

# GRIFFIG

## Aktuelles über Verkehrsflächen aus Beton



### Rückblick auf die Weiterbildungsveranstaltung 2010 der GVB

Zum fünften Mal und damit einer guten Tradition folgend, veranstaltete die Gütegemeinschaft ihre Fortbildungsseminare. Aufgrund der hohen Teilnehmermeldungen von 150 Fachleuten aus der Bauindustrie und den Straßenbauverwaltungen fanden die diesjährigen Termine am 9./10.2. und 18./19.2.2010 wieder in Düsseldorf statt. Die Veranstaltung wird durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung unterstützt.

Schwerpunktmäßig wurde das künftige Regelwerk, hier: TL/ZTV/TP Fug-StB, Rechnerische Dimensionierung von Betonfahrbahnen, ZTV BEB-StB vorgestellt und diskutiert. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf sehr praktischen Themen wie der Bericht über aktuelle Erkenntnisse zur Waschbetonbauweise in Österreich, Wirksamkeit von Oberflächenverzögerer und Nachbehandlungsmittel, Betonzusatzmittel für den Straßenbau und Erfahrungsbericht über die Verwendung von CEM II/CEM III-Zementen.

Beeindruckend waren auch die Vorträge über die Festlegungen zur Erneuerung/Instandsetzung der Betonfahrbahn im Zuge der BAB A7, der Baustellenbericht zum Flughafen Berlin-Schönefeld mit seinen enormen

logistischen Herausforderungen, und die Anforderungen an ein PPP-Projekt am Beispiel der BAB A1 Bremen-Hamburg. Dass Betonfahrbahnen jahrzehntelang ihre Funktion erfüllen zeigte das Beispiel der BAB A11.

Innovative Themen wie der Bericht über neue Bauweisen und Oberflächentexturen an der Erschließungsstrecke Geseke, die Anwendung von Schnellbeton im Verkehrswegebau und Anforderungen an eine modifizierte Tragschicht ohne Bindemittel unter Betonfahrbahnen wurden mit Blick auf künftige Entwicklungstendenzen vorgetragen.

Hinsichtlich Qualitätssicherung von Betonfahrbahnen wurde der Umfang und Aufwand zur Erstellung einer Erstprüfung sehr anschaulich dargestellt. Ein Vortrag über die Entwicklung von Betonfestigkeiten rundete diesen Block ab.

Der Bericht über die Studie Ökobilanz einer Betonfahrbahndecke zeigt auf, dass es auch für die Betonbauweise, wie für alle anderen, noch Verbesserungspotential in den Prozessabläufen gibt.

Allen Referenten möchte die Gütegemeinschaft hier noch einmal für ihre engagierten, anschaulichen Vorträge danken.



**Kerstin Gärtner (Autobahninspektion Bayern Nord) sprach zur Erneuerung der BAB A7**



**Dr. Johannes Steigenberger (VÖZ) berichtete über Erfahrungen mit Waschbeton in Österreich**

Was wäre eine Veranstaltung ohne einen Erfahrungsaustausch der Teilnehmer und Referenten untereinander? Um dies sicherzustellen gab es zwischen den Vortragsblöcken genügend Möglichkeiten. Der gemeinsame Abend in einer Düsseldorfer Traditionsgaststätte am Ende

des ersten Fortbildungstages gab den lockeren Rahmen für weitere fachliche Gespräche.

Der Erfolg der Weiterbildungsveranstaltung ist die Verpflichtung der Geschäftsführung der GVB, diese Veranstaltung auch im Jahr 2011 fortzusetzen.



Weiterbildung 2010

### Neue Mitgliedschaft in der Gütegemeinschaft



Seit 01.01.2010 ist die Firma CEDIMA GmbH aus Celle offizielles Mitglied der Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V.

Die Firma CEDIMA stellt Diamant-Werkzeuge und Maschinen für die Bauindustrie her. Sie ist weltweit ein starker Partner für die Betonbohr- und -sägebranche aber auch für das Schneiden der Fugen in der Betonfahrbahndecke.

Die BASF Construction Polymers GmbH mit dem Geschäftsbereich Betonzusatz-

mittel ist seit 01.07.2010 ebenfalls offizielles Mitglied der Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V. Die Firma liefert nicht nur leistungsstarke chemische Produkte, wie Luftporenbildner und Fließmittel für den Betonstraßenbau, sondern auch Beratungsqualität und umfassenden technischen Service.

Der Vorstand der Gütegemeinschaft freut sich auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit beiden neuen Mitgliedsfirmen.

# Dauerhaftigkeit von Fahrbahndeckenbeton in Waschbetonbauweise

Dr.-Ing. Eberhard Eickschen, Düsseldorf;  
Dr.-Ing. Christoph Müller, Düsseldorf

## 1. Vorbemerkung

An die Oberfläche einer Betonfahrbahndecke werden hohe Anforderungen sowohl an eine ausreichende Griffigkeit als auch an eine möglichst geringe Geräuschemission gestellt. Diese Eigenschaften werden maßgeblich von der Art der Oberflächentextur und deren Dauerhaftigkeit bestimmt. Bei der bis 2006 angewendeten Standardbauweise nach den ZTV Beton-StB 01 /1/ wurde der Beton mit dem Gleitschalungsfertiger eingebaut, mit einem Längsglätter geebnet und mit einem nachgeschleppten Jutetuch eine Längstexturierung in den frischen Oberflächenmörtel eingepreßt. Im Zusammenhang mit den Anforderungen an Griffigkeit und Lärminderung wurde zunächst mit dem Allgemeinen Rundschriften Straßenbau ARS 14/2006 /2/ die Waschbetonbauweise als Standardbauweise für lärmindernde Betonfahrbahndecken eingeführt. Im August 2008 wurde die Waschbetonbauweise auch in das neue Regelwerk (TL und ZTV Beton-StB 07 /3 und 4/) übernommen. Gleichzeitig wurde die ZTV Beton-StB 01 zurückgezogen.

Bei der Waschbetonherstellung wird in zweischichtiger Bauweise ein dünner Oberbeton mit einem Größtkorn von 8 mm und einem Zementgehalt von mindestens 420 kg/m<sup>3</sup> eingebaut. Danach wird ein Verzögerer auf die frisch verdichtete Betondecke gesprüht. Die Gesteinskörnungen werden freigelegt, indem die oberflächennahe Mörtelschicht ausgebürstet wird.

Bis 2006 wurden in Deutschland nur vereinzelte Versuchs- und Erprobungsstrecken gebaut. Die Erfahrungen aus dem Ausland zeigen, dass mit einer Waschbetonoberfläche eine sehr dauerhafte und somit wirtschaftliche Betonoberfläche für den Straßenbau zur Verfügung steht, die langfristig eine ausreichende Griffigkeit und niedrige Lärmemission erwarten lässt. Nicht geklärt war, ob z. B. infolge anderer Gesteinskörnungen und anderer Zemente die bisherigen guten Erfahrungen im Ausland auch auf die deutschen Verhältnisse übertragbar sind. Um hierüber Klarheit zu gewinnen, wurde im Forschungsinstitut der Zementindustrie ein AiF-Forschungsvorhaben durchgeführt.

## 2. Ziel und Umfang der Untersuchungen

In dem Forschungsvorhaben sollte geklärt werden, ob bei Anwendung der Waschbetonbauweise die Dauerhaftigkeit der Betonbauweise beeinträchtigt werden kann. Erhöhte Zement- und Splittgehalte sowie die freiliegenden Gesteinskörnungen können möglicherweise den Frost-Tausalz-Widerstand verringern und bei Verwendung alkaliempfindlicher Gesteinskörnungen das Risiko einer schädigenden AKR erhöhen. Daher sollte untersucht werden, ob durch die Verzögerer-Wirkung in der oberflächennahen Randzone ein poröses Zementsteingefüge entsteht, in dem die Splittkörner nicht mehr dauerhaft eingebunden sind und der Frost-Tausalz-Widerstand des Waschbetons verringert wird. Außerdem sollte geklärt werden, ob durch die höheren Zement- und Splittgehalte des Waschbetons und die verfahrensbedingt nach dem Ausbürsten des Oberflächenmörtels teilweise freigelegten Splittkörner das Risiko einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion erhöht wird. Um die Auswirkungen der Waschbetonbauweise auf die Dauerhaftigkeit zu erforschen, wurden die Untersuchungen in drei Abschnitte unterteilt.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die in der Praxis in Deutschland eingesetzten Verzögerer erfasst und zwei Verzögerer mit unterschiedlichem Wirkungsmechanismus für das Versuchsprogramm ausgewählt.

In einem zweiten Arbeitsschritt wurde das Risiko des Eintretens einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion bei Waschbeton mit einer Performance-Prüfung mit dem 60 °C Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen beurteilt. Zur Anknüpfung an den bisherigen Erfahrungsbereich wurden auch Betone mit herkömmlicher Mischungszusammensetzung in die Untersuchung einbezogen. Außerdem wurde an Platten mit Waschbetonoberflächen geprüft, ob durch die teilweise freiliegenden Splittkörner die Gefahr einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion erhöht wurde und zu Popouts vereinzelter Splittkörner führte. Dies könnte insbesondere dann auftreten, wenn bei einem durch die Verzögerer-Wirkung porösen Zementstein bei einer Alkali-Zufuhr von außen die Alkalikonzentration der Porenlösung im oberflächennahen Bereich schnell ansteigt. Um aussagefähige Ergebnisse zu erzielen, wurden mit Kies-

Edelsplitt vom Oberrhein und Grauwacke zwei alkaliempfindliche Gesteinskörnungen (Einstufung in E III-S nach Alkali-Richtlinie, Teil 3) ausgewählt. Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S wurden zunächst nicht geprüft. Diese werden in einem Forschungsvorhaben im Auftrag der BAST getrennt untersucht.

In einem dritten Arbeitsschritt wurde dem Einfluss des Verzögerers auf den Frost-Tausalz-Widerstand von Waschbeton nachgegangen. Hierzu wurden Waschbetone mit unterschiedlichen Aufsprühmengen verschiedener Verzögerer beaufschlagt. Nach dem Ausbürsten wurde die Abwitterung von Probekörpern mit unterschiedlichen Prüfflächen (u.a. Waschbetonoberflächen, gegen eine Teflonscheibe geschalte und geschnittene Prüffläche) bei der Prüfung mit dem CDF-Prüfverfahren ermittelt.

