

# Innovation im Autobahnbau – Fahrbahndecke mit Hochofenzement CEM III/A 42,5 N

Von Peter Bilgeri, Dortmund, Andreas Fuchs, Passau, und  
Reiner Henneken, Hamm

## 1 Einleitung

Traditionell werden in nahezu allen Bereichen des Verkehrsbaus, insbesondere im Verkehrswegebau, in Deutschland Betone mit Portlandzement CEM I eingesetzt; dies gilt vor allem für Betonfahrbahndecken. Portlandhüttenzement CEM II-S und Hochofenzement CEM III konnten sich bis heute nicht durchsetzen, obwohl die Dauerhaftigkeit der über 50 Jahre alten Fahrbahndecken mit Portlandhüttenzement (damals Eisenportlandzement EPZ) in Untersuchungen bestätigt wurde [1]. Ein häufig vorgebrachtes Argument gegen die Verwendung dieser Zemente sind fehlende Referenzstrecken. Der Ausführung von Betonfahrbahndecken mit CEM II-S oder CEM III wurde in Deutschland aber bisher seitens des Bauherrn und/oder des Bauausführenden nur selten zugestimmt.

Betonfahrbahndecken mit Portlandzement haben sich seit Jahrzehnten bewährt. Dennoch muss alles getan werden, um den multifunktionalen Baustoff Beton für Fahrbahndecken weiter zu optimieren. Es gilt, Innovationen voranzutreiben.

Aus einem Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) geht hervor, dass im Jahr 2002 auf Deutschlands Autobahnen bei 18 Baumaßnahmen Portlandzement für den Bau der Fahrbahndecke verwendet wur-

de, Portlandhüttenzement bei drei und Hochofenzement nur bei einer Baumaßnahme – der nachfolgend beschriebenen [2]. Daher ist die Entscheidung des Auftraggebers Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Niederlassung Hamm, und der bauausführenden ARGE, Hochofenzement für den Bau der Betonfahrbahn einzusetzen, als Innovationsschub anzusehen.

## 2 Projektbeschreibung

Die BAB A44 Dortmund-Kassel ist eine der bedeutendsten West-Ost-Verbindungen im deutschen Autobahnnetz. Durch den seit der Wiedervereinigung sprunghaft angestiegenen Verkehr und die dadurch bedingte hohe Verkehrsbelastung wurde eine Deckenerneuerung in Teilbereichen erforderlich. Im Jahr 2000 betrug im zu erneuernden Streckenabschnitt die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) aller Kraftfahrzeuge 70.970 mit einem Schwerlastverkehrsanteil (DTV<sup>(SV)</sup>) von 10.973 Fahrzeugen.

Ein rund 7 km langer Abschnitt östlich von Dortmund zwischen dem Autobahnkreuz Unna/Ost und dem Autobahnkreuz Werl (in Fahrtrichtung Kassel) wurde in gesamter Fahrbahnbreite in Betonbauweise (Tiefenbau/Bauklasse SV) hergestellt. Des Weiteren sind die Fahrbahnbeläge der in diesem Abschnitt befindlichen Brücken erneuert worden.

Ausgeschrieben war die Aufnahme und der Aufbruch der 30 Jahre alten Betonfahrbahndecke sowie die Aufnahme der darunter befindlichen Schottertragschicht in einer Dicke von 5 cm. Der Betonaufbruch sollte recycelt im Unterbeton der neuen Fahrbahndecke wiederverwendet werden, der Oberbeton war aus Neumaterial herzustellen.

Gemäß Ausschreibung war bei dieser Baumaßnahme die Betonfahrbahndecke in einer Dicke von 30 cm (22 cm Unterbeton und 8 cm Oberbeton) auf einer ebenfalls neu aufzubringenden 10 cm dicken Schottertragschicht aus gebrochenem Naturgestein 0/32 auszuführen.

## 3 Ausgangsstoffe

### 3.1 Zement

Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl des CEM III/A 42,5 N war die aus vielen Bereichen des Betonbaus bekannte gute Verarbeitbarkeit des Betons auch bei hochsommerlichen Temperaturen. Außerdem bewirkt die von der Farbe des Hochofenzements bestimmte Helligkeit des Oberflächenmörtels für den Autobahnnutzer ein hohes Maß an Verkehrssicherheit und Fahrkomfort (Bild 1).



Bild 1: Die helle Fahrbahnoberfläche erhöht die Verkehrssicherheit.

Weitblickend könnte man die Entscheidung für den Einsatz eines CEM III/A 42,5 N auch nennen vor dem Hintergrund, dass in jüngster Zeit an einigen Autobahnlosen Schäden aufgetreten sind, bei denen eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) nicht ausgeschlossen werden kann. Ursache dafür könnte die erhebliche Alkalizufuhr von außen durch Auftaumittel (z.B. Natriumchlorid) sein – verstärkt durch die seit einigen Jahren übliche präventive Behandlung der Fahrbahnen mit auftauenden Stoffen –, wodurch der wirksame Alkaligehalt wesentlich vergrößert wird. Die VDZ-Kommission „Alkali-Zuschlag-Reaktion“ hat in einem Bündel von Maßnahmen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Betonstraßendecken u.a. vorgeschlagen, die zulässigen Alkaligehalte von Fahrbahndeckenzementen abzusenken [3]. Um das Risiko einer schädigenden AKR zu minimieren, wird in einem Rundschreiben des VDZ außerdem die Verwendung hüttensandhaltiger Zemente für Fahrbahndecken empfohlen [4]; sie weisen einen niedrigeren wirksamen Alkaligehalt im Vergleich zu üblichen Fahrbahndeckenzementen CEM I 32,5 R auf.

Wichtige Kennwerte des bei der Deckenerneuerung BAB A44 verwendeten Zements sind in **Tafel 1** aufgeführt. Insgesamt zeugen die sehr geringen Standardabweichungen der jeweiligen Zementkennwerte von einer hohen Gleichmäßigkeit der Zementeigenschaften.

### 3.2 Gesteinskörnungen

Für den Unterbeton der neuen Fahrbahndecke wurde die 30 Jahre alte Fahrbahndecke in einer in der Nähe der Baustelle platzierten Recyclinganlage aufbereitet. Grundlagen für die Wiederverwendung alter Betondecken sind Gesetzesvorschriften und Verordnungen sowie einschlägige DIN-Vorschriften (DIN 18299); außerdem müssen die aufbereiteten Recycling-Gesteinskörnungen > 2 mm den Anforderungen des FGSV-Merkblatts zur Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken entsprechen.

Voraussetzung für die erfolgreiche Verwendung von Recycling-Betonsplitt sind gute Kenntnisse der dafür speziellen Betontechnologie sowie ausreichende Erfahrungen beim Einbau von Recycling-Beton. Mit

den Besonderheiten von recycelten Gesteinskörnungen konnte die ausführende Firma bereits bei vorangegangenen Bauvorhaben wichtige Erfahrungen sammeln. So wurden vor Beginn der Aufbereitung die Fraktionen und die jeweiligen Mengen abgesprochen, um während der Bauausführung genügend Recycling-Material in der erforderlichen Qualität zur Verfügung zu haben. Aus qualitativen Gründen wurde entschieden, im Unterbeton die Korngruppen 8/16 mm und 16/32 mm des Aufbruchmaterials der BAB A44 zu verwenden.

Als Gesteinskörnungen für die Herstellung des Oberbetons wurden Sand 0/2 mm vom Niederrhein, Kalksteinsplitt 2/8 mm und 8/16 mm, sowie Diabas Edelsplitt 16/22 mm aus dem Sauerland verwendet.

### 3.3 Betonzusatzmittel

Im Unterbeton wurde ein LP-Konzentrat eingesetzt, das auch im Oberbeton zusammen mit einem Betonverflüssiger verwendet wurde, eine im Betonstraßenbau vielfach bewährte Zusatzmittel-Kombination.

