

# Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N (st)

Von Katrin Bollmann und Peter Lyhs, Rüdersdorf

## 1 Einleitung

Mit dem Ziel, der Betonbauweise auch im Straßenbau weiterhin einen festen Platz zu sichern, hat die durch den Verein deutscher Zementwerke vertretene deutsche Zementindustrie gemeinsam mit den Bundesverbänden der Deutschen Kies- und Sand- sowie der Naturstein-Industrie und der Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton Vorschläge zur Sicherung einer dauerhaften Bauweise unterbreitet, die in Form des Allgemeinen Rundschreibens Straßenbau ARS 15/2005, Sachgebiet 06.1 und 06.2 Straßenbaustoffe [1] im Sommer dieses Jahres in Kraft getreten sind. Die neuen Regelungen betreffen sowohl die Gesteinskörnungen als auch den Zement.

## 2 Ausgangssituation

Beton ist ein leistungsfähiger, variabel herstellbarer und flexibel einsetzbarer Baustoff. Bei geeigneten Ausgangsstoffen (Zement, Gesteinskörnungen, Betonzusatzmittel), richtiger Zusammensetzung (w/z-Wert, Zement- und Luftporengehalt, Sieblinie) und fachgerechtem Einbau einschließlich Nachbehandlung weist er eine hohe Dauerhaftigkeit und eine lange Lebensdauer auf und hat sich u.a. in Fahrbahndecken seit Jahrzehnten hervorragend bewährt.

Die veränderten Nutzungsbedingungen, wie zunehmende Verkehrsbelastung und verstärkter Alkalieintrag in den Beton durch Feuchtsalzauftrag (Bild 1), haben in Verbindung mit

bestimmten potentiell reaktiven Gesteinskörnungen dennoch vereinzelt zu Schäden an Betonfahrbahndecken unter Mitwirkung einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) (Bild 2) und damit zu dringendem Handlungsbedarf geführt.

Der Auftrag der Tausalze erfolgt gemäß Winterdienst-Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [2, 3] entsprechend den Witterungsbedingungen auch präventiv und damit z.T. auf die trockene Fahrbahn (Tafel 1).

Die infolge schädigender AKR entstehenden Risse treten meist ver-

*Tafel 1: Anhaltswerte für die richtige Dosierung von NaCl in Abhängigkeit vom Fahrbahnzustand entsprechend Winterdienstmerkblatt der FGSV [2]*

Fahrbahnzustand	Dosierung [g/m <sup>2</sup> ]
Leichte Reif- und Eisglätte	5-20
Glatteis / Eisregen	20-40
Schneefall / Schneeglätte	15-40
Vorbeugende Streuung (trockene oder feuchte Fahrbahn)	5-15



Bild 1: Alkalizufuhr von außen



Bild 2: Infolge ARK geschädigte Betonfahrbahndecke mit netzförmiger Rissbildung

Bild 3: Verkehrsgefährdende Kantenausbrüche im Fugenbereich einer Betonfahrbahndecke, die durch AKR geschädigt wurde



und führt zu einer Erhöhung des pH-Werts der gesättigten Calciumhydroxidlösung auf Werte über 12,4.

Feuchtigkeit ist im Beton im Allgemeinen vorhanden, durch Feuchtigkeitzufuhr oder -entzug entsprechend den Umgebungsbedingungen (Regen bzw. Sonnenschein und damit verbundener Temperaturerhöhung) kommt es zum Feuchte- und damit auch zum Stofftransport der gelösten Reaktionspartner.

stärkt in den Randbereichen der Platten in Fugennähe auf und führen im fortgeschrittenen Stadium zu verkehrsgefährdenden Kantenausbrüchen (Bild 3).

### 3 AKR-Einflussfaktoren und Reaktionsmechanismen

Eine betonschädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion kann nur dann auftreten, wenn drei wesentliche Randbedingungen im Beton gegeben sind:

- ❑ das Vorhandensein von potentiell reaktiver Gesteinskörnung in ausreichendem Umfang,
- ❑ die Einwirkung von im Porenwasser gelösten Alkalihydroxiden (KOH, NaOH) sowie
- ❑ Wasser als Transportmedium und Reaktionspartner.

Über die in der DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“ (Alkali-Richtlinie) [4] genannten reaktiven Gesteinskörnungen, wie Opalsandstein, Kieselkreide, Flint und präkambrische Grauwacke, hinaus gehören nach neueren Erkenntnissen weitere Gesteinsarten, die amorphes, kryptokristallines oder gittergestörtes  $\text{SiO}_2$  in unterschiedlichen Mengen enthalten, zu den po-

tentiell reaktiven Gesteinsarten. Das sind, wie im Rundsreiben ARS 15/2005 [1] aufgeführt, unter anderem Kies-Edelsplitt des Oberrheins, verschiedene Quarzporphyre und devonische Grauwacken.