## 3. Versuchsdurchführung

### 3.1 Ausgangsstoffe

Für die Versuche wurden drei Fahrbahndeckenzemente (Tabelle 1, Nr. 1, 3 und 4) ausgewählt: Portlandzement CEM I, Portlandhüttenzement CEM II/B-S und Hochofenzement CEM III/A jeweils der Festigkeitsklasse 42,5 N. Die Fahrbahndeckenzemente erfüllten die Anforderungen der TL Beton-StB 07. Der CEM I - Zement wies mit 0,79 M.-% einen Alkaligehalt an der Obergrenze des nach TL Beton-StB 07 zulässigen Gehalts von 0,80 M.-% auf. Der CEM III/A-Zement erfüllte darüber hinaus die Anforderungen an einen NA-Zement mit niedrigem wirksamem Alkaligehalt. Zusätzlich wurde ein weiterer CEM I-Zement (Tabelle 1, Nr. 2) mit geringem Alkaligehalt von 0,62 M.-% eingesetzt, der die Anforderungen an einen Portlandzement mit niedrigem wirksamem Alkaligehalt ( $\leq 0,60$  M.-%) knapp verfehlte.

Für die Herstellung der Waschbetone wurde Rheinsand 0/2 mm aus dem Bereich Düsseldorf sowie Quarzmehl 0/0,1 mm aus dem Bereich Köln eingesetzt. Als Splitte wurden zwei alkaliempfindliche Gesteinskörnungen ausgewählt: Grauwackesplitt 5/8 mm aus dem Sauerland und gebrochener Kies-Edelsplitt des Oberrheins 4/8 mm. Für die Herstellung herkömmlicher Straßenbetone (0/16 mm) wurden Rheinsand 0/2 mm und Rheinkies 2/8 mm aus dem Bereich Düsseldorf sowie Quarzmehl 0/0,1 mm aus

**Tabelle 1: Chemische und physikalische Kennwerte der verwendeten Zemente**

Kennwert		CEM I 42,5 N (0,79 M.-%)	CEM I 42,5 N (0,62 M.-%)	CEM II/B-S 42,5 N	CEM III/A 42,5 N
		1	2	3	4
K <sub>2</sub> O	M.-%	0,81	0,70	0,67	0,75
Na <sub>2</sub> O	M.-%	0,25	0,16	0,31	0,29
Na <sub>2</sub> O-Äquiv.	M.-%	0,79 (0,80) <sup>1)</sup>	0,62	0,75	0,79
Gesamtalkaligehalt ohne Hüttensand	M.-%	-	-	0,77 (1,00) <sup>1)</sup>	0,97 (1,05) <sup>1)</sup>
Hüttensandgehalt	M.-%	-	-	30,9	45,0
Erstarrungsbeginn	Min.	135	n.b. <sup>2)</sup>	175	170
Wasseranspruch	%	28,0	n.b.	28,0	30,0
Spez. Oberfläche nach Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3510	n.b.	4820	4400
Le Chatelier	mm	2	n.b.	0	0
Druckfestigkeit 2 Tage	N/mm <sup>2</sup>	27,8	n.b.	28,4	20,8
7 Tage				43,0	35,6
28 Tage				60,3	57,4

<sup>1)</sup> Klammerwert: Grenzwert für Fahrbahndeckenzemente nach TL Beton-StB 07

<sup>2)</sup> nicht bestimmt

dem Bereich Köln und Grauwackesplitt 8/16 mm aus dem Sauerland sowie gebrochener Kies-Edelsplitt des Oberrheins 8/16 mm verwendet.

Als Luftporenbildner wurde ein Zusatzmittel mit natürlicher Wirkstoffbasis (Konzentrat) eingesetzt. Für die Herstellung der Waschbetonoberflächen wurden zwei Verzögerer mit unterschiedlichem Wirkungsmechanismus verwendet (siehe 4.1). Nach dem Ausbürsten wurden die Waschbetone mit einem flüssigen Nachbehandlungsmittel (TL NBM /5/) nachbehandelt.

### 3.2 Betonzusammensetzungen

Insgesamt wurden neun Betone hergestellt (Tabelle 2). Neben den sechs Waschbetonen 1 bis 6 wurden zusätzlich drei Betone 7 bis 9 mit bisher üblichen Betonzusammensetzungen in die Untersuchung einbezogen. Je nach Untersuchungsschwerpunkt wurden unterschiedliche Betone hergestellt.

- Risiko einer schädigenden AKR: Betone 1 bis 9 bzw.
- Frost-Tausalz-Widerstand: Betone 1, 3 und 4.

Der Zementgehalt der Waschbetone betrug 430 kg/m<sup>3</sup> und der w/z-Wert 0,42. Als Sieblinie wurde eine Ausfallkörnung mit 30 % Sand 0/2 mm und 70 % Splitt 4/8 (Kies-Edelsplitt des Oberrheins) bzw. 70 % Splitt 5/8 mm (Grauwackesplitt) gewählt. Zur Vermeidung von Wechselwirkungen zwischen Fließmittel und LP-Bildner wurde kein Fließmittel verwendet. Der Luftgehalt des Frischbetons sollte entsprechend TL Beton-StB 07 5,5 Vol.-% betragen.

Für die Herstellung der „alten“ Standardbetone wurden ein Zementgehalt von 350 kg/m<sup>3</sup> und ein w/z-Wert von 0,45 gewählt. Die Körnung über 8 mm bestand ausschließlich aus gebrochener Gesteinskörnung. Der Luftgehalt des Frischbetons betrug 4,5 Vol.-%.

### 3.3 Untersuchungsprogramm und Prüfplan

#### 3.3.1 Allgemeines

Um die Fragestellungen bezüglich der beiden Schwerpunkte: Risiko einer schädigenden AKR bzw. Frost-Tausalz-Widerstand zu untersuchen, wurden von den Beton 1 bis 9 je nach Untersuchungsschwerpunkt unterschiedliche Probekörper hergestellt. Um Wiederholungen zu vermeiden, werden die Gemeinsamkeiten in der Herstellung der Betone im Folgenden beschrieben.

In einem Vorversuch wurde die LP-Bildner-Zugabemenge so eingestellt, dass bei einer Mischzeit von zwei Minuten der Luftgehalt des Betons geprüft mit dem 8 L- Drucktopf 45 Minuten nach dem Mischende (5,5 ± 0,5) Vol.-% (Waschbetone 1 bis 6) bzw. (4,5 ± 0,5) Vol.-% (Standardbetone 7 bis 9) betrug. Die erforderlichen LP-Bildner-Zugabemengen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Zement und Gesteinskörnungen wurden in einem Zwangsmischer 15 Sekunden trocken

**Tabelle 2: Mischungszusammensetzungen**

Beton	Zement 42,5 N	z (kg/m <sup>3</sup> )	w/z	Gesteins- körnungen	Gesteinsart Splitt	Luftgehalt Vol.-%	LP-Bildner M.-% v. z
1	CEM I (0,79 M.-%)	430	0,42	30 % Sand 0/2 70 % Splitt 5/8	Grauwacke	5,5	0,077
2	CEM I (0,62 M.-%)						0,060
3	CEM II/B-S						0,080
4	CEM III/A						0,140
5	CEM I (0,79 M.-%)				Kiessplitt Oberrhein		0,095
6	CEM I (0,62 M.-%)						0,052
7	CEM I (0,79 M.-%)	350	0,45	30 % Sand 0/2 20 % Kies 2/8 50 % Splitt 8/16	Grauwacke	4,5	0,060
8	CEM III/A						0,100
9	CEM I (0,79 M.-%)				Kiessplitt Oberrhein		0,065

**Tabelle 3: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands mit dem CDF-Prüfverfahren (Betone 1, 3 und 4)**

Variante bzw. Prüffläche	Verzögerer	Aufsprühmenge Verzögerer in g/m <sup>2</sup>	Nachbehandlung mit flüssigem Nachbehandlungsmittel nach dem Ausbürsten (175 g/m <sup>2</sup> )
1	OVZ1	200	ja
2		300	ja
3		400	ja
4		400	nein (entspricht einer nicht fachgerechten Nachbehandlung)
5	ENT1	250	ja
6		350	ja
7	ENT2	250	ja
8		350	ja
9	Geschaltete Teflonscheibe als Prüffläche (Abwitterungskriterium 1500 g/m <sup>2</sup> )		
10	Schnittfläche als Prüffläche		

vorgemischt. Der LP-Bildner wurde unmittelbar vor dem Mischen des Betons dem Zugabewasser zugegeben. Die Mischzeit nach Zugabe aller Bestandteile betrug zwei Minuten. Rd. 30 Minuten nach dem Ende der Mischzeit wurden für die Prüfungen am Festbeton Probekörper in Stahlformen hergestellt. Die Probekörper wurden auf dem Rütteltisch verdichtet. Für die vorgesehenen Prüfungen wurden Würfel, Platten und Balken hergestellt, die unterschiedlich gelagert wurden. Weitere Einzelheiten werden in Abhängigkeit des Untersuchungsschwerpunkts in Abschnitt 3.3.2 (Risiko einer schädigenden AKR) bzw. 3.3.3 (Frost-Tausalz-Widerstand) erläutert.

### 3.3.2 Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Das Risiko des Eintretens einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion wurde mit einer Performance-Prüfung mit dem 60 °C Betonversuch mit Alkali-Zufuhr von außen beurteilt. Hierzu wurden von den Betonen 1 bis 9 jeweils 3 Prismen (75 x 75 x 280) mm<sup>3</sup> hergestellt und die Dehnungen bis zu einer Lagerungsdauer von mindestens 169 Tagen bestimmt.

Um die Gefahr der Bildung von Pop-outs im Bereich der freiliegenden Splittkörner zu untersuchen, wurden die Waschbetone 1 (Grauwacke-Splitt) und 4 (Kies-Edelsplitt vom Oberrhein) in Kombination mit dem CEM I-Zement mit hohem Alkaligehalt (0,79 M.-%) ausgewählt. Unter Verwendung des Verzögerers OVZ1 und des Entaktivierers ENT1 wurden Waschbetonplatten (Abmessungen B x L x H: (300 x 300 x 50) mm<sup>3</sup>) mit anforderungsgerechter Texturtiefe von rd. 0,8 mm hergestellt. Die Platten wurden wie die Betonprismen gelagert. Nach rd. 7 Tagen Lagerung wurden die beiden Waschbetonplatten in Längsrichtung halbiert, so dass für die weiteren Prüfungen vier Platten (150 x 300 x 50) mm<sup>3</sup> zur Verfügung standen. Jeweils zwei Platten wurden mit dem 60 °C-Betonversuch mit und zwei Platten ohne eine Alkalizufuhr von außen geprüft.