Tafel 1: Kennwerte des Hochofenzements CEM III/A 42,5 N (Lieferzeitraum Juli/August 2002)

Zementeigenschaft		Eigenüberwachung CEM III/A 42,5 N		Kontroll- prüfung BAST <sup>1)</sup>	Anforderung DIN EN 197-1	Baubeschreibung gemäß Anforderung HVA B - Stb <sup>2)</sup>
		MW	s			
Wasseranspruch	M.-%	30,5	0,5	29,0	–	–
Erstarrungsbeginn	min	221	8	185	≥ 60	≥ 120
spezifische Oberfläche (Blaine)	cm <sup>2</sup> /g	4.068	89	3.870	–	gemäß DIN EN 197-1
Na <sub>2</sub> O-Äquivalent	M.-%	0,77	0,02	0,66	–	
Hüttensandgehalt	M.-%	47	–	–	36 - 65	
Zementtemperatur	°C	51	–	–	–	
Druckfestigkeit nach						
2 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	19	0,6	–	≥ 10	
7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	34	0,7	37	–	
28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	57	0,9	58	42,5 – 62,5	
56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	65	–	–	–	

<sup>1)</sup> Prüfergebnisse der BAST-Probe vom 18.07.2002 [2]

<sup>2)</sup> Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau

## 4 Maßnahmen und Dienstleistungen des Zementlieferanten

### 4.1 Erweiterte Qualitätssicherung

Zur Steuerung einer gleichmäßig hohen Produktqualität werden die Kenndaten des Zements aus den unterschiedlichen Laborbereichen zusätzlich durch Ergebnisse regelmäßiger Betonprüfungen durch den Zementhersteller maßgeblich gestützt. Neben den in jedem Zementwerk üblichen umfangreichen Eigenüberwachungsprüfungen des Zements werden Betonregelprüfungen durchgeführt. Dadurch können z.B. Veränderungen der Verarbeitungseigenschaften des Zements schnell erkannt und kurzfristig Korrekturmaßnahmen veranlasst werden. Dieses Qualitätssicherungssystem – bestehend aus werkseigener Produktionskontrolle der Zemente und Betonregelprüfungen – wird durchgeführt, um dem Anwender weitgehend gleich bleibende Gebrauchseigenschaften zu bieten. Die Ergebnisse der Betonregelprüfungen 2002 mit dem für obige Baumaßnahme verwendeten CEM III/A 42,5 N sind in **Tafel 2** aufgeführt.

### 4.2 Projektbezogene Maßnahmen und Dienstleistungen

Das mit der Lieferung beauftragte Zementwerk beantragte für den CEM III/A 42,5 N beim Fremdüberwacher (Verein Deutscher Zementwerke) die Durchführung der erforderlichen Zusatzprüfungen für Fahrbahndeckenzement. Zusätzliche Zementprüfungen wurden ebenfalls in die werkseigene Produktionskontrolle integriert.

Für die Baumaßnahme lieferte das Zementwerk rund 9.300 t Hochofenzement CEM III/A 42,5 N mit einem Spitzenversand von 1.200 t

Tafel 2: Ergebnisse der Beton-Regelprüfungen mit CEM III/A 42,5 N

Beton C 30/37, F3, GK 32 mm, z = 320 kg/m <sup>3</sup> , w/z = 0,54			
Eigenschaften		MW	s
Ausbreitmaß nach	10 Minuten	mm	470
	45 Minuten	mm	430
Frischbetonrohddichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,35	0,01
Druckfestigkeit im Alter von	2 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	18
	7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	28
	28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	43
	56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	49
	90 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	52

am 12. Juli 2002. Um diese Mengen neben dem üblichen Tagesversand bereitstellen zu können, wurde ein zusätzliches Versandsilo mit einem Fassungsvermögen von 2.000 t mit diesem Zement befüllt. Außerdem war eine von insgesamt vier Verladestraßen für diese Baumaßnahme reserviert. So konnte der Fahrbahndeckenzement reibungslos und ohne Verzögerungen ausgeliefert werden. Bemerkenswert ist auch, dass die Zementtemperatur bei Auslieferung 60 °C nie überschritten hat (**Bild 2**).

Bereits vor Durchführung der Eignungsprüfungen hatte die Anwendungstechnik des Zementherstellers mit dem ausführenden Unternehmen Kontakt aufgenommen und

ihre Unterstützung im Rahmen der Qualitätssicherung beim Bau der Fahrbahndecke angeboten. Um auch für den zukünftigen Einsatz von CEM III/A 42,5 N im Fahrbahndeckenbau Erfahrungen zu sammeln, wurde eine umfassende und ausführliche Dokumentation der Zement- und Betoneigenschaften sowie der Randbedingungen des Betoneinbaus und die anschließende Beobachtung der Strecke während der Nutzung vereinbart.

## 5 Eignungsprüfungen

Die Eignungsprüfungen wurden im Labor des Betonherstellers durchgeführt; aufgrund allseitigen Interesses an der im Fahrbahndecken-

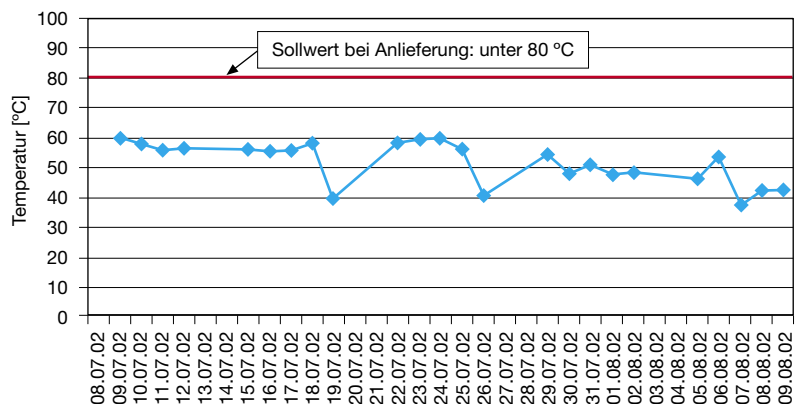


Bild 2: Zementtemperatur während des Lieferzeitraums

Tafel 3: Zusammensetzung der Fahrbahndeckenbetone

		Oberbeton		Unterbeton
Betonfestigkeitsklasse besondere Eigenschaften		B 35 hoher Widerstand gegen sehr starken Frost-Tausalzangriff		B 35 hoher Widerstand gegen sehr starken Frost-Tausalzangriff
Zementart und Festigkeitsklasse		CEM III/A 42,5 N		CEM III/A 42,5 N
Zementgehalt z	kg/m <sup>3</sup>	340		340
Wassergehalt w/z-Wert	kg/m <sup>3</sup>	146 0,43		146 0,43
Gesteinskörnung				
Rheinsand 0/2a	kg/m <sup>3</sup>	554		523
Kalkstein-Splitt 2/8	kg/m <sup>3</sup>	301		96
Kalkstein-Splitt 8/16	kg/m <sup>3</sup>	353		–
RC-Betonsplitt 8/16	kg/m <sup>3</sup>	–		495
Diabas-Edelsplitt 16/22	kg/m <sup>3</sup>	686		–
RC-Betonsplitt 16/32	kg/m <sup>3</sup>	–		733
Gesamtgehalt	kg/m <sup>3</sup>	1.894		1.847
Mehlkorngehalt	kg/m <sup>3</sup>	345		344
Mehlkorn- und Feinstsandgehalt	kg/m <sup>3</sup>	396		393
Zusatzmittel				
Art	% von z	LP (Konzentrat),	BV	LP (Konzentrat)
Gehalt	% von z	0,07	0,35	0,14

bau erstmaligen Verwendung von CEM III/A 42,5 N waren Vertreter der Anwendungstechnik des Zementherstellers sowie des Zusatzmittellieferanten anwesend. Im Verlauf der Eignungsprüfungen zeigte sich, dass eine höhere Dosierung des Luftporenbildners erforderlich war im Vergleich zu herkömmlichen Fahrbahndeckenbetonen mit CEM I 32,5 R-st, um den benötigten Luftporengehalt sicher zu erreichen. Auffällig war die Geschmeidigkeit des Betons – charakteristisch für Betone mit Hochofenzement –, die gute Verarbeitungseigenschaften der Fahrbahndeckenbetone versprach.