Die Alkalihydroxide stammen aus den Ausgangsstoffen (Zement, Zusatzmittel- und stoffe, Gesteinskörnungen) oder werden z.B. durch Taumittel von außen zugeführt. Ein großer Teil der Alkalihydroxide entsteht während der Hydratation des Portlandzementklinkers durch Reaktion des entstandenen Portlandits ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) mit den Alkalisulfaten

Bei einer AKR führt der durch die Hydroxidionen erhöhte pH-Wert zum Anlösen des reaktiven  $\text{SiO}_2$  der Gesteinskörnungen, so dass es mit den Alkalien zu einem quellfähigen Alkali-Kieselsäure-Gel reagieren kann. Mit zunehmendem pH-Wert oberhalb von 10 und mit zunehmender Temperatur steigt die Löslichkeit des amorphen  $\text{SiO}_2$ , so dass der Vorgang verstärkt und beschleunigt ablaufen kann. Bedingt durch die mit einer Volumenzunahme verbundene Wasseraufnahme des Alkali-Kieselsäure-Gels bilden sich so hohe Drücke, dass es zu einer Schädigung des Betongefüges kommen kann.



Bild 4: Voraussetzungen für eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion: Nur wenn alle drei Einflussfaktoren gegeben sind, kann eine AKR stattfinden.

Wenn mindestens einer der für eine AKR notwendigen Reaktionspartner (Bild 4) ausgeschlossen ist, kann eine schädigende AKR nicht stattfinden. Da Wasser und Alkalihydroxide – auch durch die Alkalizufuhr von außen – nutzungsbedingt auf Fahrbahndecken nicht auszuschließen sind, ist eine AKR dort nur sicher zu vermeiden, wenn potentiell alkalieempfindliche Gesteinskörnungen in Fahrbahndecken konsequent nicht eingesetzt werden.

#### 4 Regelwerk: ARS 15/2005

Zur Sicherung einer dauerhaften Betonbauweise bei Fahrbahndecken beinhaltet das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau 15/2005 [1] dementsprechend Regelungen hinsichtlich der Anwendbarkeit von Gesteinskörnungen. Danach dürfen neben den durch die Alkali-Richtlinie des DAfStb [4] bereits ausgeschlossenen reaktiven Gesteinsarten weitere potentiell gefährdete Gesteinsarten (Quarzporphyr, Grauwacke, Kies-Edelsplitt des Oberrheins, rezyklierte und importierte Gesteinskörnungen) nur eingesetzt werden, wenn ein aktuelles Gutachten die Unbedenklichkeit bestätigt.

Es erfolgt hinsichtlich einer schädigenden AKR sowohl eine Beurteilung der Gesteinskörnung an sich, als auch eine Stellungnahme zur zu verwendenden Betonzusammensetzung.

Als Gutachter sind gemäß ARS 15/2005 folgende Stellen zugelassen:

- a) Materialprüfungsamt (MPA) Eckernförde  
Ansprechpartner:  
Prof. Dr.-Ing. Rosemarie Haase
- b) LMPA Sachsen-Anhalt Magdeburg  
Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Ottomar Philipp
- c) Bauhaus-Universität Weimar  
Ansprechpartner:  
Prof. Dr.-Ing. Jochen Stark
- d) Forschungsinstitut der Zementindustrie  
Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Eberhard Siebel

Eine Absenkung des wirksamen Alkaligehalts der Zemente für Fahrbahndecken soll zusätzlich das Risiko einer AKR reduzieren (Tafel 2). Der wirksame Alkaligehalt in Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen wird im Wesentlichen durch den

Klinkeranteil bestimmt, während die weiteren Hauptbestandteile zu einem Verdünnungseffekt führen und kaum bzw. gar nicht wirksame Alkalien freisetzen. Damit ist die Verwendung von Portland-Kompositzementen (CEM II) und Hochofenzementen (CEM III/A mit Hüttensandgehalt  $\leq 50$  M.-%) auch im Straßenbau eine sinnvolle Variante.

Diese Maßnahmen sind aber nur unter Beachtung der Regeln für Gesteinskörnungen wirkungsvoll, da eine Alkalizufuhr von außen durch die Tausalze auf Fahrbahndecken immer gegeben ist.

## 5 Fahrbahndeckenzemente

### 5.1 Produktanpassung

Für die praktische Umsetzung der neuen Regelungen zur Absenkung des wirksamen Alkaligehaltes im Zement gibt es zwei Wege.

- Absenkung des Gesamtalkaligehalts durch Verwendung von alkalireduziertem Klinker z.B. im Portlandzement CEM I oder
- Einsatz weiterer Hauptbestandteile (Hüttensand, Ölschiefer) in Portlandkompositzementen CEM II bzw. Hochofenzementen CEM III/A.

Unter Beibehaltung der Festigkeitsklasse 32,5 R können sich jedoch in beiden Fällen anwendungstechnische Probleme, wie verstärkte Neigung zum Bluten und/oder eine geringere Frühfestigkeit ergeben. Diesen Problemen kann z.B. durch Erhöhung der Mahlfineinheit entgegengewirkt werden, was dann jedoch zu höheren 28-Tage-Festigkeitswerten als für 32,5 R zulässig und damit zur Einstufung in die Festigkeitsklasse 42,5 N führen kann.

