

Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton

Von Peter Bilgeri, Dortmund; Eberhard Eickschen, Düsseldorf; Klaus Felsch, Schelklingen; Ingbert Klaus, Deuna; Paul Vogel, Wiesbaden; Karsten Rendchen, Sehnde

1 Einleitung

Hauptanforderungen an die Gebrauchseigenschaften von Betonfahrbahndecken sind u.a. eine hohe Tragfähigkeit und Verformungsstabilität sowie eine ausreichende Dauerhaftigkeit gegenüber den Beanspruchungen aus Klima und Verkehr. Darüber hinaus sind besonders Fragen der Verkehrssicherheit (z.B. Griffigkeit oder Helligkeit, **Bild 1**) und des Umweltschutzes (wie Lärmemission, Recyclingfähigkeit) und in zunehmendem Maße der Nachhaltigkeit von Baustoff und Bauweise von Bedeutung. Betonfahrbahndecken zählen im Gebrauchszustand zu den am höchsten beanspruchten unbewehrten Betonbauteilen. An die Bauausführung sowie den Beton und die dafür verwendeten Ausgangs-

stoffe müssen daher sehr hohe Anforderungen gestellt werden.

In Deutschland war bis Mitte der 90er Jahre Portlandzement der Standardzement im Bauwesen insgesamt. Mit der Einführung der neuen europäischen Zementnorm DIN EN 197-1 erhöhte sich im Vergleich zum Portlandzement der Anteil der CEM II- und CEM III-Zemente. **Bild 2** zeigt die Entwicklung der Anteile der Zementarten am Inlandsversand in Deutschland.

2 Hauptbestandteile der CEM II- und CEM III-Zemente

Für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton können in Deutschland neben Portlandzement auch Port-

landhüttenzement CEM II-S, Portlandschieferzement CEM II-T, Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL und Hochofenzement CEM III/A eingesetzt werden.

CEM II- bzw. CEM III-Zemente werden durch gemeinsames Mahlen der Zementbestandteile oder getrenntes Mahlen und anschließendes Mischen der Zementbestandteile (Portlandzementklinker und Sulfatträger sowie weitere Hauptbestandteile Hütten sand, Kalkstein oder gebrannter Ölschiefer) produziert.

Portlandzementklinker wird durch Brennen eines Gemischs aus Kalkstein, Ton und quarzhaltigem Sand hergestellt.

Hütten sand ist ein latent-hydraulischer Stoff. Er entsteht aus feuerflüssiger Hochofenschlacke, die mit Wasser schnell abgekühlt wird, glasig erstarrt und fein zerteilt (granuliert) wird.

Für die Herstellung von *Portlandkalksteinzement* wird hochwertiger, speziell ausgesuchter und aufbereiteter Kalkstein verwendet.

Gebrannter *Ölschiefer* wird im Wirbelschichtverfahren bei Tempera-



Bild 1: Bundesautobahn A44 Unna-Kassel mit Asphalt- und Betonfahrbahndecke (untere Fahrbahn mit CEM III, obere Fahrbahn mit CEM I)

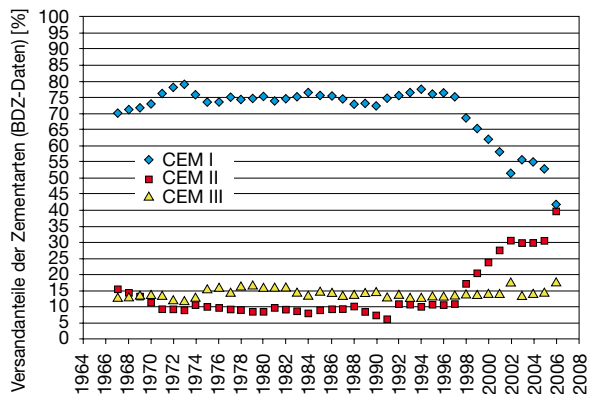


Bild 2: Entwicklung der Anteile der Zementarten am Inlandsversand zwischen 1967 und 2006 [1]

turen von etwa 800 °C hergestellt. Aufgrund der Zusammensetzung des natürlichen Ölschiefers und des Herstellungsverfahrens enthält gebrannter Ölschiefer Phasen, die wie Portlandzementklinker hydraulisch reagieren.

Im Rahmen der globalen Aufgabe des Klimaschutzes ist die Reduktion von CO₂-Emissionen eine wichtige Aufgabe. CEM II- bzw. CEM III-Zemente enthalten einen geringeren Anteil an Portlandzementklinker. Insbesondere das Brennen des Klinkers erfordert einen hohen Energiebedarf und führt zu rohstoffbedingten CO₂-Emissionen. Eine Reduzierung des Klinkeranteils durch Einsatz anderer Zementhauptbestandteile kann daher schon bei der Zementproduktion einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten. Darüber hinaus werden auch die vorhandenen Ressourcen geschont. In Bild 3 [2] ist ein Wirkungsbilanzvergleich für Straßenbetone in Bezug auf die Wirkungsbilanzen „Bedarf an nicht erneuerbarer Energie“ (BNEE) sowie „Treibhauspotenzial“ (GWP), bezogen auf eine Nutzungsdauer von 20 bzw. 100 Jahren (GWP 20 a und GWP 100 a), darge-

Tafel 1: Anteil Betondecken im deutschen Straßennetz

Straßenklasse	Länge [km]	Anteil Betondecke
Autobahnen	12.050	24 % [5]
Bundesstraßen	41.150	geschätzt rd. 1 %
Land- und Kreisstraßen	178.200	i.d.R. kein Beton
Gemeindestraßen	395.400	i.d.R. kein Beton
Gesamtlänge	626.800 [4]	geschätzt rd. 1 %

stellt. Die Vergleichswerte in Bild 3 beziehen sich auf den Ersatz von Portlandzement CEM I durch Portlandhüttenzement CEM II/B-S mit 30 M.-% Hüttsand. Das Ergebnis zeigt, dass bei Verwendung eines Portlandhüttenzements der Bedarf an nicht erneuerbarer Energie um 25 % und das Treibhauspotenzial um 30 % reduziert werden kann. Bei Einsatz von CEM III/A werden gegenüber einem CEM I Reduktionen um 45 % (BNEE) bzw. 50 % (GWP) erreicht. Die Wirkungsbilanzdaten für das Treibhauspotenzial, bezogen auf die unterschiedlichen Nutzungsdauern von 20 Jahren bzw. 100 Jahren, ergeben keine Unterschiede, da von der Betonstraße während der Nutzung kein Beitrag zum Treibhauspotenzial ausgeht.

3 Einsatzbereiche von Betondecken

Betondecken sind in Deutschland im klassifizierten Straßenbau (Gesamtlänge des Netzes 626.800 km [4]) fast ausschließlich im Bereich der Autobahnen vertreten. Der Betondeckenanteil im gesamten Autobahnnetz beträgt rd. 24 % [5]. Außerhalb des Autobahnnetzes werden Betondecken nur bei hochbelasteten Bundesstraßen/Ortsumgehungen (z.B. Bundesstraße B 8 in Düsseldorf [6] (Bild 4), B 87 Ortsumfahrung Eilenburg, B6n Aschersleben-Blankenburg) oder im Bereich von Werkstraßen eingesetzt. Der Anteil der Betondecken beträgt bei den Bundesstraßen nur rd. 1 %. Bei Land-, Kreis- und Gemeindestraßen wird

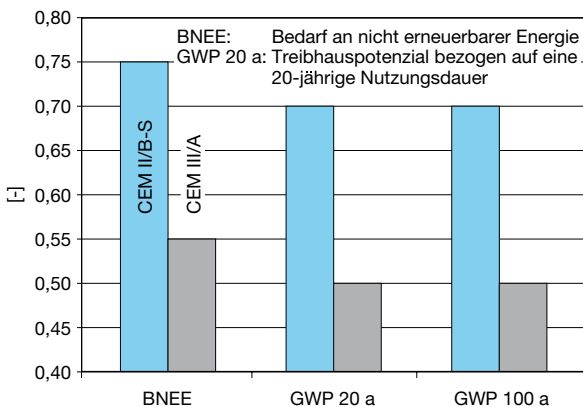


Bild 3: Wirkungsbilanzvergleich bei Ersatz von CEM I durch CEM II/B-S- bzw. CEM III/A-Zemente [2] (Straßenbeton mit $z = 350 \text{ kg/m}^3$ und $w/z = 0,43$, Sachbilanzdaten nach [3])



Bild 4: Ortsumfahrung Bundesstraße B8 in Düsseldorf [6]

die Betonbauweise bis auf Sonderfälle nicht eingesetzt (Tafel 1). Darüber hinaus werden Betondecken auch für Flugbetriebsflächen (Start- und Landebahnen, Abstellflächen), für Flächenbefestigungen für die Industrie (Abstellflächen, Industrieböden) und seit einigen Jahren auch für die Feste Fahrbahn aus Beton für die Neu- und Ausbaustrecken der Deutschen Bahn AG verwendet.