Gemäß Ausschreibung war für die Betonzusammensetzung die ZTV Beton-StB 93 [5] in Verbindung mit dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 18/1998 des Bundesministers für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen maßgebend, dementsprechend wurde der dort vorgeschriebene Mindestzementgehalt von 340 kg/m<sup>3</sup> den Betonzusammensetzungen zugrunde gelegt.

Diese Regelwerke gestatten neben CEM I – in Abstimmung mit dem Auftraggeber – u.a. auch die Anwendung von Hochofenzement CEM III/A; er muss mindestens der Festigkeitsklasse 42,5 entsprechen.

Aufgrund der Eignungsprüfungsergebnisse wurden für die Fahrbahndeckenbetone die in **Tafel 3** aufgeführten Zusammensetzungen gewählt.

Aus bereits mehrjähriger Erfahrung ist bekannt, dass Betone mit Recyc-

ling-Splitten aus alten Betonfahrbahndecken gleiche Festigkeiten erreichen können wie Betone aus natürlichen Gesteinskörnungen. So war es nicht verwunderlich, dass bei den Eignungsprüfungen für den Unter- und Oberbeton nahezu dieselben Druck- und Biegezugfestigkeiten erzielt wurden (**Tafel 4**).

Ergänzend zu den Eignungsprüfungen wurde im FEhS - Institut für Baustoff-Forschung unter Verwendung der Originalausgangsstoffe der Frost- und Tausalzwidstand des

Tafel 4: Ergebnisse der Eignungsprüfung des Ober- und Unterbetons

Eigenschaft			Oberbeton	Unterbeton
Frischbeton				
Verdichtungsmaß		–	1,24	1,25
Rohdichte		kg/dm <sup>3</sup>	2,38	2,34
Luftgehalt		Vol.-%	5,2	4,4
Betontemperatur		°C	23	22
Lufttemperatur		°C	21	21
Festbeton				
Druckfestigkeit	nach 7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	38	35
	nach 28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	47	45
Biegezugfestigkeit	nach 28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	5,9	5,7

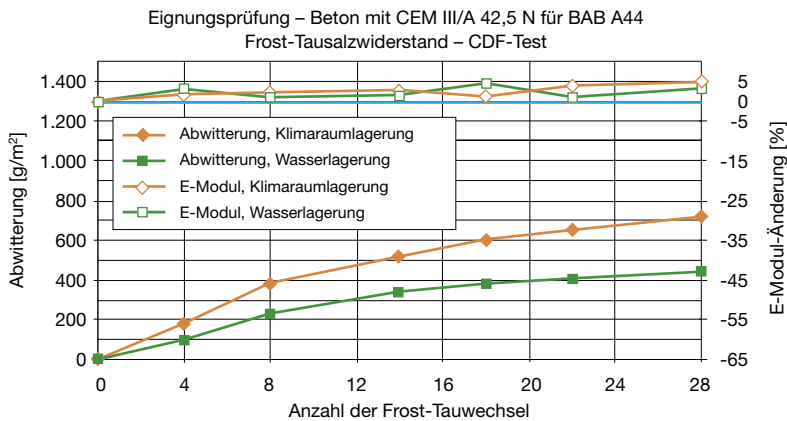


Bild 3: Frost-Tausalz widerstand des Oberbetons bei der Eignungsprüfung [7]

Oberbetons nach dem CDF-Test [6] geprüft. Die Bestimmung erfolgte zum einen exakt nach CDF-Prüfvorschrift, d.h., die Prüfkörper wurden vor Beginn der Frost-Tauwechsel 1 Tag in der Form, 6 Tage unter Wasser und anschließend bis zum 28. Tag im Klimaraum (in Bild 3 als Klimaraumlagerung gekennzeichnet) gelagert. Zum anderen wurde eine zweite Prüfreihe untersucht, deren Probekörper bis zum 28. Tag unter Wasser gelagert wurden (in Bild 3 als Wasserlagerung gekennzeichnet). Außer der abweichenden Lagerung wurden auch bei der zweiten Prüfreihe alle Bedingungen der CDF-Prüfvorschrift eingehalten. Nach der 28-tägigen

Lagerung erfolgte für beide Prüfreihe über 7 Tage das kapillare Saugen. Im Alter von 35 Tagen begannen die Frost-Tauwechsel. Zusätzlich zur Abwitterung wurde die Änderung des dynamischen Elastizitätsmoduls mittels Ultraschallmessung bestimmt, die nicht Bestandteil der CDF-Prüfung ist. Die ermittelten Abwitterungen sowie E-Moduli sind im Bild 3 dargestellt [7].

Die Abwitterungsmengen zeigen, dass der Beton unter Zugrundelegung des Abnahmekriteriums von  $1.500 \text{ g/m}^3$  einen sehr hohen Frost-Tausalz widerstand aufweist. Die Abwitterungen liegen deut-

lich unterhalb des empfohlenen Abnahmekriteriums. Erwartungsgemäß verhalten sich die wassergelagerten Probekörper aufgrund der geringeren Carbonatisierung noch etwas günstiger als die im Klimaraum gelagerten Probekörper.

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen gilt es inzwischen als gesichert, dass luftporenhaltige Betone die kritische Sättigung auch unter den extremen Bedingungen der CDF- bzw. CIF-Prüfung (Pumpeffekt) im Verlauf der vorgegebenen Prüfdauer nicht erreichen und somit auch kein Abfall des dynamischen E-Moduls zu verzeichnen ist.

## 6 Betonherstellung und -transport

Um die Fahrbahndeckenerneuerung innerhalb kürzester Zeit durchführen und die Einbaustelle mit den erforderlichen großen Mengen Beton versorgen zu können, wurden Unter- und Oberbeton baustellennah in zwei mobilen Mischanlagen hergestellt, die jeweils mit zwei Doppelwellenzwangsmischern ausgestattet waren, (Bild 4). Für den Transport der Straßenbetone in steifer Konsistenz zur etwa 20 Minuten entfernten Baustelle wurden offene Muldenfahrzeuge eingesetzt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Lastwagen nicht mit Aluminiummulden ausgestattet waren, um spätere Schäden der Fahrbahndecke infolge Wasserstoffbildung aufgrund von Aluminiumabrieb auszu-schließen [8].

## 7 Bauausführung

Die Gleitschalungstechnik ermöglicht heute eine wirtschaftliche Herstellung von Verkehrsflächen aus Beton. Für den Bau der Fahrbahndecke wurden zwei im Abstand von rd. 10 m fahrende Gleitschalungsfer-



Bild 4: Aufbruchmaterial der alten Betonfahrbahn (rechts); aufbereitete Recyclingkörnung (links); Mischanlagen für Unter- und Oberbeton (Mitte)



Bild 5: Zweischichtiger Einbau – der Unterbeton liegt vor dem Gleitschalungsfertiger, der Oberbeton wird in den Aufgabetrichter mit Förderband übergeben.



Bild 6: Bei optimaler Konsistenz und Einstellung des Fertigers schiebt der Querglätter eine gleichmäßige „Betonrolle“ vor sich her.

tiger eingesetzt. Mit dem ersten Fertiger wurde der Unterbeton 22 cm dick eingebaut und mit Flaschenrüttlern verdichtet. Dübel und Anker wurden anschließend automatisch in den verdichteten Unterbeton eingerüttelt. Der Oberbeton wurde mittels Aufgabetrichter und Förderband über den ersten Fertiger transportiert (Bild 5). Mit diesem zweiten Gleitschalungsfertiger wurde der Oberbeton 8 cm dick höhengerecht eingebaut, verdichtet und in Quer- und Längsrichtung geglättet.