Tafel 2: Zulässiger charakteristischer Wert des Alkaligehalts (als  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent) von Zementen für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton

Zementart	Hüttensandgehalt [M.-%]	Alkaligehalt des Zements $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquiv. [M.-%]	Alkaligehalt des Zements ohne Hüttensand bzw. Ölschiefer $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquiv. [M.-%]
CEM I, CEM II/A		$\leq 0,80$	–
CEM II/B-T		–	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	21 bis 29	–	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	30 bis 35	–	$\leq 1,00$
CEM III/A	36 bis 50	–	$\leq 1,05$

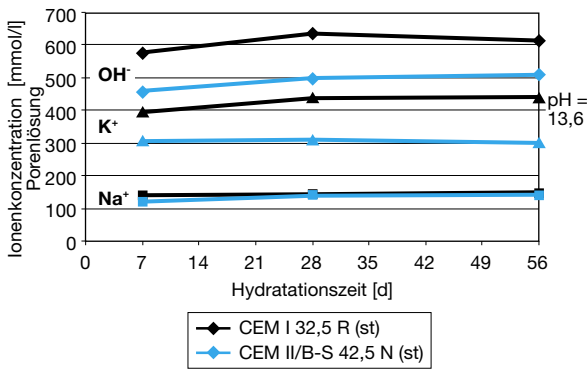


Bild 5: Ionengehalt in der ausgespressten Porenlösung von Zementstein mit  $w/z = 0,5$ . Der Anteil an Kaliumionen und Hydroxidionen – und damit der pH-Wert – ist beim CEM II/B-S 42,5 N (st) geringer als beim CEM I 32,5 R (st).

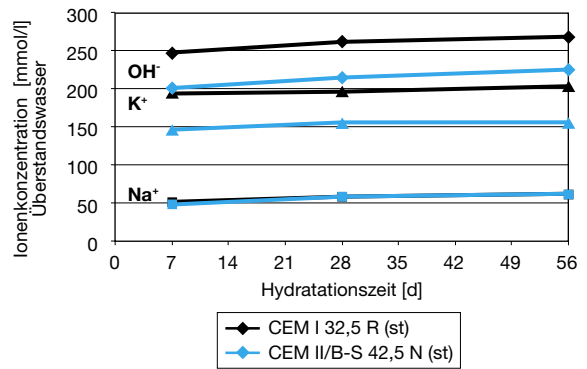


Bild 6: Ionengehalt im Überstandswasser von Zementstein mit  $w/z = 1,0$ . Auch bei diesem Verfahren wird deutlich, dass der Anteil an Kalium- und Hydroxidionen – und damit der pH-Wert – beim CEM II/B-S 42,5 N (st) geringer ist als beim CEM I 32,5 R (st).

## 5.2 CEM II/B-S 42,5 N (st) für Fahrbahndecken

In der Vergangenheit wurden bereits zahlreiche Straßenbaumaßnahmen mit hüttensandhaltigen Zementen ausgeführt. Aber auch in neuerer Zeit wurden Betonfahrbahndecken mit CEM II/B-S hergestellt und beim Neubau einer Betonfahrbahndecke im Sommer 2002 wurde erstmals in Deutschland ein CEM III/A 42,5 N auf der BAB A 44 zwischen Unna/Ost und Werl verwendet [5]. Die Entscheidung, im Zementwerk Rüdersdorf der CEMEX OstZement GmbH einen hüttensandhaltigen Fahrbahndeckenzement zu entwickeln, beruhte im Wesentlichen auch auf den guten Erfahrungen mit Portlandhüttenzementen unterschiedlicher Festigkeitsklassen. Der neu zu entwickelnde CEM II/B-S 42,5 N (st) sollte dem bisherigen Fahrbahndeckenzement CEM I 32,5 R (st) vergleichbare Verarbeitungs- und Festbetoneigenschaften aufweisen (Tafel 3).

Die Verringerung des wirksamen Alkaligehalts des Zements ist über die Bestimmung der Ionengehalte in der ausgespressten Porenlösung von

Zementsteinproben mit  $w/z = 0,5$  nachweisbar (Bild 5). Da das Verfahren zur Gewinnung der Porenlösung sehr aufwendig ist und ein spezielles Pressgesenk erfordert, kann zur Beurteilung von Veränderungen im wirksamen Alkaligehalt auch das Überstandswasser von Zementsteinproben mit  $w/z = 1,0$  herangezogen werden. Wie Bild 6 im Vergleich zu Bild 5 zeigt, ist der absolute Ionen-

gehalt erwartungsgemäß geringer, die Bewertung der Ionengehalte im Überstandswasser führt aber zu den gleichen Aussagen wie bei der Porenlösung und der geringere wirksame Alkaligehalt ist belegbar.

Durch die etwas höhere Feinheit des CEM II/B-S 42,5 N (st) (Bild 7) wurden hinsichtlich seiner Neigung zum Bluten ähnliche Werte wie bei dem

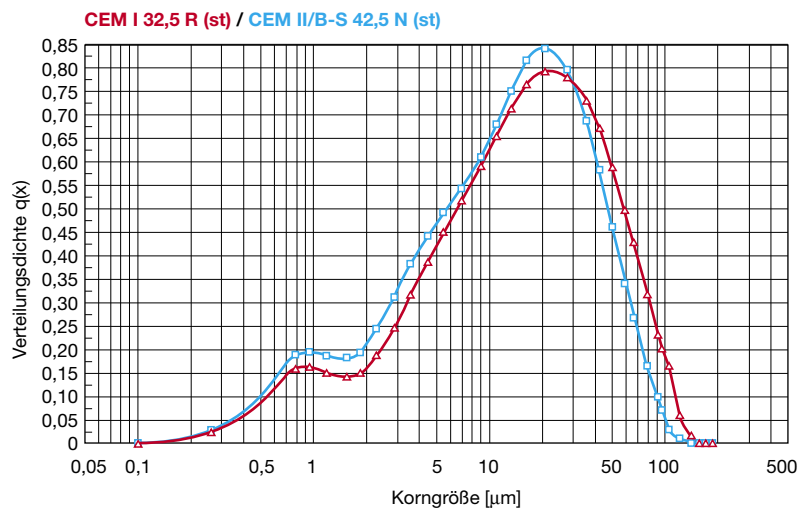


Bild 7: Korngrößenverteilung der Fahrbahndeckenzemente CEM I 32,5 R (st) und CEM II/B-S 42,5 N (st)