4 Erfahrungssammlung

4.1 Verwendung von Zementen für Betonfahrbahndecken in Deutschland

Betonstraßen wurden in der Vergangenheit überwiegend mit Portlandzement ausgeführt. Vereinzelt wurden Eisenportlandzement (Portlandhüttenzement) und Portlandschieferzement eingesetzt. Beispiele hierfür sind u.a. :

- BAB A 4 bei Meerane (Baujahr 1936/37): Die Strecke wurde inzwischen überbaut und bildet jetzt die Tragschicht für die Asphaltdeckschicht (Bild 5) [7, 8]. Im Bild links ist die etwa 15 cm dicke Asphaltkonstruktion (aus dem Jahr 1992) zu sehen, dann die Fuge zur alten Betondecke mit EPZ und ganz rechts im Bild der auch nach 63 Jahren noch blauschwarz gefärbte untere Teil des Betonbohrkerns.
- BAB A 29 bei Wilhelmshaven mit Eisenportlandzement (Baujahr 1979) (Bild 6) [7, 8]
- BAB A 1 bei Reinfeld; RF Hamburg (Baujahr 1978/79)
- Werksstraße der Holcim AG in Salzgitter mit CEM II/B-S 32,5 R (Baujahr 1997)
- Werksstraße Narjes & Bender mit CEM III/A 42,5 N [9]
- Werksstraße auf dem Gelände ThyssenKrupp Steel AG in Duis-

burg mit CEM II/B-S 32,5 R (Baujahr 1998) [10]

- Werkstraße CEMEX OstZement GmbH in Rüdersdorf mit CEM II/B-S 42,5 N (st) (Baujahr 2004) (Bild 7) [11]
- Werkstraße Holcim Baden-Württemberg GmbH in Dotternhausen mit CEM II/B-T 42,5 N (Baujahr 2004)

Einen genauen Überblick über die CEM II- und CEM III-Zemente, die ab 1993 für den Bau von Betonfahrbahndecken auf Bundesfernstraßen und Flugbetriebsflächen verwendet wurden, kann den Veröffentlichungen der Bundesanstalt für das Straßenwesen (BASt) [12] entnommen werden. In Tafel 2 sind einige der mit diesen Zementen zwischen



Bild 5: 1999 entnommener Bohrkern aus der BAB A4 bei Meerane



großes Foto: Langkamp, Aisen AG

Bild 6: BAB A29 Wilhelmshaven-Oldenburg



Bild 7: Werkstraße im Zementwerk Rüdersdorf

Tafel 2: Verkehrsflächen mit CEM II- und CEM III-Zementen

Baujahr	Zement	Strecke
1997	CEM II/A-S 42,5 R	BAB A9, T+R Hirschberg, km 241, 8 RF Berlin-Nürnberg
1997	CEM III/A 42,5 LA	B56, Düren
1997	CEM II/A-LL 32,5 R	BAB A6, Waidhaus-Pilsen
1999	CEM II/B-S 32,5 R	BAB A5, St. Leon, km 594,254 bis 598,212, RF Karlsruhe [13, 14]
2000	CEM II/B-S 32,5 R	BAB A6, Walldorfer Kreuz, AS Hockenheim
2002	CEM II/B-S 32,5 R	BAB A23, Lägerdorf
2002	CEM II/B-S 32,5 R	BAB A4, Erfurt/Ost-Erfurt/West, RF Dresden
2002	CEM II/B-S 32,5 R	BAB A71, Schloßvippach-Schwerborn, RF Erfurt und RF Sömmerda
2002	CEM III/A 42,5 N	BAB A44 Unna, RF Kassel [15, 16]
2003	CEM II/B-S 32,5 R	BAB A4, Erfurt/Ost-Erfurt/West, RF Eisenach (nur im Unterbeton)
2003	CEM II/B-S 32,5 R	Fliegerhorst Laage

1997 und 2003 gebauten Verkehrsflächen zusammengestellt. Mit Ausnahme einer Strecke (BAB A6 Waidhaus-Pilsen mit CEM II/A-LL) wurden stets hüttensandhaltige Zemente (überwiegend CEM II/B-S) verwendet.

4.2 Verwendung von Zementen für Betonfahrbahndecken im Ausland

In einigen europäischen Ländern werden seit vielen Jahren im Vergleich zu Deutschland wesentlich häufiger auch CEM II- und CEM III-Zemente erfolgreich eingesetzt, was letztlich auch darauf zurückzuführen ist, dass die Verwendung von Portlandzement wesentlich geringer ist als in Deutschland (Bild 8).

Österreich

Österreich hat eine lange Tradition im Betonstraßenbau, der Anteil der Betonbauweise ist vergleichsweise hoch und beträgt rd. 40 % des gesamten Autobahn- und Schnellstraßennetzes. Die Betondecke wird mit einem Besenstrich oder einem nachgezogenen Jutetuch texturiert bzw. mit einer Waschbetonoberfläche ausgeführt. Als Standardzement wird CEM II/A-S 42,5 N verwendet.

Belgien

Der Anteil an Betonfahrbahndecken am Autobahnnetz beträgt rd. 40 %. Die Regelwerke enthalten sowohl die in Deutschland übliche Plattenbauweise mit verdübelten Fugen als auch die durchlaufend bewehrte Fahrbahndecke. Es sind zwei Zementarten zulässig: CEM I 42,5 LA und CEM III/A 42,5 LA (LA entspricht dem NA-Zement in Deutschland).

Niederlande

Der Anteil an Betonfahrbahndecken am Autobahnnetz beträgt rd. 10 %. Die Decken werden mit offenporigem Asphalt überbaut. Für den Decken-

bau werden vorwiegend Portlandflugaschezement CEM II/B-V 32,5 R oder CEM I 32,5 R eingesetzt.

5 Fahrbahndeckenzemente

5.1 TL Beton-StB 06

Die derzeit in Deutschland gültigen Anforderungen an Zemente für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton sind in den TL Beton-StB 06 [17] (erscheint demnächst) geregelt, in die auch das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 12/2006 [18] eingeflossen ist.

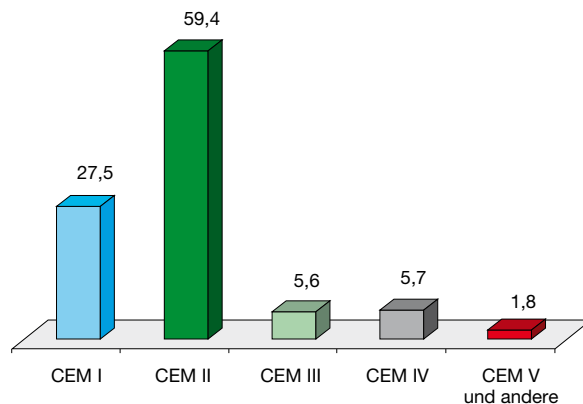


Bild 8: Entwicklung der Anteile der Zementarten in Europa in 2005

Für die Herstellung der Decken ist in der Regel ein Portlandzement CEM I der Festigkeitsklasse 32,5 R oder alternativ 42,5 N nach DIN EN 197-1 oder DIN 1164-10 zu verwenden.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber können aber auch folgende Zemente nach DIN EN 197-1 oder DIN 1164-10 eingesetzt werden:

- Portlandhüttenzement CEM II/A-S oder CEM II/B-S
- Portlandschieferzement CEM II/A-T oder CEM II/B-T
- Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL oder
- Hochofenzement CEM III/A (mindestens Festigkeitsklasse 42,5 N).

Für den Zement CEM I 32,5 R gelten folgende über DIN EN 197-1 hinausgehende Anforderungen:

- Der Wasseranspruch darf 28,0 M.-% nicht überschreiten.
- Die Druckfestigkeit im Alter von 2 Tagen darf 29,0 N/mm² nicht überschreiten.
- Die Mahlfineinheit (Blaine-Wert) darf 3.500 cm²/g nicht überschreiten.

Tafel 3: Geforderter charakteristischer Wert für den Alkaligehalt von Zementen für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton

Zement	Hüttensandgehalt [M.-%]	Alkaligehalt des Zements (Na ₂ O-Äquivalent) [M.-%]	Alkaligehalt des Zements ohne Hüttensand bzw. Ölschiefer (Na ₂ O-Äquivalent) [M.-%]
CEM I, CEM II/A		≤ 0,80	-
CEM II/B-T	-	-	≤ 0,90
CEM II/B-S	21 bis 29	-	≤ 0,90
CEM II/B-S	30 bis 35	-	≤ 1,00
CEM III/A	36 bis 50	-	≤ 1,05

Außerdem gilt für alle Fahrbahndeckenzemente, dass das Erstarren frühestens zwei Stunden nach dem Anmachen beginnen darf.

Die neue TL Beton-StB 06 regelt jetzt auch die Anforderungen an den wirksamen Alkaligehalt der Zemente. Der Alkaligehalt (Na₂O-Äquivalent als charakteristischer Wert) darf die in der **Tafel 3** genannten Werte nicht überschreiten.

5.2 Zementeigenschaften

Durch die Zusammensetzung der Zemente wird eine Vielzahl ihrer Eigen-

schaften beeinflusst. Hierzu zählen u.a.:

- Erstarren
- Wasseranspruch
- Kornverteilung/Feinheit
- Festigkeitsentwicklung/Nacherhärtung
- Hydratationswärme
- Alkaligehalt
- Helligkeit

Um die unterschiedlichen Zementeigenschaften hinsichtlich ausgewählter Kennwerte zahlenmäßig zu belegen, wurden die Ergebnisse von Zementprüfungen zusammenfassend

Tafel 4: Zusammenfassende Auswertung der Zementeigenschaften (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Zementart (in Klammern: Anzahl der Zemente)

Zementart	Blaine-Wert [cm ² /g]	Erstarrungsbeginn [Minuten]	Wasseranspruch [%]	Druckfestigkeit	
				2 d [N/mm ²]	28 d [N/mm ²]
CEM I 32,5 R Straßenbauzement (29)	2.880	175	25,0	22	49
CEM II/A-LL 32,5 R (19)	3.900	190	27,5	24	49
CEM II/A-LL 42,5 R (13)	4.660	175	30,0	34	58
CEM II/A-S 32,5 R (13)	3.160	200	27,5	21	49
CEM II/B-S 32,5 R (26)	3.290	200	27,5	18	49
CEM II/B-S 42,5 N (4)	3.770	185	28,5	20	55
CEM II/B-S 42,5 R (3)	4.060	200	30,0	27	58
CEM III/A 42,5 N (16)	4.150	200	29,5	18	57

ausgewertet und in Abhängigkeit von der Zementart in **Tafel 4** dargestellt. (Auf Portlandschieferzement wird dabei wegen der geringen Anzahl nicht eingegangen.)

