsfreigabe durchgeführt.

6 Ausgewählte Ergebnisse aus Kontrollprüfungen

6.1 Schichtdicken

Die mittleren Schichtdicken des Oberbetons liegen auf der B6n im BA 13.1 (2,8 km) mit 69 mm (**Bild 24**) im Bereich der ausgeschriebenen Schichtdicke von 70 mm. Der Mindestwert der ZTV Beton-StB 01 von 40 mm wurde nicht unterschritten. Unterschiede in den Schichtdicken in Abhängigkeit von der Zementart zwischen CEM I und CEM III/A waren erwartungsgemäß nicht feststellbar.

Die **Gesamtschichtdicke** des Fahrbahnbetons beträgt im Mittel 286 mm bei einem Soll von 270 mm (**Bild 25**). Der Mindestwert wurde im Rahmen der zulässigen Toleranzen generell eingehalten.

6.2 Betondruckfestigkeit

Die an den Bohrkernen im Rahmen der Kontrollprüfungen ermittelten

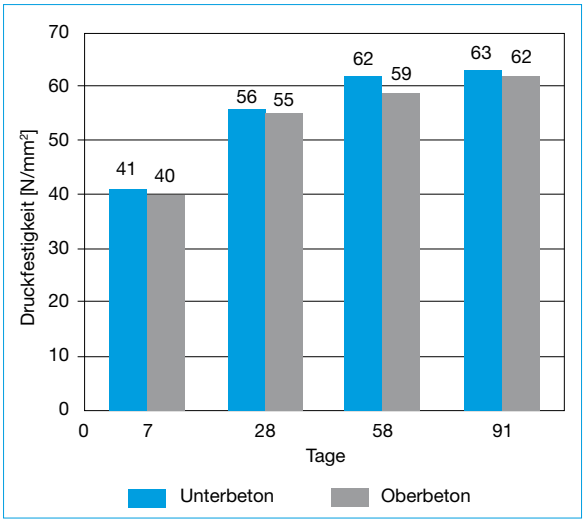

Bild 19: Druckfestigkeit B6n Los 13.1 mit CEM III/A 42,5 N-NA

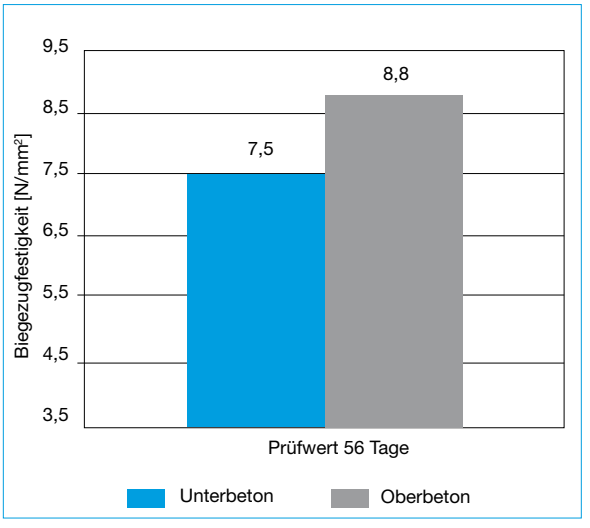

Bild 20: Biegezugfestigkeit B6n Los 13.1 mit CEM III/A 42,5 N-NA

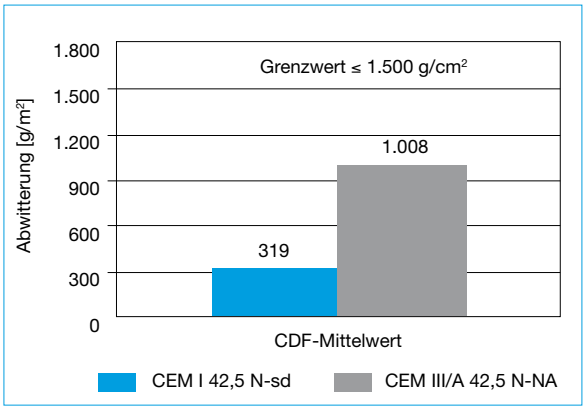

Bild 21: CDF-Prüfung (Waschbeton), CDF-Mittelwert

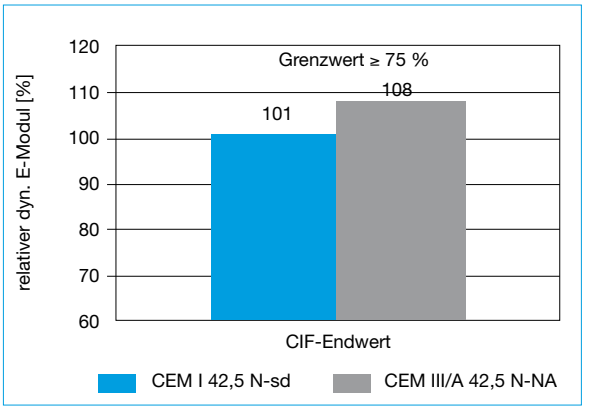

Bild 22: CIF-Prüfung (Waschbeton), CIF-Endwert

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

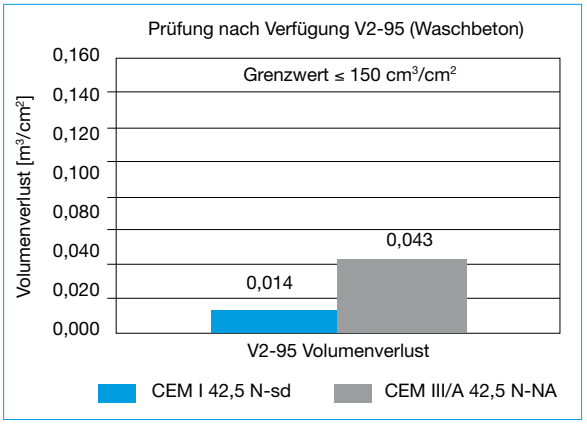

Bild 23: Prüfung nach Verfügung V2-95 (Waschbeton), V2-95 Volumenverlust

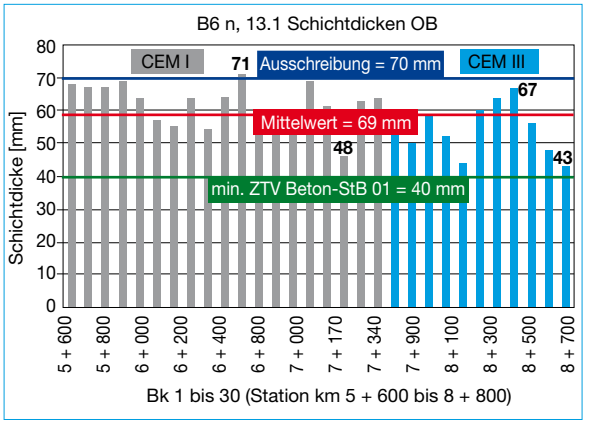

Bild 24: Schichtdicken des Oberbetons

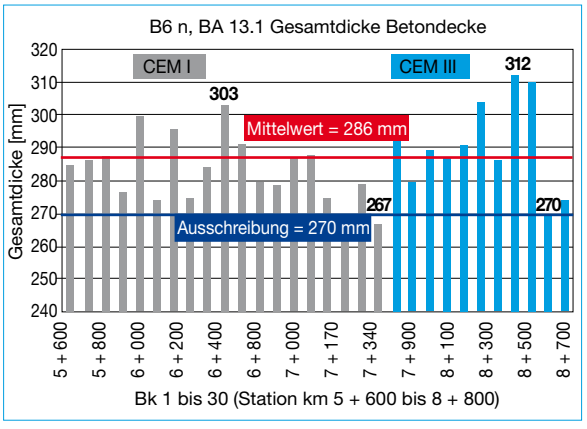

Bild 25: Gesamtschichtdicke des Oberbetons

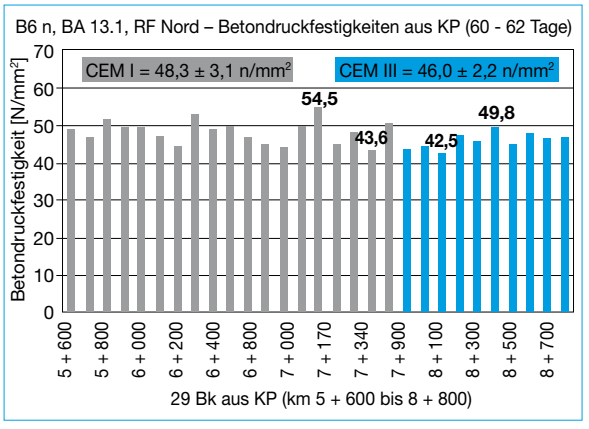

Bild 26: Betondruckfestigkeiten