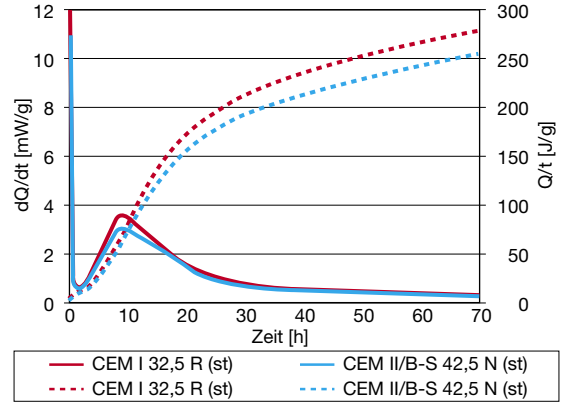
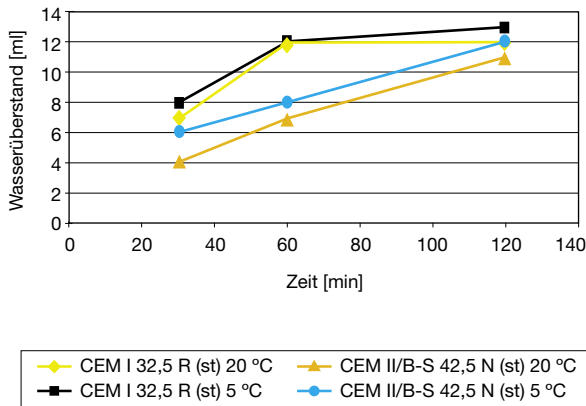


Bild 8: Bluten der Fahrbahndeckenzemente nach ÖNORM B 3303 bei unterschiedlichen Temperaturen: Die Blutneigung des CEM II/B-S ist sowohl bei 20 °C als auch bei 5 °C der des CEM I ähnlich.

Bild 9: Messungen mit dem Differential-Thermo-Kalorimeter (DCA) am CEM I 32,5 R (st) und am CEM II/B-S 42,5 N (st)

Tafel 3: Qualitätsziele für die Produktentwicklung des Fahrbahndeckenzements CEM II/B-S 42,5 N (st)

Eigenschaften			Mittelwert
spez. Oberfläche (Blaine)	Zement	cm <sup>2</sup> /g	3.500 - 4.500
	Hüttensandmehl		≥ 3.000
Na <sub>2</sub> O-Äquivalent		M.-%	< 0,90
Wasseranspruch		M.-%	≤ 29,0
Erstarrungsbeginn		min	≥ 120
Druckfestigkeit	2 d	N/mm <sup>2</sup>	≤ 29
Biegezugfestigkeit	28 d		≥ 7,5

bislang bewährten Straßenbauzement CEM I 32,5 R (st) erreicht (Bild 8), so dass gute Voraussetzungen für die Ausbildung einer hohen Oberflächenqualität der Fahrbahndecke geschaffen waren.

Die Wärmeentwicklungsrate des CEM II/B-S ist aufgrund des Hüttensandanteils erwartungsgemäß etwas geringer als beim Portlandzement (Bild 9).

## 6 Praxiseinsatz

### 6.1 Beobachtungsstrecke im Zementwerk Rüdersdorf

Tafel 4: Frisch- und Festbetoneigenschaften von im Vorfeld der Betonage hergestellten Laborbetonen mit den Fahrbahndeckenzementen CEM I 32,5 R (st) und CEM II/B-S 42,5 N (st)

Eigenschaft		CEM I 32,5 R (st)	CEM II/B-S 42,5 N (st)
LP-Zugabe	% von z	0,05	0,08
Luftgehalt nach 10 min 45 min	Vol.-%	4,5	4,9
		4,4	5,0
Verdichtungsmaß nach 10 min 45 min		1,23	1,23
		1,23	1,28
Druckfestigkeit im Alter von 2 Tagen 7 Tagen 28 Tagen 56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	28	22
		40	34
		46	43
		47	49

Letztendlich überzeugend für die Qualität eines Zements ist der Einsatz unter Praxisbedingungen. Nach vergleichenden Untersuchungen mit dem bisherigen Fahrbahndeckenzement CEM I 32,5 R (st) und dem neuen CEM II/B-S 42,5 N (st) sowohl an Mörteln als auch an Laborbetonen (Tafel 4) erfolgte kurzfristig im November 2004 auch der praktische Einsatz bei der Erneuerung einer Straße im Zementwerk Rüdersdorf (Bild 10). Da die Fertigungstechnologie einen wesentlichen Einfluss