Augenscheinlich auffällig war im Gegensatz zu einem üblicherweise verwendeten Portlandzement die helle Farbe des Betons sowie die hervorragende Schlämpebildung beim Verdichten des Betons. Die gleichmäßige „Betonrolle“ vor dem Querglätter ist ein Zeichen für homogene Betonqualität und richtige Einstellung des Gleitschalungsfertigers (Bild 6). Die Fahrbahndecke wies bereits unmittelbar nach dem Einbau und nach der Verdichtung des Oberbetons – vor dem Längsglätter – eine geschlossene Oberfläche auf. Für Baumaßnahmen, die heute gemäß ZTV Beton-StB 01 [9]

ausgeführt werden müssen, muss der Mindestzementgehalt auf  $350 \text{ kg/m}^3$  erhöht werden. Die Erhöhung des Zementgehalts um  $10 \text{ kg/m}^3$  soll günstigere Verarbeitungseigenschaften und einen besseren Oberflächenschluss beim Bau von Fahrbahndecken mittels Gleitschalungsfertiger ermöglichen. Diese sehr wichtigen Eigenschaften wurden mit dem für diese Baumaßnahme erforderlichen Mindestzementgehalt von  $340 \text{ kg/m}^3$  problemlos erzielt. Das ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Beton mit Hochofenzement bei einem Zementgehalt von  $340 \text{ kg/m}^3$  das gleiche Zementleimvolumen aufweist wie mit  $350 \text{ kg/m}^3$  Portlandzement, gleicher Wassergehalt vorausgesetzt (Tafel 5).

Fahrbahndecken müssen eine hohe Verformungsstabilität aufweisen, um die unmittelbaren Vertikal- und Horizontalbelastungen aus dem Verkehr bei den unterschiedlichsten Temperaturbedingungen verformungsfrei aufnehmen zu können. Zusätzlich muss die Oberflächenbeschaffenheit dauerhaft eine größtmögliche Verkehrssicherheit und eine geringe Lärmemission sicherstellen. Als wesentliche Einflussfaktoren für die Verkehrssicherheit gelten die Ebenheit, Rauheit und Helligkeit der Oberfläche. Da eine messtechnische Erfassung der Rauheit als maßgebliche Einflussgröße für die Rutschgefahr baupraktisch zu aufwändig wäre, wird ersatzweise die Griffigkeit gemessen.

Tafel 5: Zementleimvolumen (Stoffraumberechnung)

	Dosiermenge [kg/m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Stoffraum [dm <sup>3</sup> ]
Portlandzement CEM I 32,5 R	350	3,1	113
Wasser	146	1,0	146
Zementleim			259
Hochofenzement CEM III/A 42,5 N	340	3,0	113
Wasser	146	1,0	146
Zementleim			259

Um eine gute Griffigkeit (Verkehrssicherheit) bei möglichst niedrigem Geräuschpegel (Lärmschutz) zu erzielen, war bei der BAB A44 zur Strukturierung der Fahrbahnoberfläche eine Längstextur mit einem hinter dem Fertiger nachgeschleppten Jutetuch ausgeschrieben (**Bild 7**). Die gleichmäßig feine Texturierung der Fahrbahndecke ist auf **Bild 8** gut erkennbar. In einem kleinen Teilbereich wurde versuchsweise die Textur mittels Kunstrasenteppich durchgeführt (**Bild 9**). Ein Vergleich der unterschiedlich strukturierten Fahrbahnoberflächen zeigt, dass die Verwendung des Jutetuchs eine bessere Textur als die Verwendung des Kunstrasenteppichs bewirkt.

Zum Schutz vor Austrocknen und hohen Temperaturen durch Sonneneinstrahlung wurde abschließend auf die texturierte, mattfeuchte Betondeckenoberfläche ein weiß pigmentiertes Nachbehandlungsmittel aufgesprüht (**Bild 10**).

In **Tafel 6** ist beispielhaft die Dokumentation der Bauausführung aufgeführt.

Ein Lernprozess war die Ausführung der Fahrbahndecke mit CEM III/A 42,5 N auch für die mit den Fugearbeiten beauftragte Firma, da der relativ spät beginnende Erhärtungsprozess das Fugenschnitten erst am Morgen des darauf folgenden Tages gestattete. Durch den im Vergleich zu Fahrbahndecken mit Portlandzement späteren und moderateren Erhärtungsverlauf lagen die kritischen Zugspannungen immer unterhalb der Biegezugfestigkeit des jungen Betons, weil vermutlich die maximale Hydrationswärmeentwicklung des erhärtenden Betons nicht mit der maximalen Erwärmung durch Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur zusammentraf.



*Bild 7: Texturierung der Fahrbahnoberfläche mit nachgeschlepptem Jutetuch*



*Bild 8: Fahrbahnoberfläche mit Jutetuchstruktur, Feldnummerierung und Kennzeichnung für den Fugenschnitt*



*Bild 9: Texturierung der Betonfahrbahndecke in Teilbereichen durch Nachziehen eines Kunstrasenteppichs*



*Bild 10: Aufsprühen eines pigmentierten Nachbehandlungsmittels auf die mattfeuchte Oberfläche*

Tafel 6: Dokumentation beim Betoneinbau (Beispiel)

Baumaßnahme		BAB A44; Richtungsfahrbahn Kassel				
Einbaudatum		15.07.02	17.07.02	18.07.02	22.07.02	23.07.02
Betonierrichtung		Richtung Dortmund				
Anzahl der Fahrstreifen		2	2	2	2	2
Einbaubreite [m]		8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Betonierbeginn	Uhrzeit	6:15	6:15	7:00	9:30	6:15
	Betriebskilometer	136,495	137,280	137,635	138,055	138,430
Betonierende	Uhrzeit	19:00	12:00	14:00	16:00	17:00
	Betriebskilometer	137,280	137,635	138,055	138,430	139,040
Luft-/Beton-temperatur [°C]	min	17/22	16/22	15/21	15/20	15/21
	max	25/23	18/23	17/21	17/21	21/21
Wind		wenig	wenig	wenig	wenig	wenig
Bewölkung		leicht bewölkt	Regen, bewölkt	Regen, bewölkt	Regen, bewölkt	Regen, bewölkt
augenscheinliche Beurteilung der Betonoberfläche		gut	gut	gut	gut	gut
Strukturierung mit		Jutetuch	Jutetuch	Kunstrasen	Kunstrasen	Jutetuch
Jutetuch/ Kunstrasen	neu	x	x	km 137,730 bis km 138,430		x
	ausgewaschen					
augenscheinliche Beurteilung der Textur		deutlich ausgeprägt	schwach ausgeprägt	deutlich ausgeprägt	deutlich ausgeprägt	deutlich ausgeprägt
Nachbehandlungsmittel	Art	NB1-ASTM				
	aufgebrachte Menge [g/m <sup>2</sup> ]	130	110	130	130	130
zusätzliche Nachbehandlung/Dauer			x			

Ein allgemeines Problem der Betonbauweise – unabhängig von der verwendeten Zementart – ist die Tatsache, dass die hohe Qualität der Fahrbahndecke aus Beton durch witterungsbedingte Mängel bei der Ausführung („Regenfelder“) teilweise wieder herabgesetzt wird. Früher war es im Betonstraßenbau üblich, dass die frische Fahrbahndecke durch nachgeschleppte Zelte über weite Strecken vor Auswaschungen durch Regenereignisse geschützt wurde. Da diese Verfahrensweise im heutigen Straßenbau nicht mehr opportun ist, muss durch noch zu erforschende, praktikable Schutzmaßnahmen verhindert werden, dass die frische Fahrbahndecke z.B. durch Gewitterregen ausgewaschen wird und dadurch

die Dauerhaftigkeit sowie relevante Oberflächeneigenschaften negativ beeinflusst werden.