Betondruckfestigkeiten lagen bei einem Prüfalter von 60 bis 62 Tagen in der gleichen Größenordnung. Sie betrugen beim CEM I 48,3 ± 3,1 N/mm² und beim CEM III/A 46,0 ± 2,2 N/mm², siehe **Bild 26**.

7 Zusammenfassung (Kernaussagen)

Für den Bau von Betonfahrbahndecken mit Portlandhüttenzement CEM II-S bzw. Hochofenzement CEM III/A sollten folgende Grundsätze bei der Bauausführung beachtet bzw. künftig erprobt werden:

- Oberflächentexturierung mit Waschbetonbauweise gemäß ZTV Beton-StB 07
- Die Eigenschaften der Zemente sind den Anforderungen des Betonstraßenbaus anzupassen, insbesondere die Feinheit (Verhinderung des Blutens), die Frühfestigkeit (ausschließlich Festigkeitsklasse 42,5 N oder 42,5 R), der Wasseranspruch (nicht zu hoch, da sonst viel FM erforderlich) und der Hüttensandgehalt (zwischen 36 M.-% und 50 M.-% für CEM III/A) sind zu optimieren.
- Bei einem ordnungsgemäßen, sofortigen Aufbringen des Oberflächenverzögerers nach dem Glätten und einer weiteren Nachbehandlung mit einem flüssigen Nachbehandlungsmittels unmittelbar nach dem Ausbürsten ist davon auszugehen, dass der Beton während des kritischen Zeitpunkts für das Austrocknen der Randzone zwischen 10 und 48 Stunden abgedeckt wird und somit das Austrocknen der Randzone des Betons verhindert wird.
- Erste Ergebnisse haben gezeigt, dass Waschbetone mit CEM II-S- und CEM III/A-Zement etwas höhere Abwitterungen entstehen lassen. Sie weisen jedoch in Laborergebnissen einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand auf. Für die Zukunft gilt es, durch weitere Praxisbeispiele diesen Sachverhalt zu untermauern.
- Bei Einsatz von CEM II-S- und CEM III/A-Zement ist ein erhöhter LP-Bildner-Bedarf zu verzeich-