Die Lagerung der Platten mit Alkalizufuhr entsprach der Lagerung der Betonprismen. Von jeder der beiden Verzögerer-Varianten wurde eine Platte zwei Tage in 10 %iger NaCl-Lösung (Variante Alkalizufuhr von außen) und zum Vergleich eine Platte ohne Alkalizufuhr zwei Tage in Wasser (Variante ohne Alkalizufuhr von außen) gelagert. Die Prüfdauer betrug rd. sechs Monate.

Während der Lagerung wurde beobachtet, ob Pop-outs im Bereich der ausgebürsteten Waschbetonoberfläche auftraten. Nach Beendigung der Prüfung nach rd. sechs Monaten wurde die Haftzugfestigkeit an der Waschbetonoberfläche und an der geschalteten Unterseite bestimmt. Der Vergleich der Haftzugfestigkeiten und die Lage des Bruchs der Varianten mit und ohne Alkali-Zufuhr von außen ermöglichte eine Aussage über die Wirkung des Tausalzes und des Verzögerereinsatzes auf die Dauerhaftigkeit der Waschbetonoberfläche.

Zusätzlich wurde die Druckfestigkeit der Betone mit Fahrbahndeckenzement nach 1, 7, 28 und 56 Tagen (jeweils 2 Würfel mit 15 cm Kantenlänge) bestimmt. Die Probekörper wurden nach dem Ausschalen bis zu sieben Tage unter Wasser und danach bis zur Prüfung im Klimaraum 20/65 gelagert.

### 3.3.3 Frost-Tausalz-Widerstand

Um Erfahrungen zu sammeln, welchen Frost-Tausalz-Widerstand Waschbetonoberflächen im Vergleich zu den bisher üblichen Prüfflächen (Schalfläche und gesägte Schnittfläche) haben, wurden mit den drei Fahrbahndeckenzementen (CEM I 42,5 N (0,79 M.-%), CEM II/B-S 42,5 N, CEM III/A 42,5 N) Waschbetone unter Verwendung von Grauwackesplitt als Gesteinskörnung 5/8 mm hergestellt (Betone 1, 3 und 4 nach Tabelle 2). Dabei wurde die Art und Menge des auf den Frischbeton aufgesprühten Verzögerers variiert. Außerdem wurde bei allen drei Waschbetonen in einer zusätzlichen Variante auf die zweite Nachbehandlung nach

dem Ausbürsten durch Aufsprühen eines flüssigen Nachbehandlungsmittels (Nachbehandlung nach ZTV Beton-StB 07) verzichtet (Tabelle 3). Diese Variante entspräche somit einer nicht fachgerechten Nachbehandlung. Neben den unterschiedlichen Varianten mit Waschbetontextur (1 bis 8) wurden auch die üblichen Prüfflächen (Schalfläche und gesägte Prüffläche, Varianten 9 und 10) einbezogen.

Die Waschbetonplatten wurden in Anlehnung an die Vorgaben der TP Beton-StB 10 /6/ hergestellt. Dabei wurde der Frischbeton für die Herstellung der Platten (450 X 250 X 75) mm<sup>3</sup> in die Schalungen gefüllt. Die erforderliche Betoneinwaage wurde aus der Frischbetonrohichte (LP-Topf) und den jeweiligen Probekörperabmessungen berechnet. Anschließend wurden die Platten auf dem Rütteltisch bis auf die gewünschte Höhe von 75 mm verdichtet. Danach wurden je nach Variante die Verzögerer OVZ1 (200 bzw. 300 g/m<sup>2</sup>) bzw. die Entaktivierer ENT1 und ENT2 (250 bzw. 350 g/m<sup>2</sup>) auf die Platten aufgesprüht. Die acht Platten (450 x 250 x 75) mm<sup>3</sup> wurden im Klimaraum 20/65 gelagert. 16 Stunden nach Aufsprühen des Verzögerers wurde der Oberflächenmörtel mit einer Stahlbürste ausgebürstet und mit einer Ausnahme durch Aufsprühen eines flüssigen Nachbehandlungsmittels (Menge 175 g/m<sup>2</sup>) nachbehandelt. Um den Einfluss der Nachbehandlung auf den Frost-Tausalz-Widerstand zu überprüfen, wurde bei einer Platte (Verzögerer OVZ1, Aufsprühmenge 400 g/m<sup>2</sup>, Variante 4) auf die zweite Nachbehandlung nach dem Ausbürsten verzichtet. Zur Kennzeichnung der Waschbetontextur wurde die Texturtiefe mit dem Sandfleckverfahren (DIN EN 13036-1) ermittelt. Nach rd. 21 Tagen wurden aus den Platten Probekörper für die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands herausgesägt und die seitlichen Flächen der CDF-Platten mit einem Aluminiumklebeband mit Butylkautschuk versiegelt.

Als Kriterium für den Frost-Tausalz-Widerstand wurde die Abwitterung nach 28 Frost-Tau-Wechseln mit dem CDF-Verfahren in Abhängigkeit der o. g. Parameter bestimmt. Insgesamt wurden von jedem der drei Betone 10 Varianten geprüft. Außerdem wurde von jeder der drei Betone ein Würfel (15 cm Kantenlänge) für die Auszählung der LP-Kennwerte am Festbeton (DIN EN 480-11) hergestellt.

## 4. Versuchsergebnisse

### 4.1 Verzögerer

In den Jahren 2007 und 2008 wurden auf Baustellen sechs Oberflächenverzögerer-Systeme (OVZ) von fünf verschiedenen

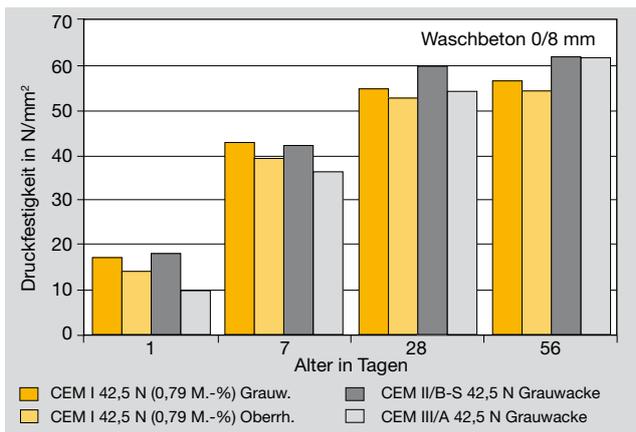
Herstellern eingesetzt. Dabei wurden fast ausnahmslos Kombinationsprodukte mit integriertem Nachbehandlungsmittel verwendet. Das System mit einer auf den Frischbeton aufgelegten Folie als Nachbehandlung ist zwar nach den Regelungen der ZTV Beton-StB 07 möglich, kam jedoch in Deutschland seit Einführung der Waschbetonbauweise als Standardbauweise nur in einem Fall zur Anwendung.

Die von den Herstellern angebotenen Produkte werden als Oberflächenverzögerer oder Oberflächenentaktivierer bezeichnet.

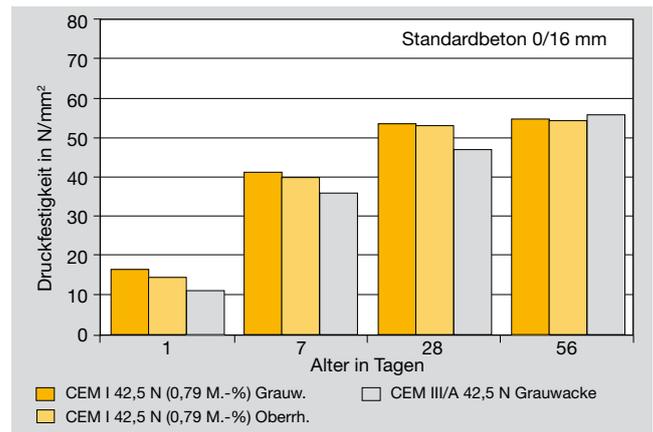
Sie unterscheiden sich in ihrer Wirkungsweise auf den Zement. Entsprechend der Produktinformation des Herstellers der Entaktivierer „verzögern Oberflächenverzögerer die Wirkung des Zements, während Entaktivierer die Wirkung des Zements entaktivieren“. Vorteil der Entaktivierer ist nach Herstellerangaben, dass der Ausbürstzeitpunkt in einem größeren Zeitfenster gewählt werden kann. Bei den Oberflächenverzögerern muss der Mörtel in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen (z. B. Luft- und Frischbetontemperatur) 6 bis 20 Stunden nach dem Aufsprühen ausgebürstet werden. Bei dem

Entaktivierer kann nach Herstellerangaben auch noch bis zu 72 Stunden nach dem Auftrag ausgebürstet werden.

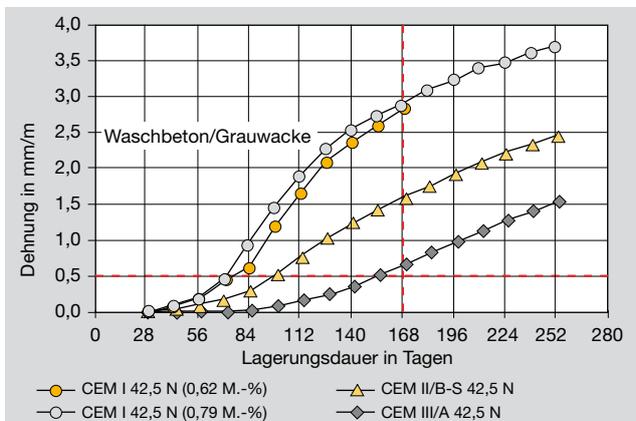
Die für die Waschbetonherstellung verwendeten Produkte sind keine klassischen Zusatzmittel nach der Normenreihe DIN EN 934 und müssen daher nicht den Anforderungen der Zusatzmittelnorm entsprechen. Die „Waschbetonverzögerer“ gehören somit nicht zur Wirkungsgruppe der Verzögerer (VZ), sie haben auch keine Zulassung des DIBt. Die Mitte 2009 veröffentlichten „Technischen Lieferbedingungen für flüs-