## 8 Eigenüberwachungsprüfungen

Art und Häufigkeit der im Rahmen der Eigenüberwachung durch die bauausführende Firma durchzuführenden Prüfungen sind in den Regelwerken für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton festgelegt. Im Interesse aller Beteiligten wurde die Qualitätssicherung optimiert durch zusätzliche, unmittelbar vor dem Einbau des Betons auf der Baustelle durchgeführte Prüfungen – ausgeführt von der Anwendungstechnik des Zementherstellers. Dadurch war ein ständiger Austausch der

Frischbetonkennwerte möglich, Abweichungen von den Zielwerten – insbesondere beim Luftgehalt des Frischbetons – konnten so direkt dem Laboranten an der Mischanlage per Handy mitgeteilt werden, um sofortige Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Schon zu Beginn der Fahrbahndeckenherstellung zeigte sich, dass der Wassergehalt des Oberbetons – im Vergleich zur Eignungsprüfung – reduziert und die Dosierung des LP-Mittels erhöht werden musste. Parallel durchgeführte Luftgehaltsmessungen ergaben am Einbauort zwischen 0,5 Vol.-% und 1,0 Vol.-% niedrigere Luftgehalte im Vergleich zu den Messungen an der Mischanlage. Alle Probekörper für die Festbetonprüfungen wurden aus am Einbauort entnommenen Beton-



proben hergestellt. Die Ergebnisse der Prüfungen des Oberbetons sind in der **Tafel 7** aufgeführt; die dabei ermittelte Druckfestigkeit lag rund 33 %, die Biegezugfestigkeit sogar 51 % über den geforderten Werten gemäß ZTV Beton-StB (**Tafel 8**). **Bild 11** zeigt die Festigkeitsentwicklung des CEM III/A 42,5 N und des Oberbetons bis zum Alter von 56 Tagen.

## 9 Wichtige Gebrauchseigenschaften

### 9.1 Tragfähigkeit

Die hochbeanspruchten Fahrbahndecken aus Beton müssen dauerhaft tragfähig und verkehrssicher sein. Betonfahrbahndecken werden zwecks Vermeidung von wilden Rissen und zum Ausgleich von Längenänderungen durch Längs- und Quertugen in Platten unterteilt und als biegebeanspruchte Bauteile bemessen. Folglich ist die Biegezugfestigkeit des Betons von maßgeblicher Bedeutung. Hüttensandhaltige Zemente weisen im Vergleich zu Portlandzementen ein günstigeres Verhältnis Biegezugfestigkeit zu Druckfestigkeit auf. In **Bild 12** ist die Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit von Normmörtel verschiedener Zemente im Alter von 28 Tagen aufgeführt.

Die hohe Biegezugfestigkeit des Fahrbahndeckenbetons mit CEM III/A 42,5 N bedeutet eine effektiv erhöhte Tragfähigkeit und bietet eine gewisse Festigkeitsreserve für ggf. noch zunehmende Verkehrsbelastung.

### 9.2 Ebenheit und Griffigkeit

Zu den Erfahrungen im Fahrbahndeckenbau gehört auch, dass in Teilbereichen eine Überschreitung des Grenzwerts für die Ebenheit der

Tafel 7: Ergebnisse der Eigenüberwachungsprüfungen des Oberbetons

Eigenschaft		MW	s
<b>Frischbeton</b>			
Verdichtungsmaß	–	1,30	0,02
Rohdichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,39	0,02
Luftgehalt	Vol.-%	5,2	
Betontemperatur	°C	23	
<b>Lufttemperatur</b>			
	°C	19	
<b>Festbeton</b>			
Druckfestigkeit nach			
7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	41	3,7
28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	53	3,6
56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	58	4,7
Biegezugfestigkeit nach			
28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	8,3	0,4
Spaltzugfestigkeit nach			
7 Monaten	N/mm <sup>2</sup>	4,2	0,3

Tafel 8: Festigkeitsanforderungen für Fahrbahndecken der Bauklassen SV, I bis V und erzielte Festigkeiten des Oberbetons

	Anforderung nach ZTV Beton-StB	Eignungsprüfung	Eigenüberwachungsprüfung
Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen [N/mm <sup>2</sup> ]	$\beta_{ws} \geq 40$	47	53
Biegezugfestigkeit im Alter von 28 Tagen [N/mm <sup>2</sup> ]	$\geq 5,5$	5,9	8,3

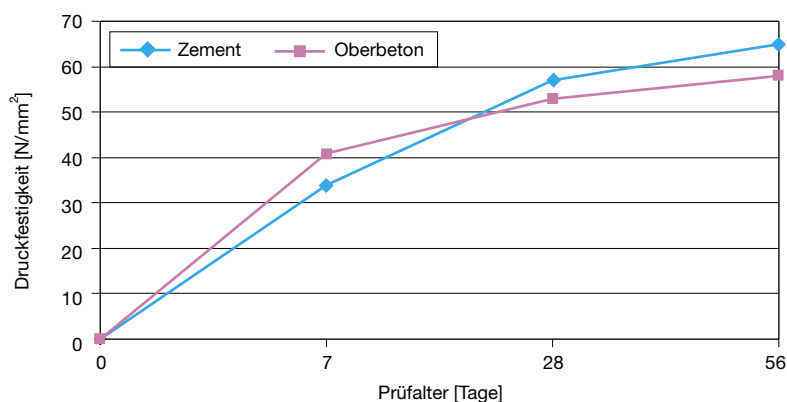


Bild 11: Festigkeitsentwicklung des Zements CEM III/A 42,5 N und des damit hergestellten Oberbetons

Fahrbahnoberfläche selbst bei sorgfältiger Ausführung nicht immer vermeidbar ist. Bei den im Rahmen der Kontrollprüfungen durchgeführ-

ten Ebenheitsmessungen wurden bei der hier beschriebenen Baumaßnahme keine unzulässigen Unebenheiten festgestellt.

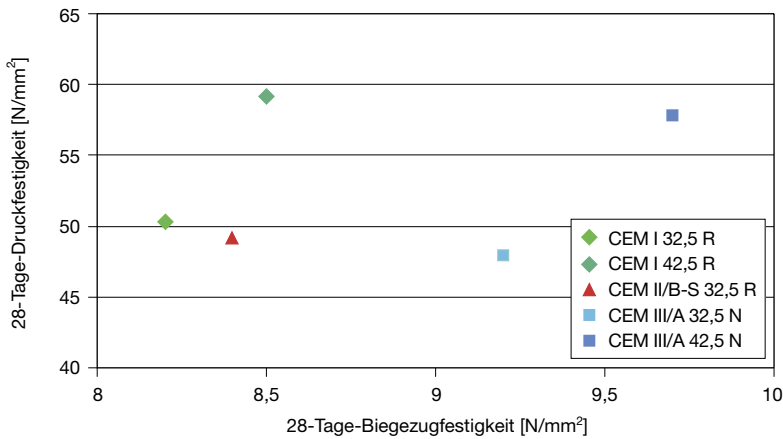


Bild 12: Normfestigkeiten verschiedener Zementarten und -festigkeitsklassen

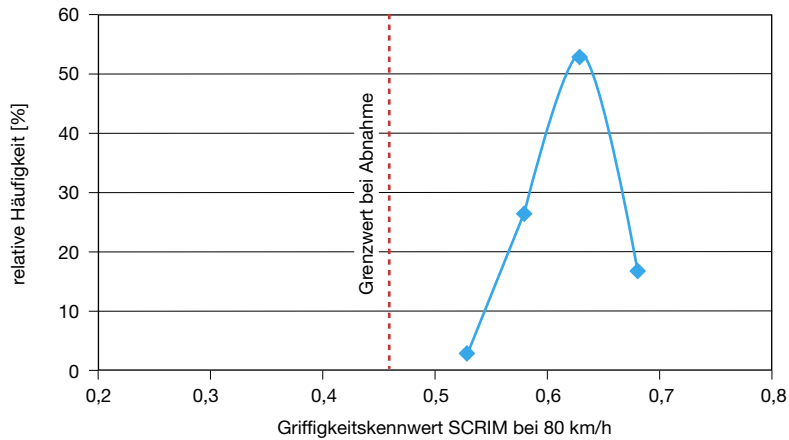


Bild 13: Griffigkeit der Fahrbahndecke BAB A44, gemessen zwischen km 140,800 und km 133,800 (Häufigkeitsverteilung)