5.2.1 Erstarren

Kalkstein- und hüttensandhaltige Zemente weisen mit zunehmendem Kalkstein- bzw. Hüttensandgehalt etwas längere Erstarrungszeiten auf als CEM I-Zemente.

5.2.2 Wasseranspruch

Der Wasseranspruch von Portlandkalksteinzementen und hüttensandhaltigen Zementen liegt etwas oberhalb des Wasseranspruchs von CEM I-Fahrbahndeckenzementen. Grundsätzlich kann aus dem Wasseranspruch, geprüft am Zementleim, nicht unmittelbar auf den Wasseranspruch des Betons geschlossen werden, weil sich andere Einflüsse (z.B. Gesteinskörnungen, Sieblinie, Zusatzmittel) überlagern.

5.2.3 Kornverteilung/Feinheit

CEM II- (Ausnahme CEM II-M) und CEM III-Zemente bestehen aus zwei Hauptbestandteilen, die in ihrer Kornverteilung aufeinander abgestimmt sind. Die hüttensandhaltigen und kalksteinhaltigen Zemente haben im Allgemeinen eine höhere Feinheit als CEM I-Zemente der gleichen Festigkeitsklasse. Dies kann sich besonders bei Verwendung mehlkornarmer Sande günstig auf die Verarbeitbarkeit des Betons auswirken. Die höhere Mahlfeinheit der CEM II- und CEM III-Zemente wirkt sich erfahrungsgemäß nicht nachteilig auf weitere Betoneigenschaften aus.

5.2.4 Festigkeitsentwicklung/ Nacherhärtung

Bei gleicher Festigkeitsklasse ist die Frühfestigkeit hüttensandhaltiger Zemente etwas geringer und nimmt mit zunehmendem Hüttensandgehalt ab. Dies kann durch eine höhere

Festigkeitsklasse ausgeglichen werden. Die 28-Tage-Druckfestigkeit der CEM II-S-Zemente entspricht der Festigkeit anderer Normzemente. Vorteilhaft ist bei hüttensandhaltigen Zementen die größere Nacherhärtung. Kalksteinhaltige Zemente weisen gegenüber Portlandzementen eine etwas höhere Frühfestigkeit auf.

5.2.5 Hydrationswärme

Hüttensandhaltige Zemente entwickeln in Abhängigkeit vom Hüttensandgehalt eine z.T. wesentlich geringere Hydrationswärme als CEM I-Zemente. Ebenso können kalksteinhaltige Zemente im Vergleich zu CEM I-Zementen eine geringere Hydrationswärmeentwicklung aufweisen.

5.2.6 Alkaligehalt

Bei CEM I-Zement ist der überwiegende Teil der Alkalien löslich, so dass als wirksamer Alkaligehalt der gesamte Alkaligehalt des Zements maßgebend ist. Da bei den hüttensandhaltigen Zementen CEM II-S und CEM III/A nur geringe Anteile der Alkalien aus dem Hüttensand freigesetzt werden, können die zulässigen Na_2O -Äquivalente (bezogen auf den Zement ohne Berücksichtigung des Hüttensands) mit zunehmendem Hüttensandgehalt höher sein (siehe **Tafel 3**). Der im Vergleich zu CEM I-Zement mit gleicher Klinkerbasis geringere wirksame Alkaligehalt der hüttensandhaltigen Zemente verringert das Risiko einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR, siehe auch **Bild 12**).

5.2.7 Helligkeit

Betone mit kalkstein- und hüttensandhaltigen Zementen sind zum Teil deutlich heller als Betone mit Portlandzement. Je größer die Mahlfeinheit des Zements und/oder sein Hüttensand- bzw. Kalksteingehalt ist, desto heller werden die damit hergestellten Betone.

6 Betoneigenschaften

Die Zusammenstellung in **Tafel 2** zeigt, dass in den letzten zehn Jahren neben dem Standardzement CEM I fast ausnahmslos hüttensandhaltige Zemente für den Bau von Betonfahrbahndecken verwendet wurden. Im Folgenden sollen daher qualitativ die wesentlichen Einflüsse der Zementart auf die Eigenschaften von Fahrbahndeckenbeton mit hüttensandhaltigen CEM II- und mit CEM III-Zementen beschrieben und mit denen von Beton mit bisher üblichem Portlandzement CEM I 32,5 R verglichen werden (**Tafel 5**). Diese Bewertung kann allerdings in einzelnen Regionen von den nachfolgend aufgeführten Erfahrungen abweichen.

6.1 Verhinderung wilder Rissbildung

Die Neigung zur Bildung „wilder Risse“ ist u.a. abhängig von der Festigkeitsentwicklung des Betons, die wiederum in erheblichem Maße von der Zementart bestimmt wird. Langsam erhärtende Betone sind hier vorteilhaft. Darüber hinaus ist die Temperaturerhöhung im Beton infolge Hydratation bei hüttensandhaltigen Zementen geringer. Dadurch wird auch die Gefahr der Rissbildung infolge Eigenspannungen durch Temperaturunterschiede geringer (siehe auch **Abschnitt 6.7**).

6.2 Blüten bzw. Wasserabsondern

Die Neigung zum Wasserabsondern wird außer vom Wassergehalt in erster Linie von der Menge des Feinstanteils $< 0,25$ mm der Betonmischung beeinflusst. Für ein geschlossenes Gefüge und eine gute Verarbeitbarkeit muss der Beton eine Mindestmenge an Feinstanteilen enthalten. Andererseits ist nach **ZTV Beton-StB 06 [19]** der Anteil $< 0,25$ mm auf 450 kg/m^3 begrenzt,

damit ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand und ein hoher Verschleißwiderstand des Betons erreicht werden (außer Waschbeton).

Bei sonst gleichen Bedingungen kann das Bluten bzw. Wasserabsondern des Betons durch die Kornverteilungskurve bzw. Feinheit des Zements beeinflusst werden. Grobe Zemente haben ein geringeres Wasserrückhaltevermögen als feine Zemente. Bei Verwendung von Zementen mit zwei Hauptbestandteilen kann die Neigung zum Wasserabsondern des Betons herabgesetzt werden, insbesondere durch feinere Mahlung und die Wahl einer höheren Festigkeitsklasse.

6.3 Nachbehandlung

Wesentlich für die Qualität und Dauerhaftigkeit von Beton bzw. des Oberflächenmörtels ist eine ausreichend lange und wirkungsvolle Nachbehandlung. Zusätzlich wird

dadurch das Fröhschwinden des Betons gering gehalten.

Bei gleicher Zementfestigkeitsklasse sind Betone umso nachbehandlungsempfindlicher, je höher der Hüttensandanteil im Zement ist. Werden jedoch diese Zemente beispielsweise durch feinere Mahlung und gezielte Zusammensetzung der Hauptbestandteile in einer höheren Festigkeitsklasse mit höherer Frühfestigkeit hergestellt, entspricht die Nachbehandlungsdauer der von Betonen mit CEM I 32,5 R.

6.4 Festigkeitsentwicklung/ Nacherhärtung

Die Frühfestigkeit von Beton mit CEM II-S-Zementen ist abhängig vom Hüttensandgehalt. Bei gleicher Festigkeitsklasse nimmt die Festigkeit in jungem Alter mit zunehmendem Hüttensandgehalt ab (Tafel 4). Durch Erhöhung der Festigkeitsklasse sind ähnliche Frühfestig-

keiten im Beton zu erzielen wie bei Verwendung von CEM I 32,5 R.

Die Nacherhärtung von Betonen mit hüttensandhaltigen Zementen gleicher Festigkeitsklasse ist deutlich höher als bei Betonen mit CEM I 32,5 R (Bild 9). Daraus kann sich eine zusätzliche Tragfähigkeitsreserve und eine Verlängerung der Lebensdauer ergeben.

6.5 Frost-Tausalz-Widerstand

Betonstraßen werden während ihrer Nutzungsdauer häufigen Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt und in erheblichem Maße mit Tausalz beaufschlagt. Deshalb müssen Fahrbahndeckenbetone der Expositions-klasse XF4 zugeordnet und unter Verwendung von Luftporenbildnern hergestellt werden. Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass zur Erzielung des geforderten Luftgehalts im Frischbeton bei Betonen mit hüttensandhaltigen Zementen eine grö-

Tafel 5: Einfluss der Zementart auf Eigenschaften von Fahrbahndecken

Eigenschaft	Abschnitt im Text	CEM I	CEM II/A-S	CEM II/B-S	CEM II/B-S 42,5		CEM III/A 42,5	
		32,5 R	32,5 R	32,5 R	N	R	N	R
Verhinderung wilder Risse	6.1	+	+	++	++	+	++	+(+)
Verhinderung Bluten bzw. Wasserabsondern	6.2	++	++	+	++	++	++	++
Nachbehandlungsunempfindlichkeit	6.3	+++	++	+	++	+++	++	+++
Festigkeitsentwicklung	6.4	+++	++	+	++	+++	++	+++
Nacherhärtung	6.4	+	+	++	++	+(+)	++	++
Frost-Tausalz-Widerstand (Laboregebnisse)	6.5	+++	+++	++	++	++	++	++
gute Verarbeitung	6.6	+	+	++	++	+	+++	++(+)
niedrige Wärmeentwicklung	6.7	+	+(+)	+++	++	+(+)	++	+(+)
Vermeidung AKR-Risiko	6.8	+	++	+++	+++	+++	+++	+++
Helligkeit	6.9	+	+	++	++	++	+++	+++
Biegezugfestigkeit	6.10	+(+)	+(+)	++	++	++	+++	+++
Oberflächeneigenschaften	6.11	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