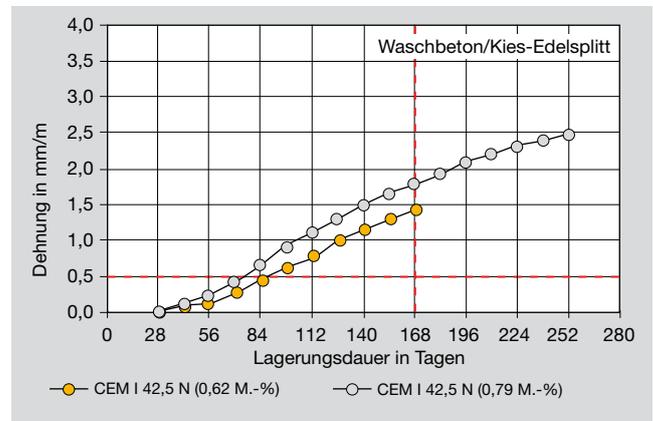
**Bild 1:** Druckfestigkeit der Waschbetone 1, 3, 4 und 5 in Abhängigkeit des Alters, des Zements und des verwendeten Splitts



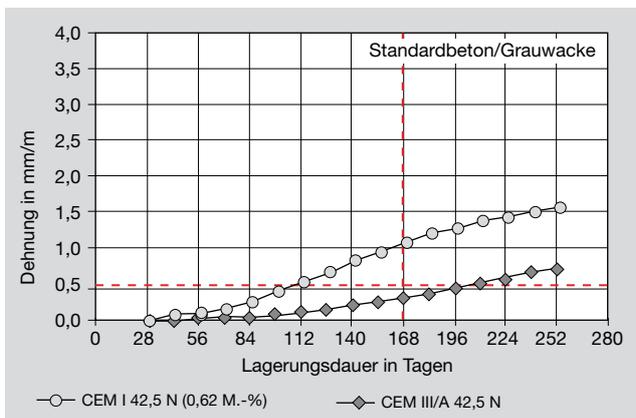
**Bild 2:** Druckfestigkeit der Standardbetone 7 bis 9 in Abhängigkeit des Alters, des Zements und des verwendeten Splitts



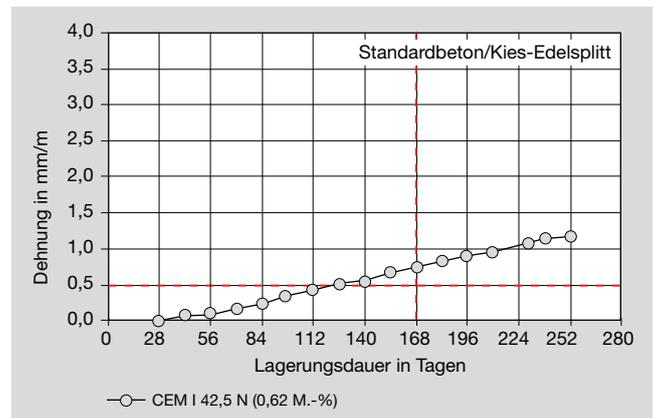
**Bild 3:** Dehnung der Waschbetone in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer (Grauwacke)



**Bild 4:** Dehnung der Waschbetone in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer (Kies-Edelsplitt vom Oberrhein)



**Bild 5:** Dehnung der Standardbetone in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer (Grauwacke)



**Bild 6:** Dehnung der Standardbetone in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer (Kies-Edelsplitt vom Oberrhein)

sige Beton-Nachbehandlungsmittel“ (TL NBM-StB 09) /5/ nehmen Bezug auf Kombinationsmittel. Sie werden in eine Klasse mit dem Kurzzeichen A eingeordnet: Diese Klasse umfasst Nachbehandlungsmittel, die eine abbindeverzögernde Komponente enthalten können und deren Film zusammen mit dem Oberflächenmörtel zur Herstellung einer Waschbetonoberfläche entfernt wird. Die TL NBM stellt nur Anforderungen an das Nachbehandlungsmittel (z. B. Sperrkoeffizient), auf die Verzögererkomponente (Anforderungen bzw. Prüfung) wird nicht eingegangen. Die TP Beton-StB 10 /6/ enthält Angaben hierzu. Danach ist die Wirksamkeit des Verzögerers und dessen Verträglichkeit mit der vorgesehenen Waschbetonzusammensetzung an einer Probeplatte nachzuweisen.

Weitere Untersuchungen zum Wirkungsmechanismus der Kombinationsmittel wurden im Forschungsvorhaben nicht durchgeführt. Der Unterschied in der Wirkungsweise beruht vermutlich darauf, dass die Verzögerer die Festigkeitsentwicklung verzögern, während die Entaktivierer die weitere Hydratation abstoppen.

Für die Herstellung der Waschbetonoberflächen wurden die Verzögerer OVZ1 und die Entaktivierer ENT1 und ENT2 verwendet. Mit dem Entaktivierer ENT2 war nach Herstellerangaben eine höhere Texturtiefe erreichbar.

## 4.2 Betonuntersuchungen

### 4.2.1 Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit der Betone mit Fahrbahndeckenzement sind in Abhängigkeit des Betonalters (1, 7, 28 und 56 Tage) in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Alle Betone erfüllen die Anforderungen der TL Beton an einen Beton der Bauklasse SV. Zwischen Waschbetonen und Standardbetonen wurden keine nennenswerten Unterschiede festgestellt. Betone mit unterschiedlichen Gesteinskörnungen (Grauwackesplitt bzw. Kies-Edelsplitt vom Oberrhein) und Betone mit CEM I - und CEM II/B-S-Zement wiesen vergleichbare Druckfestigkeiten auf. Bei den Betonen mit CEM III-Zement wurde im Betonalter von einem Tag die geringste und nach 56 Tagen die höchste Druckfestigkeit ermittelt. Die Betone wiesen mit Ausnahme des Betons mit CEM III-Zement nur ein geringes, über das Betonalter von 28 Tagen hinausgehendes Nacherhärtungspotenzial auf.

### 4.2.2 Alkali-Kieselsäure-Reaktion

#### 4.2.2.1 60 °C-Betonversuch mit Alkali-Zufuhr von außen

Die Dehnungen der Balken bei der Lagerung im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr (10 %ige NaCl-Lösung) sind in den Bildern

3 und 4 (Waschbetone mit Grauwacke und Kiesedelsplitt) bzw. 5 und 6 (Standardbetone) dargestellt. Die Dehnungen der Betonbalken nahmen bei allen neun Betonen bis zu einer Lagerungsdauer von max. 250 Tagen stetig zu. Mit zunehmendem Hüttenandgehalt der Zemente verringerten sich die Dehnungen. Ein geringerer Alkaligehalt des CEM I-Zements reduzierte die Dehnungen nicht wesentlich (Bilder 3 und 4). Die Verwendung von Grauwackesplitt anstatt von Kies-Edelsplitt vom Oberrhein führte zu größeren Dehnungen. Die Waschbetone wiesen im Vergleich zu den Standardbetonen eine höhere Dehnung auf.

Bei der Prüfung eines Betons mit dem 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen besteht nach bisheriger Erfahrung keine Gefahr einer schädigenden AKR, wenn die mittlere Dehnung der Betonbalken nach der Vorlagerung, d. h. im Zeitraum von 20 Wochen zwischen dem 28. und dem 168. Tag  $\leq 0,50$  mm/m beträgt. Der Grenzwert für die Performance-Prüfung wurde zunächst anhand von Praxiserfahrungen mit Betonen aus Betonfahrbahndecken festgelegt /7/. Die Dehnung der Betonbalken betrug nach 168 Tagen zwischen rd. 0,32 und 2,88 mm/m. Die Untersuchungen zeigen, dass eine AKR in den geprüften Betonen bei einer Alkalizufuhr von außen nach Ansatz der bisher verwendeten Beurteilungskriterien mit Ausnahme des Standardbetons mit CEM III und Grauwacke (Beton 8, Bild 5) nicht ausgeschlossen werden kann. Bei diesem Standardbeton steigen die Dehnungen mit zunehmender Lagerungsdauer aber weiter an, so dass der Wert einer Dehnungszunahme von 0,50 mm/m nach rd. 210 Tagen Lagerungsdauer überschritten wird.

Bei der Prüfung mit dem 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen wurde bei allen Waschbetonen 0/8 mm auch bei Verwendung eines NA-Zements (CEM III/A 42,5 N) die Gefahr des Auftretens einer schädigenden AKR festgestellt. Auch bei dem CEM I-Zement, der fast NA-Eigenschaften aufwies, bestätigte sich dieses Ergebnis.

Bei den Standardbetonen 0/16 mm traf dies ebenfalls mit einer Ausnahme zu. Um sicher eine Schädigung infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktionen zu vermeiden, ist daher im Fall einer Alkalizufuhr von außen der Einsatz ausreichend alkaliunempfindlicher Gesteinskörnungen zwingend erforderlich. Bei der Verwendung alkaliempfindlicher Gesteinskörnungen ist der Einsatz eines NA-Zements als alleiniges Mittel zur Verhinderung einer schädigenden AKR nicht ausreichend.

Da alkaliempfindliche Gesteinskörnungen für die Herstellung verwendet wurden, wiesen die untersuchten Waschbetone 0/8 mm infolge erhöhter Zement- und

Splittgehalte größere Dehnungen auf als die herkömmlichen Betone 0/16 mm. Durch die neue Bauweise wird daher bei Verwendung nicht ausreichend alkaliunempfindlicher Gesteinskörnungen (in diesem Fall Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S) die Gefahr einer schädigenden AKR erhöht. Auch wenn gleichartige Gesteinskörnungen oder Zemente verwendet werden, können die Ergebnisse der Performance-Prüfungen mit Standardbetonen nach der alten ZTV Beton-StB 01 nicht in jedem Fall auf Waschbetone nach den TL Beton-StB 07 übertragen werden. Hierzu sind ggf. neue Untersuchungen zu veranlassen. Diese Schlussfolgerungen treffen in den meisten Fällen nicht zu, wenn die Gesteinskörnung der Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S zugeordnet wird, also als alkaliunempfindlich eingestuft wird. Die genannten Randbedingungen der Waschbetonbauweise (erhöhte Zement- und Splittgehalte) erhöhen dann die Gefahr einer schädigenden AKR nicht.