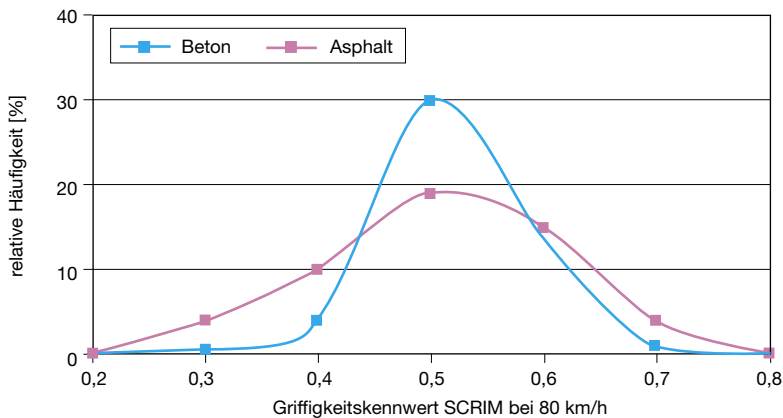


Bild 14: Griffigkeit von Asphalt- und Betondecken auf Bundesautobahnen (Häufigkeitsverteilung) (aus [10])

Die Griffigkeit von Betonfahrbahndecken wird in der Anfangsphase maßgeblich von den Mörtel Eigenschaften und der Texturierung bestimmt, später ist die Polierresistenz der groben Gesteinskörnungen relevant. Die Schaffung hoher Oberflächenqualität ist immer eine Gratwanderung zwischen maximaler Griffigkeit und minimaler Lärmemissionen.

Um dem Autobahnnutzer bei Nässe eine ausreichende Griffigkeit bieten zu können, wurden mit den Regelungen in den ZTV Beton-StB 01 erstmalig Grenzwerte der Griffigkeit für den Zeitpunkt der Abnahme und bei Ablauf der Verjähungsfrist vertragsrelevant. Die im Rahmen der Kontrollprüfungen auf der BAB A44 zum Zeitpunkt der Abnahme mit der SCRIM-Methode festgestellten Griffigkeitswerte sind sehr gut, sie liegen deutlich über dem Grenzwert (Bild 13). Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h wurden Griffigkeitskennwerte zwischen 0,533 und 0,676 (Mittelwert 0,624) gemessen. Der Grenzwert gemäß ZTV Beton-StB beträgt 0,46 bei Abnahme und 0,43 bis zum Ablauf der Verjähungsfrist. Beim Vergleich mit den Griffigkeitskennwerten, die im Rahmen umfangreicher Messungen der Bundesanstalt für Straßenwesen [10] 1990 an Asphalt- und Betondecken durchgeführt wurden, wird deutlich, dass auf der BAB A44 eine sehr griffige und damit verkehrssichere Fahrbahndecke erstellt wurde (Bild 14).

### 9.3 Hoher Frost- und Tausalz-widerstand

Betonen mit Hochofenzement wird häufig ein geringerer Frost- und Tausalzwiderstand unterstellt im Vergleich zu Beton mit Portlandzement. Deshalb wurden auch speziell zu dieser Thematik umfangreiche Prüfungen durchgeführt.

Positive Erfahrungen mit einem Hochofenzement CEM III/A 42,5 N beim Bau von Verkehrsflächen liegen bereits vor. Auf dem Gelände eines Zementwerks wurden 1995 zwei große Felder der Werkstraße erneuert mit einem LP-Beton unter Verwendung von Hochofenzement. Trotz hoher mechanischer Belastung durch starken Silofahrzeugverkehr und häufigem Frost-Tausalzangriff weisen die beiden Fahrbahnabschnitte keine Schäden auf [11].

Beton für Fahrbahndecken muss nach ZTV Beton-StB mit Luftporenbildner hergestellt werden, der kleine kugelige Luftporen in ausreichender Menge im Beton erzeugt, die annäherungsweise durch die Bestimmung des Gesamtluftgehalts am Frischbeton nachgewiesen werden. Mit der Prüfung des Mikroluftporengehalts  $A_{300}$  (L300) und des Abstandsfaktors L (AF) wird am Festbeton der Gehalt an kleinen Poren bestimmt. Die Einhaltung dieser Luftporenkennwerte dient der Sicherstellung eines hohen Frost-Tausalzwidehrstands des Betons. An einem im Rahmen der Eigenüberwachung hergestellten Probekörper wurde zur Bestimmung der Luftporenkennwerte und für die mikroskopische Untersuchung ein Dünnschliff senkrecht zur Fertigungs Oberfläche erstellt. Die Luftporenkennwerte wurden nach EN 480-11 bestimmt, die Auszählung der Luftporen erfolgte mittels automatischer Bildanalyse. In **Tafel 9** sind die ermittelten Luftporenkennwerte dargestellt, die mit einem Mikroluftporengehalt  $A_{300}$  von 2,0 Vol.-% und einem Abstandsfaktor L von 0,16 mm die Anforderungen an das Luftporensystem des Festbetons erfüllen. Bei den mikroskopischen Untersuchungen zeigte der Beton ein gleichmäßiges Gefüge mit einer intakten Randzone. Die Verteilung der künstlichen Luftporen ist über den

Tafel 9: Luftporenkennwerte des Oberbetons und Bewertungskriterien nach [12]

	Mikroluftporengehalt $A_{300}$ (L300) [Vol.-%]	Abstandsfaktor L (AF) [mm]
Probekörper Nr. 27	2,0	0,16
Bewertungskriterien:		
Eignungsprüfung	$\geq 1,8$	$\leq 0,20$
Prüfung am Bauwerk und Kontrollprüfung	$\geq 1,5$	$\leq 0,24$

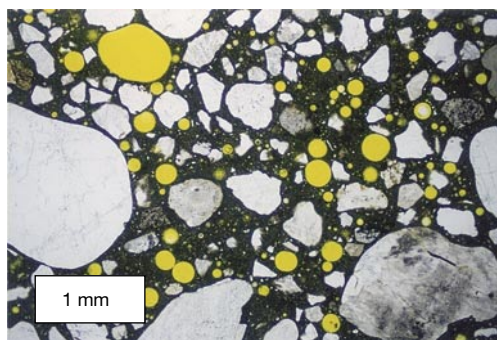
Tafel 10: Ergebnisse der Prüfungen einer Zufallsstichprobe des Oberbetons

Betonprobe vom 15. Juli 2002, 11:00 Uhr		
Betonkonsistenz	–	1,30
Frischbetonrohddichte	kg/dm <sup>3</sup>	2,39
Luftgehalt		
Frischbeton	Vol.-%	5,0
Festbeton A (La)	Vol.-%	3,8
Mikroluftporengehalt $A_{300}$ (L 300)	Vol.-%	2,0
Abstandsfaktor L (AF)	mm	0,16
Abwitterungen im Alter von 56 Tagen		
Slab-Test	g/m <sup>2</sup>	25
CDF-Test	g/m <sup>2</sup>	135
Betondruckfestigkeit im Alter von		
7 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	41
56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	58
Biegezugfestigkeit im Alter von		
56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	8,3

gesamten Querschnitt relativ homogen, im mittleren und unteren Bereich sind teilweise auch größere Poren vorhanden (**Bild 15**). Die Ergebnisse aller an einer repräsentativen Probe des Oberbetons durchgeführten Prüfungen sind in der **Tafel 10** zusammengestellt, die Probenahme erfolgte unmittelbar vor dem Einbau vor dem Fertiger.