+ = gut, ++ = günstiger, +++ = besonders günstig
Klammerwerte: Zwischenwerte

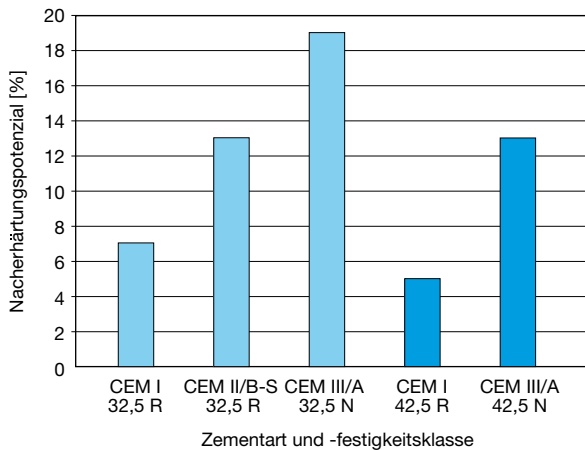


Bild 9: Prozentualer Festigkeitszuwachs verschiedener Betone von einem Alter von 28 Tagen auf 56 Tage in Abhängigkeit von der Zementart

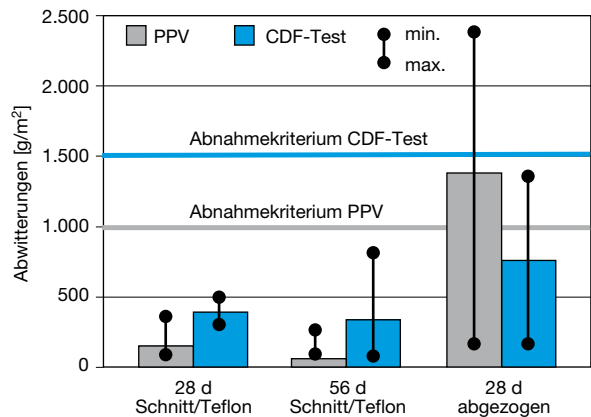


Bild 10: Frost-Tausalz-Widerstand von Fahrbahndeckenbeton mit CEM III/A 42,5 N beim CDF- und Plattenprüfverfahren PPV (Prüffläche PPV: Schnittfläche oder abgezogene Oberfläche; Prüffläche CDF: mit Teflon geschaltete Seitenfläche oder abgezogene Oberfläche) [15]

ßere Zugabemenge des LP-Bildners erforderlich ist als bei Betonen mit CEM I 32,5 R.

Entscheidend für geringe Abwitterungen von Betonen bei einem Frost-Tausalz-Angriff ist die Qualität des Oberflächenmörtels. Wichtig dabei sind insbesondere ein geeigneter Sand, ein geringer w/z-Wert, ein stabiles Luftporensystem sowie eine ausreichend lange und wirkungsvolle Nachbehandlung.

Der Frost-Tausalz-Widerstand von Betonen mit hüttensandhaltigen Zementen wird aufgrund von im Labor ermittelten Abwitterungen z.T. ungünstiger eingeschätzt als der vergleichbarer CEM I-Betone [20]. Dennoch lassen sich Betonfahrbahndecken zielsicher mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand herstellen, da die tatsächlichen natürlichen Witterungsbeanspruchungen deutlich günstiger sind als die Verhältnisse im Rahmen von Laborprüfungen [21, 22].

Bei der Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands (Bild 10) ist zu beachten, dass die vorgeschlagenen

Anhaltswerte für das Plattenprüfverfahren PPV (Prüffläche: Schnittfläche) von 1.000 g/m² bzw. beim CDF-Prüfverfahren (Prüffläche: mit Teflon geschaltete Seitenfläche) von 1.500 g/m² nur für *Laborprobekörper* gelten und nicht für aus dem Bauwerk entnommene *Bohrkerne* (Prüffläche: texturierte Oberfläche) [11].

6.6 Verarbeitung, Verarbeitbarkeit und Ansteifen

Voraussetzung für einen guten Oberflächenschluss des Fahrbahndeckenbetons bei der Herstellung mit dem Gleitschalungsfertiger ist eine gute Verarbeitbarkeit. Bei gleichen Zement- und Wassergehalten weisen Betone mit hüttensandhaltigen Zementen aufgrund der geringeren Zementrohichte ein größeres Zementleimvolumen auf als Betone mit Portlandzementen (Tafel 6). Dies wirkt sich günstig auf die Verarbeitbarkeit aus.

Bei warmer Witterung ist gegenüber Beton mit CEM I die längere Verarbeitbarkeitszeit vorteilhaft. Das geringere Ansteifen von Beton mit Hochofenzement wirkt sich bei ho-

hen Betontemperaturen günstig auf die Verarbeitung von Fahrbahndeckenbeton aus. Dies ermöglicht längere Transportzeiten ohne Qualitätsverluste. Trotzdem können auch bei niedrigen Temperaturen Betone mit hüttensandhaltigen Zementen unter Beachtung einer entsprechend längeren Nachbehandlung eingebaut werden. Betone mit hüttensandhaltigen Zementen lassen sich daher ebenso einfach verarbeiten wie Betone mit anderen Normzementen.

6.7 Wärmeentwicklung

Temperaturunterschiede führen auch in Fahrbahndecken aus Beton bei behinderter Verformung zu Zwangsspannungen. Infolge der Hydratation des Zements steigt die Betontemperatur an. Werden die Temperaturunterschiede zwischen Kern und Oberfläche durch Abkühlung (Nachtabkühlung, Niederschlag etc.) zu groß, kann es beim Überschreiten der Zugfestigkeit des Betons zu Rissen kommen.

Die Wärmeentwicklung von Beton ist im Wesentlichen von der Zement-

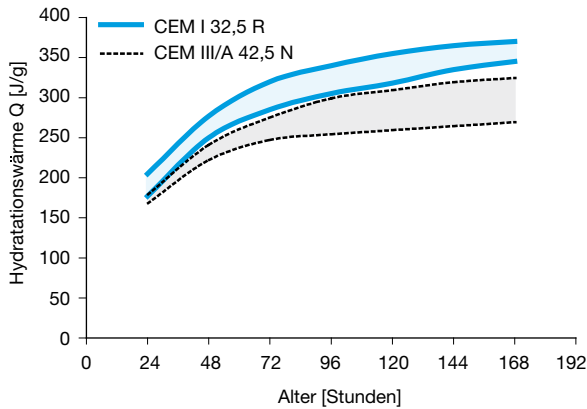


Bild 11: Hydrationswärme verschiedener Zemente unter adiabatischen Bedingungen (Daten vom FEhS-Institut für Baustoff-Forschung e.V.)

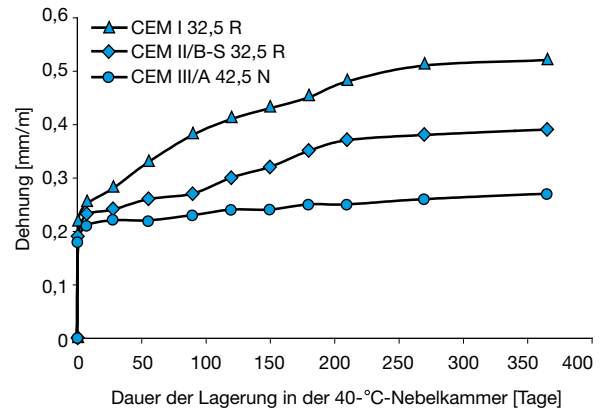


Bild 12: Dehnung von Betonprobekörpern mit reaktiver alkaliempfindlicher Gesteinskörnung in Abhängigkeit von der Zementart und der Dauer der 40-°C-Nebelkammerlagerung (Daten vom Forschungsinstitut der Zementindustrie)

art (Bild 11) und vom Zementgehalt des Betons abhängig. Im Allgemeinen nimmt die Wärmeentwicklung des Betons mit zunehmendem Hüttensandgehalt im Zement ab, nimmt aber mit höherer Festigkeitsklasse wegen des feiner gemahlten Klinkers unter sonst gleichen Bedingungen zu.

Langsam erhärtende Betone haben den Vorteil, dass bei Überlagerung der Temperaturspitzen aus Hydratation und Umgebungstemperatur geringere Temperaturgradienten über die Deckendicke entstehen.

6.8 Risiko einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

Bei der Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) reagieren alkaliempfindliche, kieselsäurehaltige Bestandteile der Gesteinskörnungen mit den Alkalihydroxiden der Porenlösung im Zementstein. Dabei bildet sich ein Gel, das unter Wasserzutritt quellen und zu einer schädigenden Treibreaktion im Beton führen kann. Diese kann noch durch die zusätzliche Alkalizufuhr von außen (Taumittel) verstärkt werden. Der im Vergleich zu CEM I-Zementen mit gleicher Klinkerbasis geringere wirksame Alkaligehalt der

hüttensandhaltigen Zemente (siehe Tafel 3) verringert das Risiko einer schädigenden AKR im Beton. Bild 12 zeigt beispielhaft den Verlauf der Dehnungen von Betonprobekörpern in Abhängigkeit von der Zementart und der Dauer der Lagerung in der 40-°C-Nebelkammer. Mit zunehmendem Hüttensandgehalt (CEM I 32,5 R/CEM II/B-S 32,5 R/CEM III/A 42,5 N) verringern sich die gemessenen Dehnungen.

6.9 Helligkeit

Die Helligkeit der Fahrbahndecke trägt insbesondere bei Dunkelheit und Nässe zur Verkehrssicherheit bei. Durch bessere Sicht werden Personen und Hindernisse früher erkannt und das Unfallrisiko herabgesetzt. Die Helligkeit des Betons wird durch die Eigenfarbe des Sands, den w/z-Wert des Betons (mit größer werdendem w/z-Wert wird der Beton heller, mit abnehmendem w/z-Wert dunkler) und durch die Farbe des Zements beeinflusst. Gemahlener Hüttensand ist heller als Portlandzementklinker. Daher sind feinere hüttensandhaltige Zemente von Vorteil (Bild 13) [15, 16].