#### 4.2.2.2 Pop-outs

Um zu untersuchen, ob möglicherweise bei der Waschbetonbauweise durch die an der Oberfläche freiliegenden Splittkörner das AKR-Risiko steigt, wurden mit den Betonen 1 und 5 mit CEM I (Alkaligehalt 0,79 M.-%) Waschbetonplatten mit unterschiedlichen Splitten (Grauwacke, Kies-Edelsplitt) und Verzögerern (OVZ1 und ENT1) hergestellt und nach den Vorgaben des 60 °C-Betonversuchs mit und ohne Tausalzbeaufschlagung über einen Zeitraum von rd. sechs Monaten gelagert. Nach Abschluss der Lagerung wurde die Haftzugfestigkeit auf der Plattenunter- und -oberseite bestimmt. Nach der sechsmonatigen Prüfung wurden folgende Versuchsergebnisse erzielt:

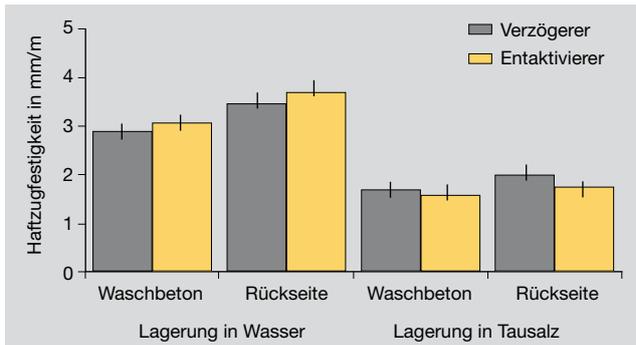
a) Augenscheinliche Beurteilung auf Pop-outs

Anzeichen von Pop-outs wurden - unabhängig vom verwendeten Splitt bzw. Verzögerer zur Herstellung der Waschbetonoberfläche und von einer Tausalz-Beaufschlagung - augenscheinlich nicht festgestellt.

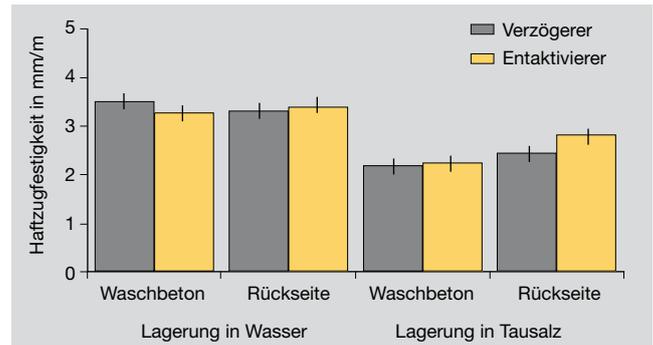
b) Haftzugfestigkeit

Die Haftzugfestigkeiten wurden nicht nennenswert durch die Verzögerer-Art beeinflusst (Bilder 7 und 8). Die Haftzugfestigkeit wurde durch die Tausalzlagerung im Vergleich zur Wasserlagerung wesentlich verringert. Ursache hierfür ist die stärkere Schädigung der tausalzgelagerten Platten, die auf der Plattenunterseite gut sichtbar wurde (Bilder 9 und 10).

Die Haftzugfestigkeit war bei dem Waschbeton mit Grauwackesplitt etwas geringer als bei dem Waschbeton mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein. Ursache hierfür ist die stärkere Schädigung des Betons mit Grauwackesplitt durch die AKR. Entsprechend wurden bei



**Bild 7: Haftzugfestigkeit (Mittelwert aus drei Versuchen) von Waschbeton mit Grauwackesplitt in Abhängigkeit von der Lagerung (Wechselagerung mit Lagerung in Wasser bzw. Tausalz), vom Kombinationsmittel (Verzögerer oder Entaktivierer) und von der Prüffläche (Waschbetonoberfläche bzw. geschalte Rückseite) nach 6 Monaten Prüfung mit dem 60 °C-Betonversuch mit Wechselagerung**



**Bild 8: Haftzugfestigkeit (Mittelwert aus drei Versuchen) von Waschbeton mit Kies-Edelsplitt vom Oberrhein in Abhängigkeit von der Lagerung (Wechselagerung mit Lagerung in Wasser bzw. Tausalz), vom Kombinationsmittel (Verzögerer oder Entaktivierer) und von der Prüffläche (Waschbetonoberfläche bzw. geschalte Rückseite) nach 6 Monaten Prüfung mit dem 60 °C- Betonversuch mit Wechselagerung**

der Lagerung der Betonprismen im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen bei dem Beton mit Grauwackesplitt höhere Dehnungen festgestellt (siehe 4.2.2.1).

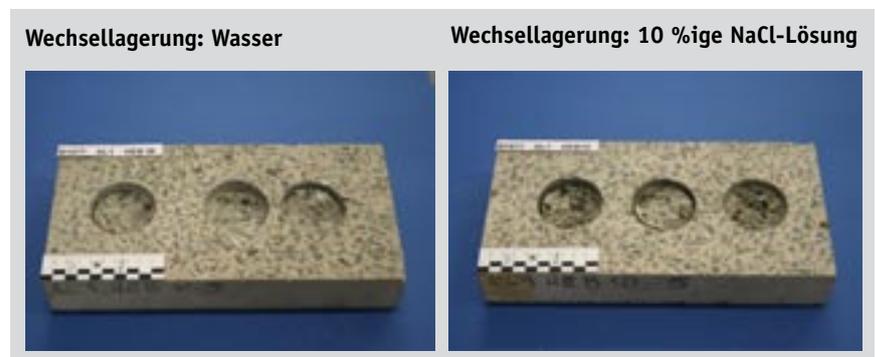
Der Bruch bei der Haftzugprüfung erfolgte sowohl bei der Prüfung der Waschbetonoberfläche als auch der geschalten Unterseite in rd. 0,5 bis 1 cm Tiefe im Beton und nicht direkt im oberflächennahen Bereich (Beispiel Bilder 9 und 10, Waschbetonplatten mit Grauwackesplitt und Entaktivierer ENT1). Auf der geschalten Rückseite war die Haftzugfestigkeit nur geringfügig höher als auf der Oberseite.

Selbst unter den im Versuchsprogramm gewählten Randbedingungen, die zu einer schädigenden AKR im Beton führten, sind keine Pop-outs festgestellt worden. Pop-outs sind daher auch bei Verwendung von wenig reaktiven Gesteinskörnungen nicht zu erwarten. Die Haftzugfestigkeit auf der geschalten, nicht mit Verzögerer beaufschlagten Rückseite war nur geringfügig höher als auf der Oberseite der Betonplatte, die eine Waschbetontextur aufwies. Eine Schädigung des oberflächennahen Mörtels durch die Verzögerer-Einwirkung ist daher ebenfalls nicht zu befürchten. Die Versuche wurden mit einem CEM I - Zement mit einem Alkaligehalt (0,79 M.-%) an der Obergrenze des nach TL Beton-StB 07 zulässigen Gehalts von 0,80 M.-% durchgeführt. Da der wirksame Alkaligehalt von anforderungsgerechten CEM II- und CEM III-Fahrbahndeckenzementen diesen Wert nicht übersteigt, sollten die Schlussfolgerungen auch für alle Fahrbahndeckenzemente gelten.

### 4.3 Frost-Tausalz-Widerstand

#### 4.3.1 LP-Kennwerte

Die LP-Kennwerte am Festbeton sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Der am Festbeton ermittelte Luftgehalt entsprach dem



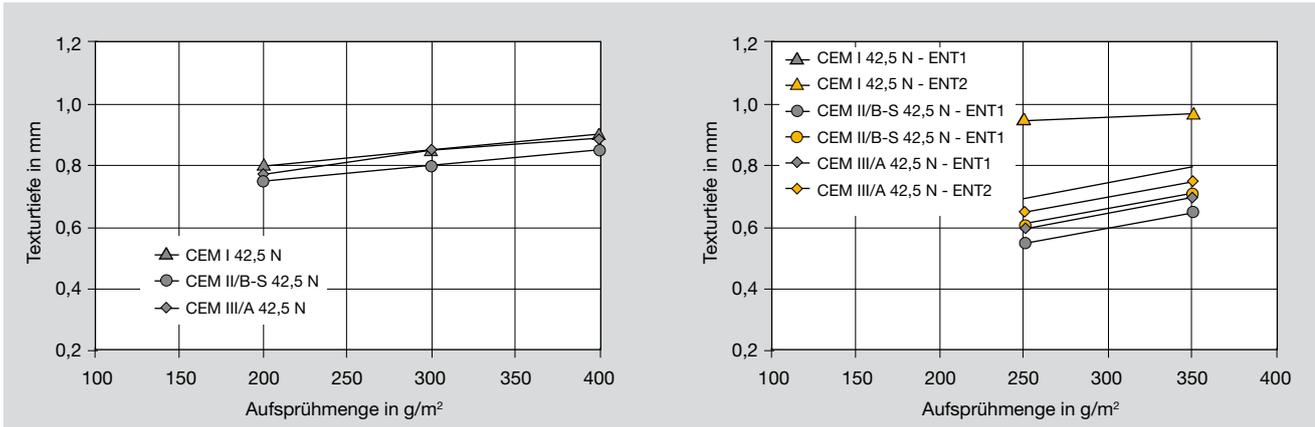
**Bild 9: Haftzugprüfung der Waschbetonoberfläche nach 6 Monaten Prüfung mit dem 60 °C- Betonversuch mit unterschiedlicher Wechselagerung: Wechselagerung mit zwei Tagen Wasserlagerung (links) und Wechselagerung mit Alkalizufuhr von außen mit zwei Tagen Lagerung in 10 %iger NaCl-Lösung (rechts) bei der Variante mit Grauwackesplitt/Entaktivierer**



**Bild 10: Haftzugprüfung der geschalten Unterseite nach 6 Monaten Prüfung mit dem 60 °C- Betonversuch mit unterschiedlicher Wechselagerung: Wechselagerung mit zwei Tagen Wasserlagerung (links) und Wechselagerung mit Alkalizufuhr von außen mit zwei Tagen Lagerung in 10 %iger NaCl-Lösung (rechts) bei der Variante mit Grauwackesplitt/Entaktivierer**

**Tabelle 4: Luftporenkennwerte am Festbeton in Anlehnung an DIN EN 480-11**

Zement	Festbeton-Kennwerte			
	Luftgehalt A Vol.-%	Mikro-Luftporen- gehalt A <sub>300</sub> Vol.-%	Verhältnis A <sub>300</sub> /A -	Abstands- faktor L mm
CEM I 42,5 N	5,3	3,3	0,62	0,14
CEM II/B-S 42,5 N	4,7	2,4	0,51	0,17
CEM III/A 42,5 N	5,1	2,2	0,43	0,18