Bild 10: Beobachtungsstrecke im Zementwerk Rüdersdorf



Bild 11: Einbau der Beobachtungsstrecke mit einem Gleitschalungsfertiger

auf die Ausbildung der Oberflächenqualität einer Fahrbahndecke hat, erfolgte der Einbau des Betons analog zum Autobahnbau mit einem Gleitschalungsfertiger (Bild 11). Unter erschwerten Bedingungen – Bauausführung auf engstem Raum, Belieferung durch eine Transportbeton-Mischanlage mit zwei Teller-Chargenmischern (Bild 12) anstelle z.B. eines Durchlaufmischers sowie ungünstigste Witterungsbedingungen – entstand eine Beobachtungsstrecke von 100 m Länge, 6 m Breite und 30 cm Dicke. Der Betoneinbau erfolgte einschichtig und einlagig. Die Oberfläche wurde mittels Kunststrasen (Bild 13) in Längsrichtung

strukturiert und danach ein wachshaltiges Nachbehandlungsmittel aufgetragen.

Ziel des Projekts war eine umfassende Beurteilung der Produkteigenschaften unter Praxisbedingungen, widrige Witterungsverhältnisse eingeschlossen.

## 6.2 Witterungsverhältnisse

Der Tag des Betonierens und die darauf folgende Woche waren von typischem Novemberwetter geprägt. Bei Temperaturen unter 5°C ging während des Betoniervorgangs der anfänglich feine Nieselregen in starken

Dauerregen über. Eine Unterbrechung der Arbeiten an der Beobachtungsstrecke war nicht möglich. Dies wäre allerdings bei einer Autobahnbaustelle zur Erzielung qualitätsge-rechter Oberflächeneigenschaften dringend geboten gewesen.

Da bereits in der ersten Nacht die Temperaturen in Rüdersdorf sehr gering waren, war ein sauberes Fugenschneiden am nächsten Morgen (nach rd. 12 Stunden) noch nicht möglich, sondern erfolgte erst am darauf folgenden Tag. Die niedrigen Temperaturen setzten sich in den weiteren Nächten fort (Bild 14).

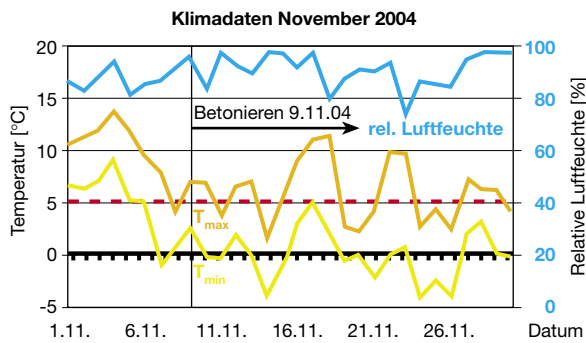


Bild 12: Betonmischanlage mit zwei Teller-Chargenmischern (Leistung bei steifer Konsistenz 1 m<sup>3</sup> pro Mischer)



Bild 13: Oberflächenfertiger mit Kunststrasen zur Oberflächenstrukturierung

Bild 14: Witterungsverhältnisse in der ersten Woche nach der Fahrbahndeckenherstellung



Tafel 5: Zusammensetzung des Fahrbahndeckenbetons

		Laborbeton		Beton der Beobachtungsstrecke	
Betonfestigkeitsklasse besondere Eigenschaften Konsistenzbereich		C30/37 hoher Frost-Tausalz-Widerstand C1		C30/37 C1	
Zementart und Festigkeitsklasse Zementgehalt z		CEM II/B-S 42,5 N (st)			
	kg/m <sup>3</sup>	350		350	
Wassergehalt w/z-Wert		138 0,39		140 0,40	
Gesteinskörnung					
Sand 0/2a	kg/m <sup>3</sup>	526		539	
Kiessand 2/8	kg/m <sup>3</sup>	374		205	
Kies 8/16	kg/m <sup>3</sup>	266		446	
Splitt 11/16	kg/m <sup>3</sup>	246		-	
Splitt 16/22	kg/m <sup>3</sup>	466		694	
Gesamtgehalt		1.878		1.884	
Zusatzmittelart		LP		LP	

Tafel 6: Frischbetoneigenschaften (Beobachtungsstrecke)

Eigenschaft		Mischanlage		Baustelle	
Verdichtungsmaß		1,32		1,31	
Luftgehalt		5,4		5,0	
Rohdichte		kg/m <sup>3</sup>		2.327	
tatsächlicher Wassergehalt		kg/m <sup>3</sup>		141	
Lufttemperatur		°C		4,8	
Betontemperatur		°C		13,7	

Tafel 7: Festbetoneigenschaften (Beobachtungsstrecke)

Eigenschaften		2 d	7 d	28 d	56 d	
Rohdichte		kg/m <sup>3</sup>	2.317	2.315	2.317	2.323
Druckfestigkeit		N/mm <sup>2</sup>	23	36	46	50
Biegezugfestigkeit		N/mm <sup>2</sup>		5,3	6,2	

### 6.3 Betonzusammensetzung

Die Regelungen der ZTV Beton-Stb, die die Zusammensetzung von Straßenbetonen in sehr engen Grenzen vorschreiben, lassen nur geringe Differenzierungen im Mischungsentwurf zu. Folglich ähneln sich die Betonzusammensetzungen verschiedener Autobahnlose häufig.