Tafel 6: Zementleimvolumen von Fahrbahndeckenzement mit CEM I 32,5 R und CEM III/A 42,5 N [15, 16]

	Zugabemenge [kg/m³]	Dichte [kg/dm³]	Stoffraum [dm³]
Portlandzement CEM I 32,5 R	350	3,1	113
Wasser	146	1,0	146
Zementleim			259
Hochofenzement CEM III/A 42,5 N	350	3,0	117
Wasser	146	1,0	146
Zementleim			263



Bild 13: Betonfahrbahndecke mit CEM I-Zement (links) bzw. mit CEM III-Zement (rechts)

6.10 Biegezugfestigkeit

Betonfahrbahndecken werden vorwiegend auf Biegezug beansprucht. Daher werden in den ZTV Beton-StB 06 in der Erstprüfung neben der Druckfestigkeit auch Mindestanforderungen an die Biegezugfestigkeit gestellt. Eine höhere Biegezugfestigkeit verlängert die Lebensdauer von Betonfahrbahndecken.

Aus vielen Daten der Eigenüberwachung der Zementwerke ist bekannt, dass das Verhältnis von Biegezugfestigkeit zu Druckfestigkeit bei hüttensandhaltigen Zementen günstiger ist als bei Portlandzementen (Bild 14). Bei sachgerechter Herstellung bilden Betone mit hüttensandhaltigen Zementen ein dichteres Gefüge aus und weisen damit auch höhere Bie-

gezugfestigkeiten auf. Die Wahl eines Zements höherer Festigkeitsklasse führt im Beton ebenfalls zu einer höheren Biegezugfestigkeit.

6.11 Oberflächeneigenschaften/ Waschbeton

Die Herstellung einer Betonfahrbahndecke mit hoher Griffigkeit und geringer Geräuschemission ist zu einer der wichtigsten Aufgaben im Betonstraßenbau geworden. Maßgebend für diese Oberflächeneigenschaften von Fahrbahndecken ist die Dauerhaftigkeit der Oberflächentextur [23, 24].

Bei der Herstellung der Betonfahrbahndecke muss durch den Fertiger eine ebene und gleichmäßige Oberfläche erzielt werden, um die Schwingungsanregung des Reifens und die damit verbundene Lärmemission zu verringern. Gleichzeitig muss die Oberfläche, um ausreichend griffig zu sein, eine bei der Herstellung eingeprägte Textur aufweisen. Hierdurch wird zusätzlich verhindert, dass zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche Luft komprimiert wird, die beim Abrollvorgang des Reifens mit einem Zischen entweicht. Bisher wurde diese Textur in Deutschland durch Einprägen

einer Struktur in den frischen Oberflächenmörtel erzeugt, u.a. durch das Abziehen des frischen Betons in Längsrichtung mit einem Jute-tuch. Vereinzelt wurde in den letzten Jahren festgestellt, dass sich die Textur durch eine mangelnde Dauerhaftigkeit des Oberflächenmörtels bereits nach vergleichsweise kurzer Verkehrsbeanspruchung so verändert hatte, dass die Griffigkeit abnahm. Eine Alternative zur Texturierung der frischen Betonoberfläche stellt die Herstellung einer Waschbetonoberfläche dar (Bild 15) [25]. Hierbei wird der Oberflächenmörtel gezielt entfernt und damit der endgültige Zustand der Betonoberfläche hergestellt. Diese Bauweise wurde in Deutschland bisher nur auf vereinzelt Versuchs- und Erprobungsstrecken eingesetzt (Tafel 7). Dagegen werden im Ausland Fahrbahndecken aus Waschbeton mit langfristig geringer Geräuschemission und ausreichender Griffigkeit bereits seit längerem hergestellt.

Der Einfluss unterschiedlicher Straßenoberflächen auf die Geräuschemission des Straßenverkehrs wird auf der Grundlage langjähriger Messungen ermittelt und mit bezogenen Korrekturwerten D_{Str0} beschrieben. Gegenüber einem Referenzbelag als Bezugsbasis werden die Straßenoberflächen als leiser (-) oder lauter (+) eingestuft. Die Standardbetonbauweise nach ZTV Beton (Längstexturierung mit nachgeschlepptem Jute-tuch) wurde bisher als Lärm mindernd eingestuft (D_{Str0} -Wert von -2 dB(A)). Leiser sind nur offenporige Bauweisen. Für Waschbeton gab es bis vor kurzem noch keinen entsprechenden Korrekturwert.

Nach langjährigen Lärmmessungen an verschiedenen Waschbetondecken konnte nunmehr der Nachweis erbracht werden, dass Waschbeton ebenfalls als Lärm mindernd mit

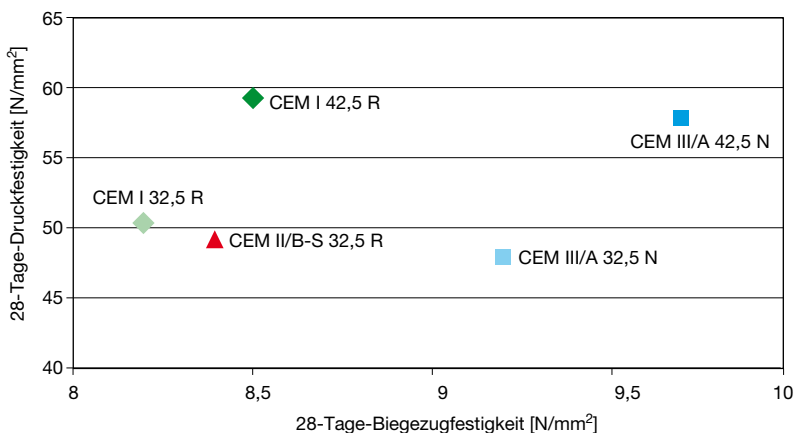


Bild 14: Zusammenhang zwischen Druck- und Biegezugfestigkeit, bestimmt am Normmörtel mit verschiedenen Zementarten



Bild 15: Waschbeton für hochbelastete Autobahnen

einem D_{Str0} -Wert von -2 dB(A) einzustufen ist. Dieser Wert wurde im Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 5/2006 [26] des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung festgeschrie-

Tafel 7: Versuchs- und Erprobungsstrecken in Waschbetonausführung

Nr.	Strecke	Baujahr
A19	Wittstock	1993
A93	Brannenburg	1995
B56	Düren	1997
A38	Nordhausen	1998
A4	Aachen	2000
A9	Coswig	2003
A93	Kiefersfelden	2004
A5	Darmstadt	2004
A5	Karlsruhe	2005
A9	Tunnel Aubing	2005
A44	Werl	2005
A38	Leipzig	2006
A44	Werl (RF Dortmund)	2006
A8	FDE Dietlingen	2006
A61	Mendig	2006
A5	Bruchsal	2006

ben. Gleichzeitig zeigten die Untersuchungen, dass Betondecken mit einer Waschbetonoberfläche eine dauerhaft hohe Griffigkeit aufweisen. Um den Sicherheitsgewinn des Waschbetons hinsichtlich der Griffigkeit zu nutzen, wurde daher 2006 die bisherige Standardbauweise mit Jutetuch-Längstexturierung zurückgezogen und dafür die Betondecke mit Waschbetonoberfläche als neue Standardbauweise auf deutschen Autobahnen eingeführt [26, 27].

Bei der Waschbetonbauweise werden Ober- und Unterbeton wie üblich eingebaut, verdichtet und geglättet. Der Oberbeton mit einem Größtkorn von 8 mm hat eine Schichtdicke von 4 cm bis 5 cm. Zur Herstellung der Waschbetonstruktur wird ein Oberflächenverzögerer (OVZ) verwendet. Dabei kann zwischen zwei Varianten gewählt werden. Zum einen wird ein kombiniertes Verzögerer- und Nachbehandlungsmittel aufgesprüht, das die Hydratation des Zements in der oberflächennahen Schicht verzögert und gleichzeitig das Austrocknen des frischen Betons verhindert. Oder

alternativ hierzu wird nach dem Glätten ein Verzögerer aufgesprüht und der Beton zur Nachbehandlung mit einer Kunststoffolie abgedeckt. Sobald der Beton insgesamt ausreichend erhärtet und befahrbar ist, wird der nicht erhärtete Oberflächenmörtel maschinell trocken oder feucht ausgebürstet und entfernt (Bild 16). Anschließend wird zur weiteren Nachbehandlung ein herkömmliches Nachbehandlungsmittel aufgesprüht.

Da die Betonfahrbahn mit Waschbetonoberfläche in den Vorschriften für den Betonstraßenbau (ZTV Beton StB 01) bislang nicht geregelt war, wurden in dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 14/2006 [27] entsprechende Anforderungen festgelegt. Der Oberbeton besteht in der Regel aus feiner Gesteinskörnung 0/2 mm sowie der Edelsplittkörnung 5/8 mm. Um langfristig gute Griffigkeitseigenschaften der Waschbetondecken sicherzustellen, werden an die Gesteinskörnungen erhöhte Anforderungen gestellt. Die grobe Gesteinskörnung 5/8 mm muss gebrochen sein. Die hohe Feinrauheit der vollständig gebrochenen Oberflächen verbessert die Griffigkeit. Zusätzlich müssen die Gesteinskörnungen einen hohen Widerstand gegen Polieren aufweisen.