Viele Eigenschaften des Betons können im Rahmen von Eignungsprüfungen in vergleichsweise guter Übereinstimmung mit dem Verhalten des Bauwerkbetons bereits vor Bauausführung im Labor bestimmt werden. Die Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf die Praxis hinsichtlich des Frost- und Tausalzwidehrstands ist jedoch äußerst

Bild 15: Homogen im Betongefüge verteilte künstliche Luftporen (gelb); Dünnschliff unter dem Lichtmikroskop



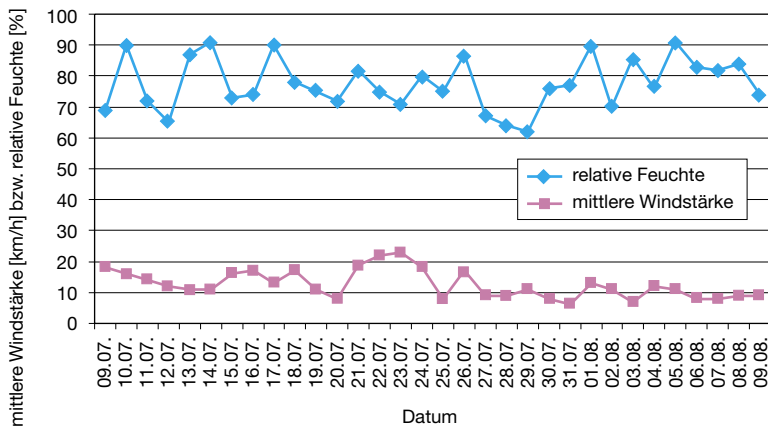


Bild 16: Wetterdaten für den Zeitraum der Baumaßnahme

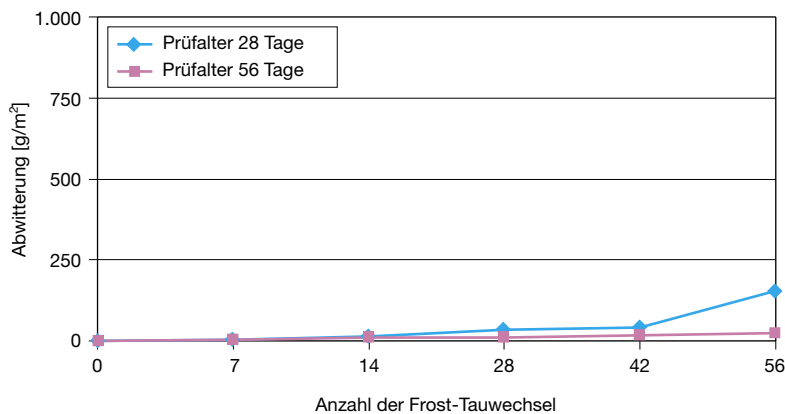


Bild 17: Ergebnisse der Eigenüberwachungsprüfung des Frost- und Tausalzwidehstands mit dem Slab-Test

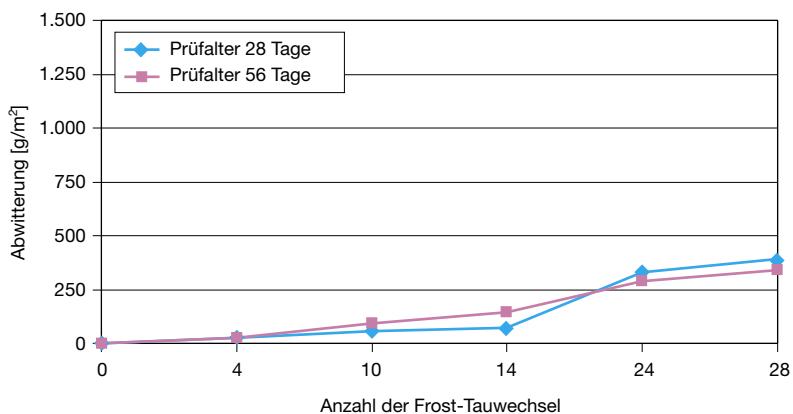


Bild 18: Ergebnisse der Eigenüberwachungsprüfung des Frost- und Tausalzwidehstands mit dem CDF-Test

problematisch. Kennwerte werden bisher in Deutschland entweder mit dem VDZ-Würfelverfahren [13] oder dem CDF-Verfahren [6] ermittelt. Bei diesen Laboruntersuchungen ist zu berücksichtigen, dass die praxisfremde Vorlagerung bei einer relativen Feuchte von 65 % gerade Betone mit Hochofenzement benachteiligt [14]. Im Zeitraum der Baumaßnahme BAB A44 betrug die mittlere relative Feuchte 78 % (Bild 16).

Da keines der o.a. Prüfverfahren in Deutschland genormt ist, andererseits aber seit Mai 2002 der Normentwurf eines europäischen Prüfverfahrens vorliegt, wurden Prüfungen mit dem Slab-Test [15] – dem Referenz-Prüfverfahren gemäß DIN EN 12390-9, Entwurf Mai 2002 – und vergleichsweise mit dem CDF-Test durchgeführt. Jeweils die Hälfte der vorschriftsmäßig hergestellten und gelagerten Probekörper wurde im Alter von 28 Tagen bzw. 56 Tagen geprüft. Die Abwitterungen der Probekörper sind beim Slab-Test (Prüffläche: Schnittfläche) sehr gering und liegen weit unterhalb des dafür maßgebenden Abnahmekriteriums von 1.000 g/m<sup>2</sup> (Bild 17). Die Ergebnisse des CDF-Tests (Prüffläche: mit Teflonscheibe geschaltete Seitenfläche) zeigen, dass der Beton unter Zugrundelegung des empfohlenen Abnahmekriteriums von 1.500 g/m<sup>2</sup> einen sehr hohen Frost- und Tausalzwidehstand aufweist. Die Abwitterungen liegen deutlich unterhalb des Abnahmekriteriums (Bild 18).

Bemerkenswert ist der im Bild 19 gezeigte Zusammenhang zwischen dem Gesamtluftgehalt des Frischbetons und den Abwitterungen im Slab- und CDF-Test. Wird der im Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton (Ausgabe 2004) [16] geforderte mittlere Mindestluftgehalt von 5,0 Vol.-% (Einzelwerte  $\geq$  4,5 Vol.-%)

eingehalten, kann bei Verwendung von CEM III/A 42,5 N ein sehr hoher Frost- und Tausalz widerstand erwartet werden.

Um Aussagen über den Einfluss der Beschaffenheit der Prüffläche auf die ermittelten Abwitterungsmengen machen zu können, wurden zusätzliche Probekörperserien hergestellt, bei denen die mit einem Stahllineal abgezogene und bis zum Oberflächenschluss geglättete Probekörperoberfläche als Prüffläche diente. Die Abwitterungen der Probekörperoberflächen lagen beim Slab-Test um eine Zehnerpotenz höher und beim CDF-Test doppelt so hoch wie die Abwitterungen der Probekörper mit vorschriftsmäßiger Prüffläche. Die abgezogenen Probekörperoberflächen entsprechen in Ausführung und Qualität meist nicht der tatsächlichen Bauwerksoberfläche, so dass die daran ermittelten Werte nicht zur Beurteilung der Qualität des Betons herangezogen werden sollten.

Die ermittelten Abwitterungen machen deutlich, welchen Einfluss bestimmte Festlegungen – z.B. Art und Dauer der Vorlagerung, gewählte Prüffläche – bei den Laborprüfverfahren auf das Ergebnis und damit auf die Beurteilung des Frost- und Tausalzwiderstands haben. Ein signifikant verändertes Abwitterungsverhalten in Abhängigkeit vom Probenalter konnte bei den gewählten Prüfverfahren nicht festgestellt werden; aufgrund der Ergebnisse aus früheren Untersuchungen kann auch die Differenz im Slab-Test als zufällig betrachtet werden.

Abschließend kann aufgrund der Ergebnisse zweier Prüfverfahren prognostiziert werden, dass die Betonfahrbahndecke mit Hochofenzement CEM III/A 42,5 N einen hohen Frost- und Tausalzwiderstand aufweisen wird.