Dementsprechend wurde der Zement CEM II/B-S 42,5 N (st) für Betonfahrbahndecken vor seinem Einsatz in der Beobachtungsstrecke bereits an einer typischen Straßenbetonrezeptur im Labor (Laborbeton) erprobt. Die Betonzusammensetzungen sind in Tafel 5 aufgeführt.

Der Vergleich des CEM II/B-S 42,5 N (st) mit dem bisher produzierten CEM I 32,5 R (st) erfolgte in erster Linie an den Laborbetonen; die Übertragbarkeit auf die Praxisbedingungen wurde dann an der Beobachtungsstrecke getestet.

### 6.4 Frischbetonuntersuchungen

Obwohl die Bereitstellung des Frischbetons für die Beobachtungsstrecke durch nur eine Transportbetonanlage auch hinsichtlich der erreichbaren Kapazität nicht das Optimum darstellte, konnte in kürzester Zeit die Verarbeitungskonsistenz sicher eingestellt werden (Tafel 6).

### 6.5 Festbetonuntersuchungen

Zur Beurteilung wurde neben dem Laborbeton natürlich der Beton der Beobachtungsstrecke herangezogen. Dazu standen sowohl Probekörper zur Verfügung, die aus dem an der Einbaustelle entnommenen Beton im Labor hergestellt wurden, als auch Bohrkern aus der Fahrbahndecke. Gleichzeitig wurden so die Einflüsse der Fertigungstechnologie und der Umweltbedingungen mit erfasst.

Neben den üblichen Kennwerten, wie Rohdichte, Druck- und Biegezugfestigkeit, wurden der Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Test ermittelt und die Luftporenkennwerte bestimmt.

### 6.5.1 Ergebnisse der Festbetonuntersuchungen am Laborbeton

Die Beurteilung der praxisrelevanten Eigenschaften des CEM II/B-S 42,5 N (st) im Beton erfolgte im Vergleich zum langjährig bewährten Rüdersdorfer Fahrbahndeckenzement

CEM I 32,5 R (st). Erreichtes Ziel war die Gleichwertigkeit hinsichtlich anwendungstechnischer Aspekte (Tafel 4).

### 6.5.2 Ergebnisse der Untersuchungen an Probekörpern aus dem Beton der Beobachtungsstrecke

Die an Würfeln aus dem Beton der Beobachtungsstrecke ermittelten Werte (Tafel 7) bestätigten die am Laborbeton ermittelten Ergebnisse. Die erforderlichen Festigkeiten wurden sicher erreicht.

Der hohe Frost-Tausalz-Widerstand des Betons mit Portlandhüttenzement CEM II/B-S 42,5 N (st) wurde sowohl an den Schalflächen als auch an den mit Besenstrich versehenen Probekörperoberflächen nachgewiesen. Die Anfangsabwitterung bis 4 Frost-Tau-Wechsel war an der Probekörperoberfläche erwartungsgemäß etwas größer als an der Schalfläche, danach sind die Abwitterungsraten unabhängig von der Art der Oberfläche gleich groß (Bild 15). Das unterschiedliche Abwitterungs-

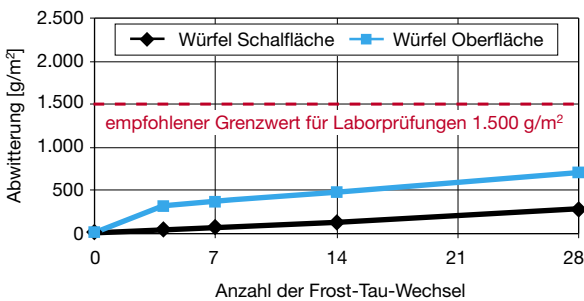


Bild 15: Frost-Tausalz-Widerstand von Fahrbahndeckenbeton mit CEM II/B-S 42,5 N (st): Abwitterungskurven

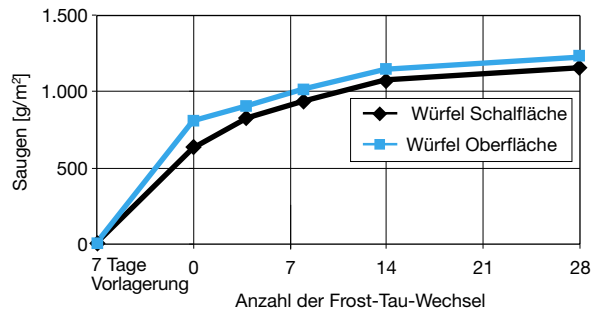


Bild 16: Frost-Tausalz-Widerstand von Fahrbahndeckenbeton mit CEM II/B-S 42,5 N (st): Saugkurven

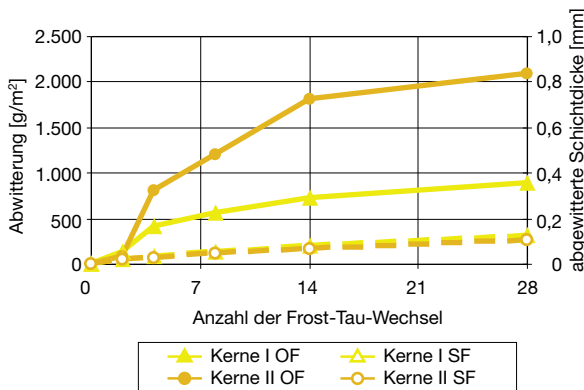


Bild 17: Abwitterungsverhalten von Bohrkernen aus der Beobachtungsstrecke im CDF-Test. Prüfung der Fertigungsoberfläche (OF) und der Schnittfläche/Bohrkernrückseite (SF);