Die Zementart hat bei ausreichender Nachbehandlung keinen Einfluss auf die Oberflächeneigenschaften der



Bild 16: Ausbürsten des Oberflächenmörtels

Fahrbahndecke [28]. Der Zementgehalt wird allerdings gegenüber dem normalen Straßenbeton von 340 kg/m³ (TL Beton-StB 06) [17] auf mindestens 420 kg/m³ erhöht.

Die Standardbauweise ist eine etwa 5 cm dicke Waschbetonschicht mit einem Zementgehalt von 420 kg/m³ bis 430 kg/m³ und einem w/z-Wert von 0,40. Als Gesteinskörnung wird i.d.R. eine Ausfallkörnung mit Sand 0/2 und Edelsplitt 5/8 verwendet.

Die Zusammensetzung von verschiedenen bis 2006 gebauten Autobahnabschnitten mit Waschbetonoberfläche sind in **Tafel 8** zusammengestellt. Bei diesen Strecken mit Zementgehalten zwischen 420 kg/m³ und 450 kg/m³ wurde mehrheitlich die Variante mit einem kombinierten Verzögerer-/Nachbehandlungsmittel als Oberflächenverzögerer verwendet.

7 Qualitätssichernde Maßnahmen beim Bau von Fahrbahndecken aus Beton

Nachstehend werden Maßnahmen vorgeschlagen, die die Qualität der

Bauausführung – unabhängig vom verwendeten Zement – verbessern. Dabei soll die Auswahl der Baustoffe bereits im Vorfeld, nach Möglichkeit bereits vor Durchführung der Erstprüfung, angesprochen und Anforderungen an die Bauausführung und entsprechende Prüfungen vorgeschlagen werden. Gerade bei der Erstanwendung von Ausgangsstoffen sind sowohl eine intensive Begleitung als auch eine sachkundige Dokumentation notwendig.

7.1 Erstprüfung

Eine möglichst frühzeitige Beratung zur Auswahl der Betonausgangsstoffe und der Betonzusammensetzung kann wesentlich dazu beitragen, bei der späteren Bauausführung baustoffbedingte Probleme zu vermeiden. Ist absehbar, dass die Baumaßnahme bei hochsommerlichen Temperaturen oder im Spätherbst bzw. im Frühjahr bei niedrigen Temperaturen durchzuführen ist, soll die Prüfung nicht nur unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Da die Wirksamkeit von Zusatzmitteln – insbesondere der Luftporenbildner – temperaturabhängig ist, sollten zusätzliche Prüfungen bei einer Frisch-

betontemperatur von 25 °C bis 28 °C bzw. 10 °C bis 12 °C erfolgen [29]. Die besonderen Baustellenrandbedingungen (z.B. Zeitraum zwischen Mischen und Einbau des Betons) sind zu berücksichtigen.

Da eine höhere Mahlfineinheit und eine schnellere Festigkeitsentwicklung die Neigung zum Wasserabsondern vermindern und die Nachbehandlungsempfindlichkeit verringern, wird empfohlen, anstelle von Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R zukünftig vorzugsweise Portlandhüttenzement CEM II/B-S 42,5 N bzw. Hochofenzement CEM III/A 42,5 N zu verwenden.

Die Gesteinskörnungen müssen hinsichtlich einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion unbedenklich sein; die AKR-Richtlinie des DAfStb [30] und die TL Beton-StB 06 [17] sind zu beachten. Bei der Auswahl der Gesteinskörnungen ist insbesondere darauf zu achten, dass keine zu groben (scharfen) Sande verwendet werden. Die Gesteinskörnungen für den Oberbeton müssen einen hohen Polierwiderstand aufweisen.

Tafel 8: Zusammensetzung verschiedener Betone für Waschbetonstrecken

Strecke	Zementsorte	Zementgehalt [kg/m ³]	w/z -Wert	Korngruppe	Oberflächenverzögerer
A93 Brannenburg	CEM I 32,5 R	430	0,40	0/8	Kombi ¹⁾
B56 Düren	CEM III/A 42, 5	425	0,44	0/7	Verzögerer + Folie
A38 Nordhausen	CEM I 32,5 R -sd-	450	0,38	0/8	Verzögerer + Folie
A4 Aachen	CEM I 42,5 R	425	0,44	0/8	Verzögerer + Folie
	CEM I 42,5 R	425	0,44	0/5	Verzögerer + Folie
A9 Coswig	CEM I 32,5 R -sd-	430	0,40	0/8 Ausfallkörnung	Kombi ¹⁾
A93 Kiefersfelden	CEM I 32,5 R	430	0,45	0/8 Ausfallkörnung	Kombi ¹⁾
A5 Darmstadt	CEM I 32,5 R	430	0,39	0/8 Ausfallkörnung	Kombi ¹⁾
A5 Karlsruhe	CEM I 32,5 R-HS	430	0,40	0/8 Ausfallkörnung	Kombi ¹⁾
A44 Werl	CEM I 32,5 R	450	0,39	0/8 Ausfallkörnung	Kombi ¹⁾
A38 Leipzig	CEM I 32,5 R -sd-	420	0,44	0/8	Verzögerer + Folie

¹⁾ Kombinationsmittel aus Nachbehandlungsmittel und Verzögerer

7.2 Qualitätssicherung bei der Bauausführung

Zur Absicherung der geforderten Qualität sollten die norm- und vertragsgemäß geforderten Prüfungen im Zuge der Arbeitsvorbereitung zwischen den Beteiligten abgestimmt und nach diesen Vorgaben durchgeführt werden. Die Abstimmung beinhaltet die zeitliche Abfolge der Prüfungen sowie die Dokumentation der Ergebnisse. Zur Sicherstellung der vertragsmäßig zugesicherten Eigenschaften muss zwingend ein Baustellenlabor eingerichtet werden.

Die Qualitätssicherung des Fahrbahndeckenbetons kann in einzelnen Punkten gegenüber den Forderungen der ZTV Beton-StB 06 erweitert werden. Nachfolgend werden Vorschläge bzw. Hinweise gegeben, worauf im Rahmen der Eigenüberwachung besonders zu achten ist (siehe auch „Leitfaden zur Qualitätssicherung bei der Bauausführung“ der Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton [31]). Die nach den ZTV Beton-StB 06 geforderten Prüfungen der Ausgangsstoffe und des Frisch- und Festbetons werden hierbei als Mindestanforderung betrachtet und daher nicht weiter aufgeführt.

7.2.1 Vorschläge für eine erweiterte Eigenüberwachung

Die vorgenannte Erweiterung der Eigenüberwachung ist insbesondere für den Oberbeton durchzuführen. Es wäre empfehlenswert, das Baustellenlabor durch zwei Baustoffprüfer mit erweiterten betontechnologischen Kenntnissen zu besetzen. Die notwendigen Prüfungen erfolgen parallel im Mischwerk und am Einbauort. Erkannte Abweichungen von den Sollwerten werden zwischen den Baustoffprüfern unmit-

telbar ausgetauscht und dokumentiert. Notwendige Korrekturen sind mit den Verantwortlichen der Mischanlage, des Baustellenlabors sowie der Bauleitung unverzüglich zu besprechen. Dadurch können Korrekturen zeitnah erfolgen.

Eine Überprüfung der Lieferscheine für die Gesteinskörnungen, Zement, Zusatzmittel und Nachbehandlungsmittel sollte regelmäßig erfolgen. Sinnvoll ist zudem die Kontrolle der Vorratslager für Gesteinskörnungen (Abdeckung gegen Verunreinigungen und Niederschläge, Sauberkeit und getrennte Lagerung der Gesteinskörnungen).

Alle 5.000 t ist jeweils eine 10-kg-Probe des angelieferten Zements gemäß DIN EN 196, Teil 7 zu entnehmen, zu kennzeichnen und mit Probenahmeprotokoll an die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zu senden. Außerdem sollten ggf. parallel Rückstellproben (z.B. alle 2.500 t) für Untersuchungen des Zementherstellers entnommen werden. Nach [17] sind Rückstellproben aller Ausgangsstoffe und des Nachbehandlungsmittels zu entnehmen.

Bei Verwendung von Luftporenbildnerkonzentraten ist die Prüfung des Mischungsverhältnisses (Wirkstoffanteil) erforderlich.

Die Dokumentation von Fertigerstillständen (Alter des Betons bei Einbau), der durchgeführten Nachbehandlungsart und Auftragsmenge des Nachbehandlungsmittels sowie der Witterungsverhältnisse (Temperatur, Niederschlagsintensität, Sonne) mit Zuordnung entsprechender Feldnummern sowie die visuelle Kontrolle von Deckenschluss, Rauheit und Textur erleichtern die spätere Ursachenforschung bei auftretenden Problemen.

7.2.2 Frischbetonprüfungen

Über die Anforderungen der ZTV Beton-StB 06 hinaus ist eine stündliche Messung der Luft- und Frischbetontemperatur, des Verdichtungsmaßes, der Rohdichte und des Luftgehalts mit dem LP-Topf (im Mischwerk und am Fertiger unmittelbar vor dem Einbau) sinnvoll.

Für die Bestimmung des Wassergehalts (w/z-Wert) durch Darren ist eine Häufigkeit von zwei Stunden im Mischwerk ausreichend. Ein Beispiel eines Protokolls zum Einbau des Oberbetons enthält **Tafel 9**.