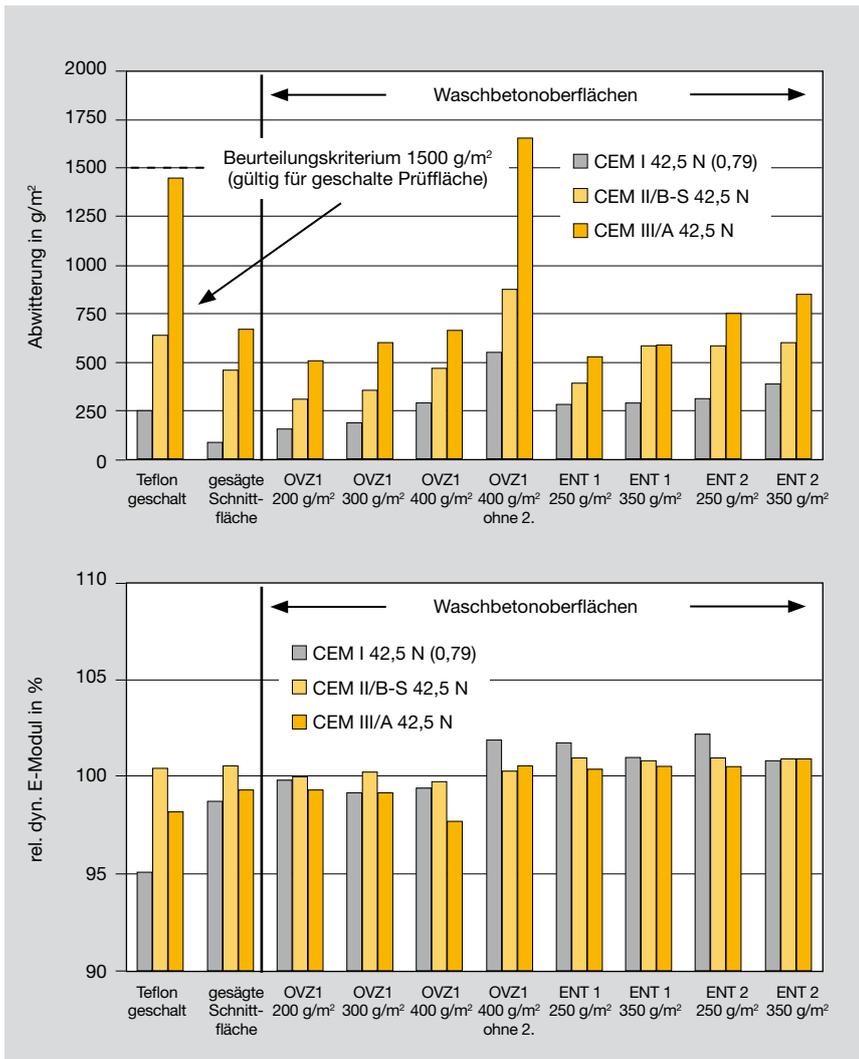


**Bild 11: Texturtiefe der Waschbetonoberflächen in Abhängigkeit des Fahrbahndeckenzements und der Aufsprühmenge des Verzögerers OVZ1 (links) bzw. der Entaktivierer ENT1 und ENT2 (rechts)**

angestrebten Frischbetonluftgehalt und lag mit einer Ausnahme im gewünschten Bereich von 5,5 ( $\pm 0,5$ ) Vol.-%. Allein beim Beton mit CEM II/B-S wurde dieser Wert geringfügig unterschritten. Die

Anforderungen der Erstprüfung an den Abstandsfaktor ( $\leq 0,20$  mm) bzw. Mikro-Luftporengehalt ( $\geq 1,8$  Vol.-%) wurden sicher eingehalten. Im Vergleich zum Beton mit CEM I verringerten sich bei den beiden

Betonen mit hüttensandhaltigem Zement bei annähernd gleichem Gesamtluftgehalt der Mikro-Luftporengehalt und der auf den Luftgehalt bezogene Mikro-Luftporengehalt, während der Abstandsfaktor anstieg. Bei gleichem Gesamtluftgehalt enthält der Beton mit Hochofenzement mehr grobe und weniger feine Luftporen, so dass insgesamt eine Vergrößerung des Luftporensystems zu verzeichnen ist.



**Bild 12: Abwitterung in g/m² (oben) und rel. dyn. E-Modul (unten) nach 28 Frost-Tau-Wechseln in Abhängigkeit des Fahrbahndeckenzements und der jeweiligen Variante (Art und Menge des aufgespritzten Verzögerers, Nachbehandlung, Prüffläche)**

#### 4.3.2 Charakterisierung der Waschbetontextur

Die Texturtiefe nach dem Ausbürsten des Oberflächenmörtels lag zwischen rd. 0,6 und 1,0 mm, so dass unter Laborbedingungen mit allen drei Produkten anforderungsgerechte Texturtiefen (0,6 bis 1,1 mm nach ZTV Beton-StB 07) erreicht werden konnten (Bild 11). Mit zunehmender Aufsprühmenge erhöhte sich die Texturtiefe geringfügig. Der Entaktivierer ENT2 ergab bei gleicher Aufsprühmenge wie der Entaktivierer ENT1 eine etwas größere Texturtiefe. Es wird ersichtlich, dass eine stark erhöhte Aufsprühmenge nicht zu einer überproportionalen Erhöhung der Texturtiefe führt. Ursache ist vermutlich, dass der Verzögerer auch bei erhöhten Aufsprühmengen nicht tiefer in den Frischbeton eindringen kann.

#### 4.3.3 Frost-Tausalz-Prüfung mit dem CDF-Verfahren

Insgesamt wurden dreißig Frost-Tausalz-Prüfungen (drei Betone mit jeweils 10 Varianten) mit dem bzw. in Anlehnung an das CDF-Prüfverfahren durchgeführt. Die Ergebnisse sind zusammenfassend in Abhängigkeit des Zements und der jeweiligen CDF-Prüfvariante dargestellt: Abwitterung und rel. dyn. E-Modul nach 28 Frost-Tau-Wechseln (Bild 12). Dabei ist zu beachten, dass das Abwitterungskriterium von 1500 g/m³ nur auf Probekörper anzuwenden ist, deren Prüffläche gegen eine Teflonscheibe betoniert wurde (Variante 9). Nach 28 Frost-Tau-Wechseln wurde das Abwitterungskriterium von 1500 g/m² bei den

CDF-Platten mit geschalter und gesägter Oberfläche und mit einer Ausnahme bei allen Varianten mit Waschbetonoberfläche (Variante 4, Waschbetonoberfläche mit CEM III, nicht fachgerechte, da fehlende zweite Nachbehandlung) deutlich unterschritten. Ein nennenswerter Abfall des dynamischen E-Moduls wurde nicht festgestellt.

Bei allen Varianten war der Anteil abgewitterter Bestandteile beim CEM I-Zement am geringsten, lag beim CEM II/B-S im mittleren Bereich und war beim CEM III-Zement am höchsten. Bei Verwendung des CEM I-Zements zeigte sich nur ein sehr geringer Einfluss einer nicht erfolgten zweiten Nachbehandlung auf das Abwitterungsergebnis. Beim CEM III-Zement erhöhte sich der Anteil der Abwitterung bei nicht erfolgter zweiter Nachbehandlung nach dem Ausbürsten.

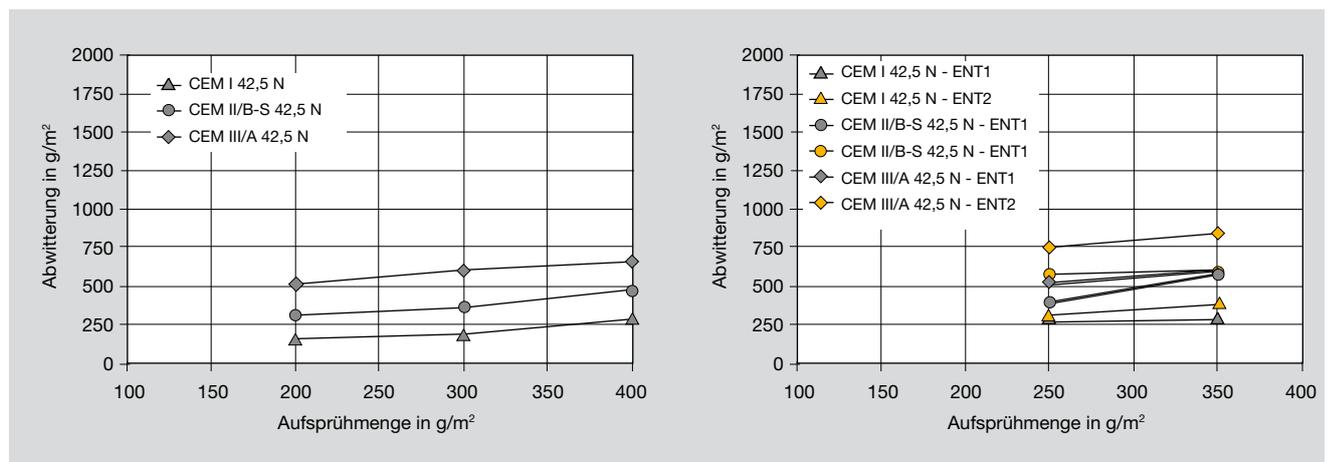
Um die Verzögerer-Wirkung näher zu charakterisieren, wurden die Abwitterungen in Abhängigkeit der Art und Aufsprühmenge des Verzögerers und des Zements (Bild 13) und der erreichten Texturtiefe (Bild 14)

dargestellt. Mit zunehmender Menge an aufgesprühtem Verzögerer erhöhte sich in geringem Ausmaß die Texturtiefe (Bild 11) und die nach 28 Frost-Tau-Wechseln bestimmte Abwitterung (Bild 13). Die drei untersuchten Verzögerer-Varianten beeinflussten im Bereich praxisgerechter Texturtiefen die Abwitterungen nur unwesentlich (Bild 14). Eine erhöhte Aufsprühmenge verstärkte damit die Abwitterungen nur geringfügig. Ursache ist vermutlich, dass der Verzögerer-Wirkstoff nur bis zu einer bestimmten Tiefe in den Oberflächenmörtel eindringen kann. Eine wesentliche Erhöhung der Aufsprühmenge dürfte daher in der Praxis nicht zu einer größeren Tiefenwirkung führen. Hierzu müsste eher der Wirkstoffgehalt des Verzögerers im Kombimittel erhöht oder ein stärkerer Wirkstoff verwendet werden. Eine Schädigung der oberflächennahen Betonrandzone durch die Verzögerer-Einwirkung ist daher bei den untersuchten Kombimitteln nicht zu befürchten.