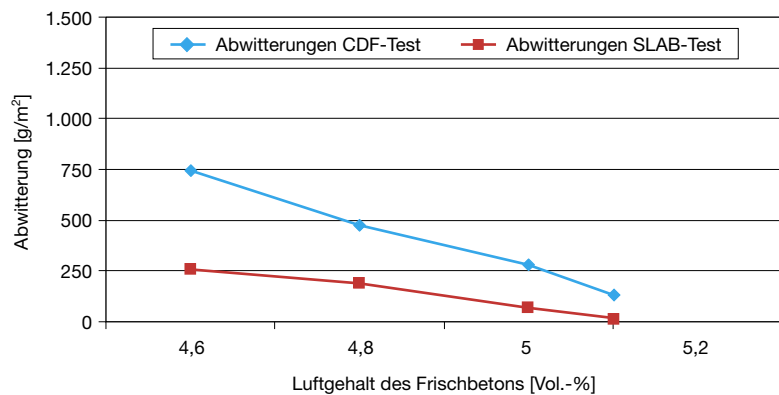


Bild 19: Korrelation zwischen dem Luftgehalt des Frischbetons und den Abwitterungen bei der Prüfung des Frost- und Tausalzwiderstands des Fahrbahndeckenbetons (Ortbetons)

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Die erstmalige Verwendung von Hochofenzement für die Fahrbahndecke einer Bundesautobahn in Deutschland ist zweifellos als Innovationsschub zu bezeichnen. Bei der Erneuerung der Betonfahrbahndecke auf der BAB A44 Dortmund – Kassel zwischen den Autobahnkreuzen Unna/Ost und Werl wurden rund 9.300 t Hochofenzement CEM III/A 42,5 N verbaut. Die aus anderen Bereichen des Betonbaus bekannten Vorteile beim Einsatz hüttensandhaltiger Zemente

finden beim Bau der Fahrbahndecke ihre Bestätigung. Als besonders vorteilhaft erwies sich bei den zeitweise hochsommerlichen Temperaturen (Bild 20) während der Baumaßnahme der durch das langsamere Erhärten des Betons vergleichsweise größere Verarbeitungszeitraum. Der Fahrbahndeckenbeton mit CEM III/A 42,5 N zeichnete sich aus durch seine Robustheit. Im Vergleich zu bisher üblichen Fahrbahndeckenzementen kann mit Hochofenzement ein geringeres Risiko hinsichtlich schädigender AKR aufgrund des niedrigen wirksamen Alkaligehalts erwartet werden.

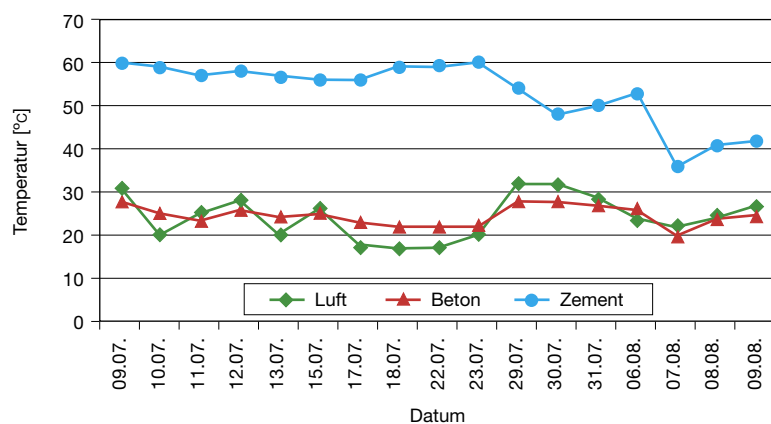


Bild 20: Temperaturverläufe von Luft, Zement und Beton während des Herstellungszeitraums der Betonfahrbahn

Die Einbaukonsistenz und der Luftgehalt des Frischbetons waren relativ konstant, die Geschmeidigkeit des Oberflächenmörtels bewirkte einen guten Deckenschluss und ermöglichte eine gute Strukturierung der Fahrbahnoberfläche. Von großer Bedeutung für die Gebrauchseigenschaften, d.h., für die praktische Nutzung unter Verkehr, ist die hohe Biegezugfestigkeit. Sie bietet ausreichende Festigkeitsreserven selbst bei hoher Verkehrsbelastung. Die erzielten Oberflächeneigenschaften (Ebenheit, Rauheit und Helligkeit) überzeugten alle Beteiligten.

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen vor, während und nach der Bauausführung sowie aus der Beobachtung während der Fahrbahndeckenherstellung und dem bisherigen Verhalten unter Verkehr zeigen, dass mit im Betondeckenbau erfahrenen, motivierten Unternehmen und mit Teamarbeit zwischen Auftraggeber, Auftragnehmer und Zementhersteller eine hohe und verlässliche Qualität von Fahrbahndecken aus Beton bei Verwendung von Hochofenzement möglich ist. Durch die enge Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten konnte die Baumaßnahme „Fahrbahndeckenbeton mit CEM III“ zu einem erfolgreichen Abschluss geführt werden.

Die vorteilhaften Eigenschaften des Hochofenzements CEM III/A 42,5 N bei der Erstellung dauerhafter Betonfahrbahndecken werden auch zukünftig wirksam, wenn fachgerechter Planung und Auswahl der Ausgangsstoffe eine qualitativ hochwertige Bauausführung folgt.

## 11 Literatur

[1] Lang, E.: Untersuchungen an altem Fahrbahndeckenbeton mit Eisenportlandzement. Beton-Informationen 39 (1999) H. 5/6, S. 3-12.

## Bauschild

Auftraggeber	Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Niederlassung Hamm
Bauausführende ARGE	Berger Bau GmbH, Passau Oevermann GmbH & Co, Münster
Beton- und Fahrbahndeckenhersteller	Berger Beton GmbH, Passau
Zementhersteller	Readymix Hüttenzement GmbH, Dortmund
Zusatzmittelhersteller	Sika Addiment GmbH, Leimen

- [2] Eigenschaften von Zementen für Fahrbahndecken aus Beton. Jahresabschlussbericht 2002. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach Mai 2003.
- [3] VDZ-Mitteilungen Nr. 125, Ausgabe September 2004, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf.
- [4] Rundschreiben „Zemente für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton im Straßenbau (Fahrbahndeckenzemente)“, 2. August 2004, Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf.
- [5] ZTV Beton-StB 93: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 1993. Hrsg: Der Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- [6] CDF-Test – Test method for the freeze-thaw resistance of concrete – tests with sodium chloride solution. RILEM Recommendation TC 117. Materials and Structures Vol. 29 (1996), pp. 523-528.
- [7] Untersuchungsbericht Frost-Tausalz-widerstand BAB A44. FEhS – Institut für Baustoff-Forschung, Duisburg 2002.
- [8] Fiala, H.: Aluminiumreaktionen in Beton – Oberflächenschäden an Betonfahrbahnen. Beton 49 (1999) Nr. 10, S. 556-559.
- [9] ZTV Beton-StB 01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2001. Hrsg: Der Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- [10] Kamplade, J.: Oberflächenausführung von Betondecken – Griffigkeit und Lärmverhalten. In: Betonstraßentagung 1991, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1992.
- [11] Bilgeri, P.: Erfahrungen mit Hochofenzement im Verkehrsbau – Betonfertigteile, Betonwaren und Ortbeton. Beton-Informationen 41 (2001) H. 5, S. 3-13.
- [12] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Ausgabe 1991.
- [13] Siebel, E.: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton – Beurteilung mittels Würfelverfahren. Beton 42 (1992) Nr. 9, S. 496-501.
- [14] Rendchen, K.: Frost- und Tausalz-widerstand von Beton mit Hochofenzement – Beispiele aus der Praxis. Beton-Informationen 39 (1999) H. 4, S. 3-23.
- [15] Swedish Standard SS 13 72 44 Concrete testing – Hardened concrete – Scaling at freezing (Slab-Test).
- [16] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Ausgabe 2004.