Kerne I: bei leichtem Nieselregen betoniert und nachbehandelt, Kerne II: bei starkem Regen betoniert und nachbehandelt

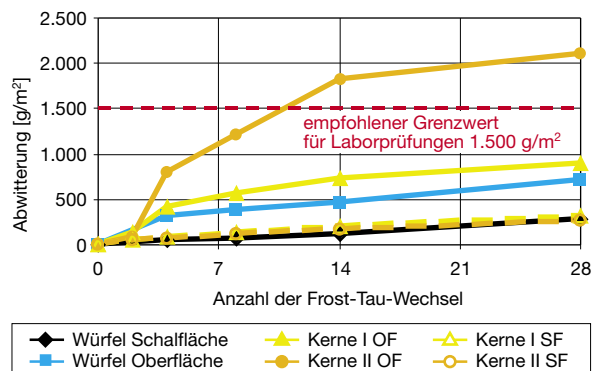


Bild 18: Vergleich des Abwitterungsverhaltens von Bohrkernen aus der Beobachtungsstrecke mit an Würfeln ermittelten Werten (Beton aus der Beobachtungsstrecke); OF: Fertigungsoberfläche Bohrkern SF: Schnittfläche/Bohrkernrückseite

Kerne I: bei leichtem Nieselregen betoniert und nachbehandelt, Kerne II: bei starkem Regen betoniert und nachbehandelt



verhalten ist nicht vordergründig aus dem Saugverhalten ableitbar, wie **Bild 16** zeigt, sondern vielmehr auf die Oberflächenstruktur zurückzuführen.

Die Luftporenkennwerte des Betons erfüllen die Anforderungen an LP-Betone (**Tafel 8**).

### 6.5.3 Ergebnisse an Bohrkernen aus der Beobachtungsstrecke

Ob die Zusammensetzung eines Betons zur Sicherstellung eines hohen Frost-Tausalz-Widerstands geeignet ist, kann an Schal- oder Schnittflächen von Probekörpern bereits im Vorfeld von Betonagen nachgewiesen werden. Als Abnahmekriterium für die Prüfung von Laborprobekörpern wird beim CDF-Test im Allgemeinen der Grenzwert von 1.500 g/m<sup>2</sup> herangezogen. Ob jedoch auch die durch weitere Faktoren beeinflusste Oberfläche einer Fahrbahndecke einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufweist, ist nur an direkt aus dem Bauwerk entnommenen Proben realistisch zu beurteilen, denn technologische Faktoren und Umwelteinflüsse während des Einbaus spielen hierbei eine wesentliche Rolle. Die an Bohrkernen aus der Beobachtungsstrecke gewonnenen Ergebnisse verdeutlichen diesen Aspekt. Der für die Prüfung im Rahmen der Eignungsprüfung geltende Wert von 1.500 g/m<sup>2</sup> wird hier für die Bauwerksprüfung nur als Orientierungswert herangezogen.

Die Herstellung der Beobachtungsstrecke erfolgte unter denkbar ungünstigen Witterungsbedingungen, was allerdings – wie bei einer Beobachtungsstrecke gewünscht – auch zu zusätzlichen Erkenntnissen führte. Für den am Streckenanfang bei leichtem Nieselregen betonierten und nachbehandelten Bereich I wurde an den Kernoberflächen (Kerne I OF) ein hoher Frost-Tausalz-

*Tafel 8: Kennwerte zur Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands; Würfel aus Beton der Beobachtungsstrecke (nach 28 Tagen)*

			Messwerte	Anforderungen
Abwitterung (CDF-Test)	Schalfläche Oberfläche	g/m <sup>2</sup>	277 809	≤ 1.500
Luftporenkennwerte (Anschliff)	Gesamtluftgehalt A	Vol.-%	4,2	–
	Abstandsfaktor L	mm	0,19	≤ 0,24
	Mikroluftporengehalt A300	Vol.-%	1,9	≥ 1,5

*Tafel 9: Kennwerte zur Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands; Bohrkern aus der Beobachtungsstrecke nach (28 Tagen)*

			Messwerte		Anforderungen
			Bereich I	Bereich II	
Abwitterung (CDF-Test)	Schnittfläche Oberfläche	g/m <sup>2</sup>	319 892	264 2191	–
Luftporenkennwerte (Dünnschliff)	Gesamtluftgehalt A	Vol.-%	6,7	2,8	–
	Abstandsfaktor L	mm	0,12	0,13	≤ 0,24
	Mikroluftporengehalt A300	Vol.-%	2,8	1,8	≥ 1,5