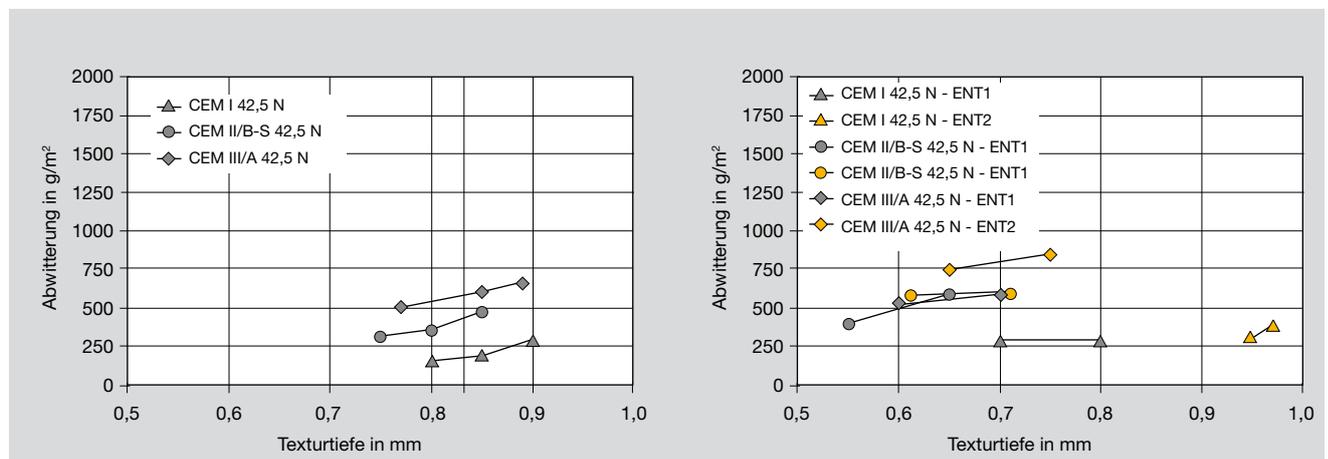
Bei einer fachgerechten zweiten Nachbehandlung lagen die ermittelten Abwitterungen der Waschbeton-Oberflächen (Var.

1 bis 3, 5 bis 8, Tabelle 9) unabhängig von der verwendeten Zementart deutlich unter dem für Schallflächen empfohlenen Abnahmekriterium von 1500 g/m<sup>2</sup>. Bei der Prüfung von Waschbetonen mit der teflongeschalteten Seitenfläche als Prüffläche läge man daher auf der „sicheren“ Seite. Die Abwitterungen der verschiedenen Waschbetonoberflächen stimmen gut mit dem Ergebnis der Variante 10 „CDF-Platte mit gesägter Oberfläche“ überein. Diesen Sachverhalt bestätigen auch die Untersuchungen in /8/. Ursache ist, dass sich bei den Varianten „gesägte Oberfläche“ und ausgebürstete Waschbetontextur die Anteile an Mörtel und Splitt an der Oberfläche in etwa entsprechen.

Für Waschbetonoberflächen liegt noch kein abgesicherter Bewertungshintergrund zur Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands mit dem CDF-Versuch vor, der Wert von 1500 g/m<sup>2</sup> gilt nur für geschaltete Prüfflächen (Variante 9: Teflonscheibe), wobei der Oberflächenmörtel geprüft wird. Der Mörtelanteil ist beim Waschbeton wesentlich geringer, da der im Mörtel eingebettete Splitt an der Oberfläche freiliegt. Das Prüfergebnis der



**Bild 13: Abwitterung der Waschbetonoberflächen in Abhängigkeit des Fahrbandeckenzements und der Aufsprühmenge bei Verwendung des Verzögerers OVZ1 (links) bzw. der Entaktivierer ENT1 und ENT2 (rechts)**



**Bild 14: Abwitterung der Waschbetonoberflächen in Abhängigkeit des Fahrbandeckenzements und der Texturtiefe bei Verwendung des Verzögerers OVZ1 (links) bzw. der Entaktivierer ENT1 und ENT2 (rechts)**

Waschbetonoberflächen setzt sich daher zusammen aus den Abwitterungen des Mörtels und des Splitts 5/8 mm. Der Gehalt an grober Gesteinskörnung beträgt bei den Waschbetonen rd. 450 l/m<sup>3</sup> entsprechend rd. 45 Vol.-%. Unter der Annahme, dass an der ausgebürsteten Oberfläche der Flächenanteil der groben Gesteinskörnung ebenfalls rd. 45 % beträgt, ergibt sich bei den Waschbetonen eine um diesen Anteil reduzierte Mörtelfläche (in die der Splitt eingebettet ist) von rd. 55 %. Eine Umrechnung des Beurteilungskriteriums ist jedoch nicht unmittelbar möglich, da in den Waschbeton-Abwitterungen immer ein Anteil des abgewitterten Splitts 5/8 mm enthalten ist, der allenfalls in geringem Umfang zu den Abwitterungen der Prüfvariante „geschalte Teflonscheibe“ beitragen kann - vorausgesetzt es treten hierbei keine Pop-outs vereinzelter Splittkörner auf.

Die Abwitterungen der Prüfflächen mit Waschbetontextur mit erfolgter fachgerechter zweiter Nachbehandlung nach dem Ausbürsten entsprechend den Vorgaben der ZTV Beton-StB 07 liegen mit max. 850 g/m<sup>2</sup> soweit von der zulässigen Grenze für geschalte Prüfflächen (Variante Teflonscheibe) von 1500 g/m<sup>2</sup> entfernt, dass die Betone einen ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen. Da kein Abfall des dynamischen E-Moduls festgestellt wurde, kann eine innere Gefügeschädigung ebenfalls ausgeschlossen werden.

## 5. Zusammenfassung

Aus den Versuchsergebnissen lässt sich ableiten, dass die Verzögerer-Wirkung keine tiefer gehende Beeinträchtigung der Betonrandzone zur Folge hat. Die Besonderheiten der Waschbeton-Herstelltechnik bewirken daher weder einen mangelnden Frost-Tausalz-Widerstand noch fördert sie die Bildung von Pop-outs.

Die untersuchten Waschbetone 0/8 mm weisen in AKR-Performance-Prüfungen mit Alkali-Zufuhr von außen infolge erhöhter Zement- und Splittgehalte größere Dehnungen auf als die herkömmlichen Standardbetone 0/16 mm. Dabei wurden mit Grauwacke und Kies-Edelsplitt vom Oberrhein alkaliempfindliche Gesteinskörnungen (Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S) eingesetzt. Wenn nicht ausreichend alkaliunempfindliche Gesteinskörnung verwendet wird, erhöht sich durch die neue Bauweise die Gefahr einer schädigenden AKR. Dies gilt in der Regel nicht für Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S. Mit entsprechenden Performance-Prüfungen kann das Risiko einer schädigenden AKR ermittelt und nicht geeignete Betonzusammensetzungen können in vielen Fällen ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Verwendung geeigneter Betonzusammensetzungen und einer sachgerechten Bauausführung die Dauerhaftigkeit der Betonbauweise auch unter den besonderen Bedingungen der Waschbetonbauweise gewährleistet wird.

## Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2001 (ZTV Beton-StB 01).
- [2] Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 14/2006.
- [3] Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. TL Beton-StB 07, Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau.
- [4] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. ZTV Beton-StB 07, Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau.
- [5] Technische Lieferbedingungen für flüssige Beton-Nachbehandlungsmittel. TL NBM-StB 09, Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau
- [6] Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. TP Beton-StB 10, Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau.
- [7] Siebel, E.; Böhm, M. et al.: AKR-Prüfverfahren – Vergleichbarkeit und Praxis-Relevanz, Ibausil 2006.
- [8] Bollmann, K.; Lyhs, P.; Bilgeri, P.: Waschbeton - neue Bauweise für Betonfahrbahndecken. Beton-Informationen 47 (2007) 2, S. 32-35.

# Information über PPP im Straßenbau

Die ersten vier Modelle sind als Pilotprojekte im Bau. Zwei weitere befinden sich im Vergabeverfahren. Die angekündigten Modelle sollen im Zeitraum 2010 bis 2012 ausgeschrieben werden, sofern Baurecht geschaffen ist und das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sich positiv darstellt.

### Übersicht der Projekte nach dem A-Modell:

A-Modell	Streckenabschnitt	Status
BAB A8	AS Augsburg-West – AD München-Allach autobahnplus	In Betrieb
BAB A4	Landesgrenze Hessen/Thüringen – AS Gotha (sog. „Umfahrung Hörselberge“) Via Solutions Thüringen	In Betrieb
BAB A1	AD Buchholz – AK Bremen A1 mobil	In Betrieb
BAB A5	Malsch – Offenburg Via Solutions Südwest	In Betrieb
BAB A8	AK Ulm/Elchingen – AS Augsburg-West	Vergabeverfahren
BAB A9	AS Lederhose – Landesgrenze Thüringen/Bayern	Vergabeverfahren
BAB A1	Lotte – Münster	Angekündigt
BAB A30	Rheine – Lotte	Angekündigt
BAB A7	Bordesholm – Hamburg	Angekündigt
BAB A7	Salzgitter – Drammetal	Angekündigt
BAB A6	Wiesloch-Rauenberg – Weinsberg	Angekündigt
BAB A45	Vorhaben im Zuge der A45 (Hessen)	Angekündigt
BAB A60	Vorhaben im Zuge der A60 (Rheinland-Pfalz)	Angekündigt

Stand Juli 2010

Quelle: VIFG VerkehrsInfrastruktur - FinanzierungsGesellschaft m.b.H.

# Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts

Dipl.-Ing. Charlotte Milachowski, Dipl.-Ing. Thorsten Stengel, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen,  
Centrum Baustoffe und Materialprüfung der TU München

Im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung hat sich u.a. Deutschland dazu verpflichtet, klimaschädigende Emissionen zu reduzieren. Luftschadstoffe werden zu erheblichen Teilen durch den Straßenverkehr verursacht. Die potentiellen Umweltwirkungen, die bei der Herstellung und Nutzung eines 1 km langen Autobahnabschnitts mit vier verschiedenen Oberbauarten wurden in einer Ökobilanz ermittelt und miteinander verglichen. Durch Berücksichtigung der Verkehrsbelastung während einer dreißigjährigen Nutzungsdauer werden die Auswirkungen des Treibstoffverbrauchs verdeutlicht. Mögliche Einsparpotentiale werden dargelegt.

## 1 Einleitung

Die Belastung der Umwelt mit klimaschädigenden Emissionen wird zu erheblichen Teilen vom Straßenverkehr verursacht [9]. Die ökologischen Auswirkungen, die bei der Herstellung und Erhaltung eines Autobahnabschnitts, einschließlich Verkehrsbelastung, in einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren entstehen, wurden in einem Forschungsvorhaben am Centrum Baustoffe und Materialprüfung der TU München untersucht.