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.

nen. Um erhöhte Luftgehalte zu verhindern, sollte im Rahmen der Erstprüfung die Abhängigkeit von Mischdauer und Dosiermenge ermittelt werden.

- Beton mit CEM II-S- und insbesondere mit CEM III/A-Zement anstatt von CEM I-Zement weist eine geringere Schwindneigung und eine geringere Hydratationswärmeentwicklung auf. Hierdurch wird die Gefahr einer „wilden" Rissbildung verringert. Dieser Vorteil wird sich besonders beim Betonieren bei hohen Temperaturen zeigen. Das sollte an weiteren Objekten nachgewiesen werden.

- Der Zeitpunkt des Ausbürstens und des Schneidens hat sich zeitlich nach hinten verschoben, wobei die Kombination Oberflächenverzögerer und Zement weiter optimiert werden sollte. Um den etwas „weicheren Waschbeton" mit einem hohen Anteil an gebrochener Gesteinskörnung (Splitt 2/8 mm) scharfkantig schneiden zu können, sind Versuche mit anders gehärteten Schneidmaterialien durchzuführen oder der optimale Zeitpunkt infolge veränderter Hydratationswärmeentwicklung und Schwindneigung genauer zu bestimmen.

- Die Herstellung der Fahrbahndecke mit Waschbetonoberfläche unter Verwendung von Hochofenzement CEM III/A 42,5 N-NA hat gezeigt, dass alle betontechnologischen Kennwerte entsprechend ZTV Beton-StB 07 (LP-Gehalt, Schichtdicke, Druckfestigkeit, Rautiefe) eingehalten wurden. Die geforderten Eigenschaften für die Dauerhaftigkeit (z.B. Frost-Tausalz-Widerstand) wurden in Laborversuchen erfolgreich nachgewiesen. Langzeiterfahrungen unter Betriebsbedingungen liegen noch nicht vor. Hierzu wird die Erprobungsstrecke weiterhin beobachtet.

- Da gegenwärtig hinsichtlich Texturtiefenmessung zu wenig Werte aus der Erprobungsstrecke vorliegen, können zurzeit noch keine fundierten Aussagen getroffen werden. Das betrifft ebenso die Griffigkeits- und Lärmmessungen.

Zusammenfassend kann aus den ermittelten Ergebnissen festgestellt werden, dass für die Herstellung von Fahrbahndecken aus Beton – insbesondere für die Waschbetonbauweise – neben den bisher verwendeten CEM I-Zementen auch hüttensandhaltige CEM II-S- und CEM III/A-Zemente geeignet sind.

Unabhängig von der verwendeten Zementart zeigte sich, dass die Herstellung des Waschbetons gegenüber den anderen Oberflächentexturierungen arbeitsaufwendiger ist und sensibler auf Abweichungen vom Betonierkonzept reagiert. Bereits kleinste Veränderungen in den Ausgangsstoffen, den Herstellungsbedingungen sowie den Witterungseinflüssen können sich negativ auf das Endprodukt auswirken. Auf diese erhöhten Qualitätsanforderungen müssen sich alle am Bau Beteiligten einstellen. Nur durch ein gut aufeinander eingespieltes Team an der Mischanlage und am Fertiger (guter Deckenschluss, gleichmäßiges Aufbringen des Kombinationsmittels, geringe Standzeiten), für die Oberflächentexturierung (Ausbürsten) und das Fugenschneiden kann eine qualitativ hochwertige und dauerhafte Waschbetonoberfläche hergestellt werden.

Um Erfahrungen in der Waschbetonbauweise auszubauen, sollten weitere Objekte mit hüttensandhaltigen Zementen realisiert werden. Dabei muss eine intensive Beratung, Betreuung und messtechnische Begleitung erfolgen.

8 Literatur

[1] CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau – Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton, Hrsg.: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf 2008

Bild 27: Mörtelwalze im Gleitschalungsfertiger

Bauschild

Beton-Fahrbahndeckenhersteller	Niederlassung Eurovia Beton GmbH, Michendorf
Oberflächenbearbeitung und Fugenschnitt	Otto-Alte-Teigeler, Bietigheim
Zementhersteller	Schwenk Zement KG, Bernburg
Zusatzmittelhersteller	Sika Addiment GmbH, Leimen
AKR-Gutachen	WTI-Unterwellenborn, Dr. Phillipp

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags sind untersagt.