7.2.3 Festbetonprüfungen

Für die Herstellung der Probekörper soll der Beton unmittelbar vor dem Einbau am Fertiger entnommen werden. In Erweiterung der Eigenüberwachungsprüfungen werden folgende Prüfungen und Häufigkeiten vorgeschlagen:

- Rohdichte und Druckfestigkeit alle 1.000 m² (zu Beginn im Prüfalalter von 12 und 24 Stunden sowie nach 2, 7, 28 und 56 Tagen, später nur im Prüfalalter von 24 Stunden und 28 Tagen).
- Biegezugfestigkeit arbeitstäglich (Prüfalter 28 Tage).
- Ermittlung der Luftporenkennwerte an Bohrkernen (Prüfalter ≥ 3 Tage) sowie in Ausnahmefällen des Frost-Tausalz-Widerstands an Bohrkernen (Prüfalter ≥ 28 Tage) aus der ersten Tagesleistung, wenn berechtigte Zweifel bestehen. Der Frost-Tausalz-Widerstand wird gemäß DIN CEN/TS 12390-9 (Entwurf 2006) [32] an Laborprobekörper geprüft, für die die vorgeschlagenen Anhaltswerte für zulässige Abwitterungen gelten. Die Beurteilung der Ergebnisse an Bohrkernen ist durch fachkundiges Personal vorzunehmen, die Beurteilungskriterien sind zu vereinbaren!

7.3 Weitere Empfehlungen zur Qualitätssicherung

7.3.1 Betonieren bei niedrigen bzw. hohen Lufttemperaturen

Der Betoneinbau bei Lufttemperaturen zwischen 5 °C und 25 °C ist erfahrungsgemäß auch mit hüttensandhaltigen Zementen der Festigkeitsklasse 42,5 problemlos möglich. Die Frischbetontemperatur darf grundsätzlich nicht unter 5 °C und nicht über 30 °C liegen, Werte zwischen 10 °C und 25 °C sind anzustreben. Soll bei niedrigeren bzw. höheren Lufttemperaturen betoniert werden, sind die in [17, 31] genannten Maßnahmen zu ergreifen. Bei sehr raschem Abkühlen des eingebauten Frischbetons (z.B. Nachtfrost) sind die letzten Einbaufelder mit wärmedämmenden Matten zu schützen. Bei Dauerfrost mit Lufttemperaturen unter -3 °C ist der Betoneinbau nicht zulässig.

Bei Lufttemperaturen über 25 °C sollte die Temperatur des Frischbetons häufiger kontrolliert werden; sie darf 30 °C nicht überschreiten. Gelingt es nicht, die Frischbetontemperatur durch geeignete Maßnahmen (z.B. Besprühen der groben Gesteinskörnung mit kaltem Wasser) zu reduzieren, muss der Einbau des Betons eingestellt und ggf. auf die Nachtstunden verlegt werden.

7.3.2 Einbualter des Betons

Beim Fahrbahndeckenbau kann es bei einer Störung zum Stillstand des Fertigers und damit zu einer Unterbrechung des Einbaus kommen. Bereits angelieferter Beton kann nach Behebung der Störung nur nach vorheriger Prüfung und Entscheidung des verantwortlichen Beton-technologen eingebaut werden, wobei auch hier hüttensandhaltige Zemente aufgrund ihrer längeren Verarbeitbarkeitszeit Vorteile auf-

weisen. Der Oberbeton muss je nach Witterung spätestens 60 Minuten nach dem Einbau des Unterbetons verarbeitet sein [17]. Einbauunterbrechungen sind in jedem Fall zu dokumentieren.

7.3.3 Herstellung der Oberflächentextur

Ist die Strukturierung durch Entfernen des Oberflächenmörtels vorgesehen (ARS 14/2006) [27], müssen die Arbeitsprozesse dem Erhärtungsverlauf des Betons und den Witterungsbedingungen angepasst werden. Es wird ein Oberflächenverzögerer auf den frischen Beton aufgetragen. Diese Mittel dürfen keine schädigende Tiefenwirkung haben. Wird als Oberflächenverzögerer kein Kombinationsmittel aus Nachbehandlungsmittel und Verzögerer verwendet, muss entweder zusätzlich ein auf den Verzögerer abgestimmtes Nachbehandlungsmittel

Tafel 9: Protokoll zum Einbau des Oberbetons (Beispiel)

Datum: 12.07.2002													
Uhrzeit	Feld-Nr.	Lufttemperatur [°C] M ¹⁾	Betontemperatur [°C]		Konsistenz [v]		Frischbetonroh-dichte [kg/dm ³]		Luftgehalt [Vol.-%]		Wassergehalt [l/m ³]	Probekörpernummer	Bemerkungen
			M ¹⁾	F ²⁾	M ¹⁾	F ²⁾	M ¹⁾	F ²⁾	M ¹⁾	F ²⁾			
06:30	290	14	18	17	1,33	1,32	2,39	2,38	5,2	5,1	148	48 - 50	
07:30	302	16	19	19	1,38	1,34	2,40	2,39	4,9	4,9			Oberflächentextur mit Jutetuch
08:30	315	19	21	22	1,33	1,39	2,39	2,40	4,8	4,6	142	51 - 58	
09:30	328	21	21	22	1,32	1,32	2,37	2,38	5,3	5,1			
10:30	342	23	22	23	1,32	1,33	2,38	2,37	5,3	5,2	147	59 + 60	09:10 Uhr bis 09:40 Uhr leichter Regen (Feld 324 - 330)
11:30	355	25	22	23	1,30	1,33	2,37	2,38	5,0	4,8			
12:30	369	26	24	25	1,34	1,31	2,39	2,37	4,9	5,0	143	61 - 67	
13:30	382	28	25	26	1,32	1,30	2,39	2,40	5,2	5,1			
14:30	396	28	25	26	1,31	1,32	2,40	2,39	5,3	5,1	142	68 + 69	15:40 Uhr bis 16:15 Uhr Betonierpause (Bagger defekt; Feld 412)
15:30	410	28	24	26	1,30	1,34	2,39	2,37	5,3	5,2			
16:30	416	28	25	27	1,32	1,33	2,39	2,38	5,0	5,0	145	70 - 76	
17:30	430	28	25	26	1,30	1,31	2,38	2,38	5,2	4,8			
18:30	444	26	24	25	1,33	1,33	2,37	2,37	5,2	5,2	148	77 + 78	

¹⁾ M: im Mischwerk

²⁾ F: am Fertiger, unmittelbar vor dem Einbau

aufgetragen oder eine PE-Folie bis zum Entfernen des Oberflächenmörtels aufgelegt werden. Im Rahmen der Erstprüfung ist eine mindestens 900 cm² große Musterplatte herzustellen, um die Wirksamkeit des verwendeten Oberflächenverzögerers zu prüfen [17]. Die erreichten mittleren Texturtiefen sowie die Gleichmäßigkeit der Oberflächenstruktur sind auf der Baustelle zu prüfen und die Anforderungen der TL bzw. ZTV Beton-StB 2006 zu berücksichtigen.

Die Strukturierung des Oberflächenmörtels mit einem Kunstrasen oder Stahlbesen erfolgt nach dem Glätten. Anschließend wird das Nachbehandlungsmittel auf die mattfeuchte Oberfläche aufgetragen. Der Auftragszeitpunkt ist in Abhängigkeit von der Witterung und den stofflichen Gegebenheiten zu optimieren. Der Kunstrasen ist mindestens einmal arbeitstäglich zu reinigen; empfohlen wird die tägliche Verwendung eines neuen Kunstrasens. Die hergestellte Oberflächentextur ist fortlaufend zu prüfen, ggf. ist der Kunstrasen umgehend auszutauschen.

7.3.4 Nachbehandlung

Fahrbahndeckenbetone benötigen eine aufgrund der Bauteilabmessungen und der Witterungseinflüsse (Sonneneinstrahlung, Wind) besonders intensive und sorgfältige Nachbehandlung, um eine hohe Qualität der oberflächennahen Zone sicherzustellen. Die erforderliche Nachbehandlungsdauer richtet sich nach der Erhärtungscharakteristik des Deckenbetons und ist umso länger, je langsamer die oberflächennahe Randzone erhärtet.

Fahrbahndeckenbetone, die mit CEM II- oder CEM III-Zement hergestellt werden, erhärten langsamer als CEM I-Betone. Die Anforderungen der ZTV Beton-StB 06 an die Nachbehandlung müssen deshalb eingehalten und erweitert werden.

Zum Schutz des frischen Betons gegen zu rasche Austrocknung ist die Anwendung eines flüssigen Nachbehandlungsmittels gemäß TL NBM-StB (Entwurf) vorgeschrieben. In der Praxis werden überwiegend flüssige, filmbildende Nachbehandlungsmittel auf Paraffinwachsbasis verwendet, die auf den verdichteten Frischbeton aufgesprüht werden. Die Wirksamkeit der verwendeten Nachbehandlungsmittel muss vorab nachgewiesen werden. Eine wichtige Einflussgröße ist dabei der Auftragszeitpunkt. Das Nachbehandlungsmittel sollte auf die „mattfeuchte“ Betonoberfläche aufgetragen werden. Allerdings wird dieser Zustand, insbesondere bei feinstoffarmen Betonen, die zum Wasserabsondern an der Oberfläche neigen, zu einem späteren Zeitpunkt erreicht als bei Betonen, die einen ausreichenden Anteil an Feistoffen enthalten. Bei zu frühem Aufsprühen des Nachbehandlungsmittels besteht die Gefahr, dass durch aufsteigendes Wasser das Nachbehandlungsmittel verdrängt und eine geschlossene Filmbildung verhindert wird. Die dadurch reduzierte Sperrwirkung beeinträchtigt die Nachbehandlung des Oberflächenmörtels. Bei Regen kann außerdem das Gemisch aus Regenwasser und Nachbehandlungsmittel in die oberflächennahe Betonschicht eindringen, den w/z-Wert erhöhen und dort die Betonbestandteile umhüllen, so dass der Zement z.T. nicht mehr ungehindert reagieren kann [11]. Um den optimalen Zeitpunkt zum Aufbringen des Nachbehandlungsmittels in der Praxis sicherzustellen, ist eine gerätetechnische Trennung von Gleitschalungsfertiger (Betoneinbau) und Nachbehandlungsbühne empfehlenswert.