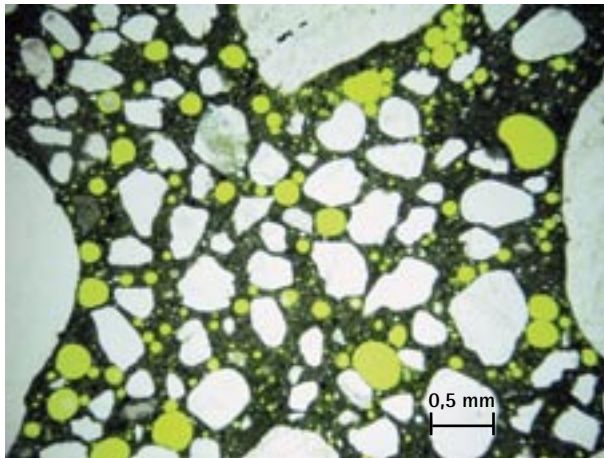
Widerstand nachgewiesen (**Bild 17**). Die Abwitterungsraten der Bohrkern des Bereichs I lagen in der gleichen Größenordnung, wie die Abwitterung von den Würfeloberflächen (**Bild 18**), womit die im Labor bereits ermittelte gute Betonqualität auch unter Praxisbedingungen am Bauwerk bestätigt wurde. Das zeigt auch die homogene Verteilung der Mikroluftporen in **Bild 19**.

Der später bei starkem Regen betonierte und ebenfalls mit Nachbehandlungsmittel eingesprühte Bereich II der Strecke (Kerne II OF) wies erwartungsgemäß durch die Beeinträchtigungen wesentlich schlechtere Oberflächeneigenschaften auf als der Bereich I und überschritt bereits nach 14 Frost-Tau-Wechseln das für Laborprobekörper herangezogene Abwitterungskriterium von 1.500 g/m<sup>2</sup> (**Bild 17**).

Die Anforderungen an die Luftporenkennwerte wurden in beiden Ab-

schnitten erfüllt, jedoch ist auch hier ein deutlicher Unterschied im Gesamtluftgehalt und im Mikroluftporengehalt erkennbar (**Tafel 9**). Die schichtenweise Auswertung der Luftporenkennwerte an Dünnschliffen bis 5 cm Tiefe zeigt, dass im Bereich II der Mikroluftporengehalt im oberflächennahen Bereich viel geringer ist und erst zu tiefer liegenden Bereichen hin zunimmt. Dieses Ergebnis geht konform mit den Ergebnissen der CDF-Prüfung. Dies ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass das Nachbehandlungsmittel sich bei dem starken Regen mit dem Wasser vermischt hatte. Statt, wie angestrebt, einen geschlossenen Film auf der Betonoberfläche auszubilden, war dieses Gemisch in die oberflächennahe Schicht des Betons (ca. 0,6 mm bis 0,7 mm) eingedrungen, erhöhte den w/z-Wert und umhüllte dort die Betonbestandteile, so dass der Zement z.T. nicht mehr ungehindert reagieren konnte. Nachdem diese vorgeschädigte Schicht im Lau-

Bild 19: Dünnschliff des Fahrbahndeckenbetons aus Bereich I: Ausreichender Eintrag von Mikroluftporen



fe der ersten 14 Frost-Tau-Wechsel offensichtlich abgewittert war, entsprach die Abwitterungsrate und damit die Betonqualität des Bereichs II der des Betons aus dem Bereich I.

Eine einheitlich hohe Betonqualität der gesamten Beobachtungsstrecke, unabhängig von dem Oberflächenphänomen, bestätigen auch die Abwitterungsraten der geschnittenen Bohrkernrückseiten in 7 cm Tiefe (Kerne I SF, Kerne II SF) in Bild 17. Diese entsprachen den an den geschalteten Seitenflächen der Würfel ermittelten Werten (Bild 18).

## 7 Schlussfolgerungen

□ Mit dem im Alkaligehalt angepassten Fahrbahndeckenzement CEM II/B-S 42,5 N (st) ist Fahrbahndeckenbeton mit gleich hoher Qualität wie mit dem bisherigen Fahrbahndeckenzement CEM I 32,5 R (st) herstell- und einbaubar.

□ Wesentliche Bedeutung kommt der Nachbehandlung der Oberfläche der Betonfahrbahn zu. Das Nachbehandlungsmittel kann, wenn es zum falschen Zeitpunkt (Oberfläche nicht mattfeucht/Bluten) oder unter ungünstigen Bedingungen (Regen) aufgetragen wird, die Betonoberfläche nicht nur nicht schützen, sondern sogar zusätzlich schädigen. Ein Betonieren bei Regen ist unbedingt zu vermeiden, um eine gute Oberflächenqualität zu erreichen.

□ Instabilitäten des Betons, die sich in Leimanreicherungen in der obersten Betonschicht und Wasseranreicherungen/Bluten äußern, beeinträchtigen die Wirksamkeit des Nachbehandlungsmittels und haben wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Betonrandzone. Sie sind deshalb unbedingt zu vermeiden.

## 8 Literatur

- [1] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau ARS 15/2005, Sachgebiet 06.1: Straßenbaustoffe; Anforderungen; Eigenschaften und 06.2: Straßenbaustoffe; Qualitätssicherung. Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- [2] FGSV 390/12: Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen; Teil: Winterdienst, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1997.
- [3] Durth, W.; Hanke, H.: „Handbuch Straßenwinterdienst“, Kirschbaum Verlag, Bonn 2004, S. 140.
- [4] DAfStb-Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton“, Ausgabe Mai 2001.
- [5] Bilgeri, P.; Fuchs, A.; Henneken, R.: Innovation im Autobahnbau – Fahrbahndecke mit Hochofenzement CEM III/A 42,5 N. Beton-Informationen 45 (2005) H. 1, S. 3-16.