Die aufzutragende Menge des Nachbehandlungsmittels muss mindestens der in der Zulassungsprüfung festgelegten Menge entsprechen

und ist kontinuierlich zu überprüfen.

Die Konzentration (der Feststoffgehalt) und die Viskosität des Nachbehandlungsmittels werden vom Betonlabor überprüft. Ebenso werden die Düsen der Pumpen zum Auftrag des Mittels kontrolliert und regelmäßig gereinigt, da Verstopfungen den gleichmäßigen Auftrag des Nachbehandlungsfilms beeinträchtigen.

Ergänzend zur Aufbringung des Nachbehandlungsmittels soll die Fahrbahndecke bis zum Alter von 7 Tagen nass nachbehandelt werden. Die Nassnachbehandlung setzt ein, sobald das aufgetragene NB-Mittel einen geschlossenen Film gebildet hat. Auswaschungen der Oberfläche durch den Wasserstrahl müssen hierbei vermieden werden.

Bei starker Sonneneinstrahlung sollen Nachbehandlungsmittel mit einem erhöhten Hellbezugswert (Weißwert) eingesetzt werden. Sie können das Aufheizen des Betons und die Reißneigung deutlich verringern.

Waschbetonoberflächen müssen auch nach dem Ausbürsten nachbehandelt werden.

Die Nachbehandlungsarten und ihre jeweilige Anwendung sollten für die einzelnen Bauabschnitte dokumentiert werden.

7.3.5 Schutz gegen Schlagregen und Hagelschauer

Ein heftiger Niederschlag kann die Oberflächenqualität der Fahrbahndecke, insbesondere ihre Dauerhaftigkeit, stark beeinträchtigen. Wird ein Regenereignis nicht rechtzeitig erkannt und der frische Beton bleibt ungeschützt, muss der betroffene Beton ausgebaut und ersetzt werden. Der Betoniervorgang soll bei

starkem Regen oder Hagelschauer eingestellt werden. Grundsätzlich soll der Beton bei Anlieferung auf den Muldenfahrzeugen durch Abdecken mit Planen geschützt werden.

7.3.6 Fugenschnitte

Der Fugenschnitt soll so früh wie möglich erfolgen, um eine wilde Rissbildung zu vermeiden, und kann bei der Waschbetonbauweise sowohl vor als auch nach dem Entfernen des Oberflächenmörtels stattfinden. Dies ist letztlich von der Festigkeitsentwicklung des Betons abhängig. Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung haben Zementart, Betonzusammensetzung und Temperaturbedingungen; letztere erfordern eine täglich neue Festlegung des Zeitpunkts für die Fugenschnitte.

8 Zusammenfassung

Wichtige Argumente für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton sind die Dauerhaftigkeit und der geringe Unterhaltungsaufwand während der Nutzungsdauer insbesondere bei hohem Schwerverkehrsanteil [33, 34, 35]. Um diese Leistungsfähigkeit des Fahrbahndeckenbetons zielsicher zu erreichen, werden an die Frisch- und Festbetoneigenschaften bestimmte Anforderungen gestellt. Hierzu zählen:

- geringes Bluten,
- gute Verarbeitbarkeit, verbunden mit einem nicht zu schnellen Ansteifen,
- Verhinderung wilder Risse,
- Festigkeitsentwicklung im jungen Alter und die Nacherhärtung,
- niedrige Wärmeentwicklung,
- hohe Biegezugfestigkeit,
- hoher Frost-Tausalz-Widerstand und
- ein geringes Risiko gegenüber einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion.

Von großer Bedeutung sind zudem die Dauerhaftigkeit der Oberflächeneigenschaften der Fahrbahndecke, wie z.B. gute Griffbarkeit, hohe Lärmreduzierung und Helligkeit.

Die Erfahrungen zeigen, dass mit CEM II- oder CEM III-Zementen Betonfahrbahndecken zielsicher mit der geforderten Dauerhaftigkeit hergestellt werden können. Voraussetzung dafür ist eine fachgerechte Herstellung der Betonfahrbahndecke mit einer ausreichend langen und wirkungsvollen Nachbehandlung. Zweckmäßig ist die Verwendung von CEM II- bzw. CEM III-Zementen der Festigkeitsklasse 42,5.

9 Literatur

- [1] Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.: Zahlen und Daten, Ausgabe 2007.
- [2] Schiebl, P.: Bedeutung der Nachhaltigkeit im Straßenbau. Beton-Informationen 42 (2002) H. 4, S. 39-43.
- [3] Baustoffdaten – Oekoinventare OGIP / KOBEK, Karlsruhe / Weimar / Zürich.
- [4] Der Elsner: Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, 2006.
- [5] Straßenbau heute: Betondecken. Schriftenreihe der Bauberatung Zement, Hrsg.: Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2004.
- [6] Kampen, R.: Ortsumgehung Düsseldorf – Kaiserswerth: Bundesstraße B8 mit Betondecke.

TIS Tiefbau-Ingenieurbau-Straßenbau (2002) H. 2, S. 42-43.

- [7] Lang, E.: Untersuchungen an altem Fahrbahndeckenbeton mit Eisenportlandzement. Beton-Informationen 39 (1999) H. 5/6, S. 3-12.
- [8] Lang, E.: Hüttensandhaltige Zemente im Betonstraßenbau. Beton-Informationen 45 (2005) H. 1, S. 17-19.
- [9] Bilgeri, P.: Erfahrungen mit Hochofenzement im Verkehrsbau – Betonfertigteile, Betonwaren und Ort beton. Beton-Informationen 41 (2001) H. 5, S. 3-13.
- [10] Lang, E., Lehmann, K.: Bau einer Werkstraße mit Portland- und Portlandhüttenzement. Report des Forschungsinstituts der FEhS 6 (1999) H. 2, S. 6-9.
- [11] Bollmann, K.; Lyhs, P.: Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N (st). Beton-Informationen 45 (2005) H. 5, S. 91-100.
- [12] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, Hrsg.): Eigenschaften von Zementen für Fahrbahndecken aus Beton, Jahresabschlussbericht 2006. Bergisch Gladbach 2006.
- [13] Guse, U.; Müller, H. S.; Kraeft, U.; Härdtl, R.: Fahrbahndeckenbeton mit Portlandhüttenzement CEM II/B-S für die Autobahn A5 Walldorf-Bruchsal. Beton-Informationen 42 (2002) H.1, S. 8-15.
- [14] Feil, H.; Hein, H.-D.; Heyer, J.: Herstellung einer Fahrbahndecke aus Beton mit CEM II/B-S

- 32,5 R – Praxiserfahrungen. Straße und Autobahn 53 (2002) H. 12, S. 100-104.
- [15] Bilgeri, P.; Fuchs, A.; Henneken, R.: Fahrbahndeckenbeton auf der BAB A 44 mit Hochofenzement CEM III/A 42,5 N. Straße + Autobahn 55 (2004) H. 9, S. 477-483.
- [16] 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.
- [17] TL Beton-StB 06 (Entwurf 2006): Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen; Hrsg.: Der Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- [18] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 12/2006. Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.
- [19] ZTV Beton-StB 06 (Entwurf 2006): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen; Hrsg.: Der Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
- [20] Rendchen, K.: Frost- und Tausalz-widerstand von Beton mit Hochofenzement – Beispiele aus der Praxis. Beton-Informationen 39 (1999) H. 4, S. 3-23.
- [21] Lang, E.: Einfluss unterschiedlicher Carbonatphasen auf den Frost-Tausalz-widerstand – Labor- und Praxisverhalten. Beton-Informationen 43 (2003) H. 3, S. 39-59.
- [22] Luther, M.D. u. a.: Scaling resistance of Ground Granulated Blast Furnace (GGBF) Slag Concretes. Third International CANMET/ACI Conference "Durability of Concrete", Nice (1994), Proceedings, S. 47-64.
- [23] Krieger, B.: Dauerhaft griffige und geräuscharme Betonfahrbahndecken – Stand der Entwicklung. Straße und Autobahn 51 (2000) H. 12, S. 753-759.
- [24] Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Fahrbahndecken aus Beton – M OB, Ausgabe 2000. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- [25] Sulten, P.; Wolf, T.: Waschbeton – Eine alternative Betonoberfläche. Straße und Autobahn 57 (2006) H. 4, S 210-218.
- [26] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 5/2006. Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.
- [27] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 14/2006. Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.
- [28] Wenzl, P.; Beckhaus, K.; Schießl, P.: Einfluss der Zementart auf die Texturbeständigkeit von Fahrbahndecken aus Beton. Beton-Informationen 45 (2005) H. 6, S. 107-113.
- [29] Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Ausgabe 2004.
- [30] Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkali-reaktion im Beton (Alkali-Richtlinie), Ausgabe Februar 2007. Hrsg.: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2007.
- [31] Herstellung von Verkehrsflächen aus Beton. Leitfaden zur Qualitätssicherung bei der Bauausführung, Ausgabe 2003. Hrsg.: Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e. V.
- [32] DIN CEN/TS 12390-9: 2006: Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand – Abwitterung. Deutsche Fassung prCEN/TS 12390-9:2006.
- [33] Leykauf, G.: Betondecken nach 30 Jahren schwerer Verkehrsbeanspruchung. Schriftenreihe der Arbeitsgruppe „Betonstraßen“ der FGSV, Kirschbaum Verlag, Bonn 2000.
- [34] Eifert, H.; Vollpracht, A.; Hersel, O.: Straßenbau heute – Betondecken. Schriftenreihe der Bauberatung Zement, 5. Auflage, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2004.
- [35] Bilgeri, P.; Eickschen, E.; Felsch, K.; Klaus, I.; Vogel, P.; Rendchen, K.: Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton – Erfahrungsbericht. Straße und Autobahn 58 (2007) H. 12, S. 61-68.