## 2 Untersuchungsrahmen der Studie

### Allgemeines

Ökologische Aspekte werden in der Öffentlichkeit vielfach subjektiv diskutiert. Um eine objektive Bewertung zu schaffen, wurde die Methodik der Ökobilanz entwickelt. Sie ist in den Normen DIN EN ISO 14040:2009-11 und DIN EN ISO 14044:2006-10 geregelt und wurde in dieser Studie verwendet. So wurden alle stofflichen und energetischen Beiträge der einzelnen Prozesse der Herstellung und Nutzung eines 1 km langen Autobahnabschnitts bilanziert. Dazu gehören auch die Ressourcengewinnung, die Energiebereitstellung, die Herstellung der benötigten Produkte, die Bereitstellung der Infrastruktur, Transportleistungen sowie die Nutzung und Entsorgung der jeweiligen Produkte. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung wurden die Emissionen in Luft, Wasser und Boden ermittelt

und über Äquivalenzfaktoren nach einem mehrdimensionalen Ansatz (CML Methode) zu den Wirkungskategorien

- Treibhauspotential (Global Warming Potential: GWP),
- Abbau der stratosphärischen Ozonschicht bzw. Bildung von sog. Ozonlöchern (Ozone Depletion Potential: ODP),
- Bildung von bodennahem Ozon bzw. Sommersmog (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP),
- Versauerung von Böden (Acidification Potential: AP) und
- Überdüngung von Gewässern (Eutrophication Potential: EP)

zusammengefasst. Als Datenquelle diente die Schweizer ecoinvent-Datenbank [3]. Prozesse, die in der Datenbank nicht vorhanden waren, wurden mittels bestehender Vorprozesse modelliert. Verarbeitung und Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe einer Ökobilanzierungssoftware (SimaPro). Um das bautechnische Optimierungspotential zu quantifizieren, wurden vier verschiedene Oberbauweisen untersucht:

- Betonoberbau mit Betonoberfläche in Waschbeton,
- Betonoberbau mit einer texturierten Betonoberfläche (Kunstrasen),
- Asphaltoberbau mit einer lärmmindernden offenporigen Asphaltdeckschicht (Sonderbauweise) sowie

- Asphaltoberbau mit Gussasphalt.

Untergrundarbeiten sowie Nacharbeiten am Oberbau wie Markierungsarbeiten waren nicht Bestandteil der Studie. Maßnahmen zur Entwässerung (Rinnen, Abläufe, etc.) wurden vernachlässigt. Für die Studie wurde der Standardquerschnitt für Autobahnen mit einer Kronenbreite von 31 m und befestigten Flächen von 12 m Breite bei einem 85 cm dicken Oberbau betrachtet (Regelquerschnitt RQ31) [2]. Die Systemgrenzen der Studie sind in Bild 1 dargestellt.

### Herstellung des Autobahnabschnitts

Für jede Schicht wurden alle anfallenden Prozesse inklusive der zugehörigen Vorketten und Maschinen bilanziert. In den Tabellen 1 und 2 ist eine Zusammenstellung der wesentlichen Materialien getrennt für die Asphalt- und die Betonbauweisen dargestellt. Für die Herstellung des Oberbaus wurden Planiermaschinen, Grader, Fertiger, Walzen, Bitumenspritzgeräte und Nachbehandlungsgeräte sowie zur Herstellung der Fugen bei der Betonbauweise Fugenschneider und Vergusskocher angesetzt. Aufwendungen für die Baustelleneinrichtung wurden lediglich durch den An- und Abtransport der Baumaschinen berücksichtigt. Die ermittelten Prozessketten mit den verwendeten Datensätzen und den jeweiligen Streuungen sind [6] zu entnehmen.

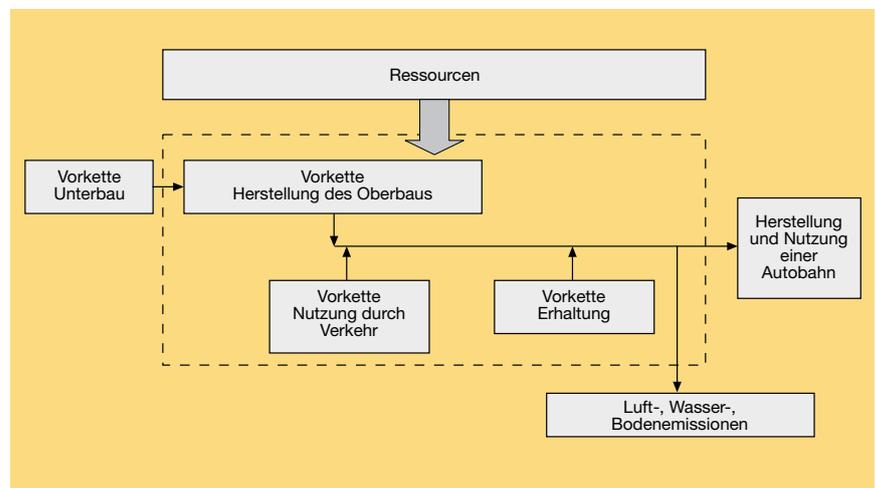


Bild 1: Systemgrenzen der Studie; der Begriff „Vorkette“ beinhaltet alle wesentlichen Parameter, die potentielle Umweltwirkungen erzeugen können (Gewinnung und Aufbereitung der Rohmaterialien, Bereitstellung der Infrastruktur sowie Transportprozesse)

**Tabelle 1: Übersicht über die wesentlichen Materialien zur Herstellung des Asphaltoberbaus**

Schicht	Material	
Frostschuttschicht	2150 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung (70 M.-% Kies; 30 M.-% Sand)	
Asphalttragschicht	36,7 kg/m <sup>3</sup> Bitumen 2349 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung	
Asphaltbinderschicht	0,3 kg/m <sup>2</sup> Bitumenemulsion 45,9 kg/m <sup>3</sup> Polymermodifizierte Bitumen (PmB) 2421 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung	
Asphaltdeckschicht	Gussasphalt:	Offenporiger Asphalt:
	0,3 kg/m <sup>2</sup> Bitumenemulsion 72,5 kg/m <sup>3</sup> Niederviskoses Bitumen 2415 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung (50 M.-% Kies, gebrochen; 25 M.-% Sand; 25 M.-% Füller) 8,0 kg/m <sup>2</sup> vorbituminierter Splitt (Abstreumaterial)	2,5 kg/m <sup>2</sup> PmB 8,0 kg/m <sup>2</sup> vorbituminierter Splitt 66,3 kg/m <sup>3</sup> PmB 1950 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung (95 M.-% Diabas; 5 M.-% Füller)

**Tabelle 2: Übersicht über die wesentlichen Materialien zur Herstellung des Betonoberbaus**

Schicht	Material	
Frostschuttschicht	2150 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung (70 M.-% Kies; 30 M.-% Sand)	
HGT	90,0 kg/m <sup>3</sup> CEM II/B-S 32,5 R 1975 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung (50 M.-% gebrochener Kies/Splitt; 30 M.-% runder Kies; 20 M.-% Natursand) 110,0 l/m <sup>3</sup> Leitungswasser 1,6 kg/m <sup>2</sup> Bitumenemulsion C60 B1 - N	
Zwischenschicht	0,5 kg/m <sup>2</sup> Vlies	
Betondeckschicht	Straßenbeton:	Waschbeton:
	3,36 m <sup>3</sup> /km Unterbeton (350 kg/m <sup>3</sup> CEM I) 1,68 m <sup>3</sup> /km Oberbeton (360 kg/m <sup>3</sup> CEM I) 44,8 m <sup>3</sup> /km Stahl für Dübel und Anker 9,6 t/km Nachbehandlungsmittel 4,3 t/km Fugenfüllstoffe	3,36 m <sup>3</sup> /km Unterbeton (350 kg/m <sup>3</sup> CEM I) 1,68 m <sup>3</sup> /km Oberbeton (430 kg/m <sup>3</sup> CEM I) 44,8 m <sup>3</sup> /km Stahl 6,0 t/km Kombinationsmittel 4,8 t/km Nachbehandlungsmittel 4,3 t/km Fugenfüllstoffe

Die Betondeckschicht enthielt CEM I 42,5 N als Bindemittel. Um das Optimierungspotential durch Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zu quantifizieren, wurde in einem weiteren Szenario der CEM I durch einen CEM III/A 42,5 R ersetzt.

**Nutzung des Autobahnabschnitts**

Für die Nutzungsphase wurde die Belastung durch Verkehr sowie Maßnahmen der baulichen Straßenerhaltung für einen Zeitraum von 30 Jahren berücksichtigt.

Für das Verkehrsaufkommen wurde ein realitätsnahes tägliches Verkehrsaufkommen von 52.000 Kfz/24h (42.000 Pkw, 10.000 Lkw) angenommen. Für den Schwerverkehr wurde eine Fahrzeugauslastung von 50% und ein

Treibstoffverbrauch von 0,395 kg Diesel/km berücksichtigt. Der angesetzte Treibstoffverbrauch für die Pkws entspricht europäischen Mittelwerten und betrug 0,0125 kg Diesel/km bzw. 0,0536 kg Benzin/km, wobei europaweit der Anteil an Benzinfahrzeugen bei 80 % lag [8]. Staubemissionen aufgrund von Reifen-, Bremsbeläge und Straßenabnutzung wurden eingerechnet. Dagegen blieben die Herstellung und Wartung der Fahrzeuge unberücksichtigt.

Da die bauliche Straßenerhaltung von zahlreichen Parametern abhängt, die im Rahmen einer Ökobilanz nicht alle quantifiziert werden können, wurde auf Grundlage von Erfahrungen aus der Baupraxis ein minimales Erhaltungsszenario (Sz. A) und ein maximales Erhaltungsszenario (Sz. B) gebildet.

Für die jeweiligen Maßnahmen wurden alle umweltrelevanten Daten inklusive Vorketten erfasst und analysiert (Tabelle 3).

Für den Abtransport der alten Materialien und den Antransport neuer Materialien wurde eine Transportentfernung von 50 km angenommen. Analog zur Herstellungsphase wurde die Baustelleneinrichtung lediglich über den An- und Abtransport der Baumaschinen berücksichtigt.

**3 Ergebnisse**

**Herstellung des Autobahnabschnitts**

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die potentiellen Umweltwirkungen des 1 km langen Autobahnabschnitts in der Herstellungsphase.

**Tabelle 3: Übersicht über die untersuchten Varianten der baulichen Erhaltung des betrachteten Autobahnabschnitts** (Betrachtungszeitraum: 30 Jahre)

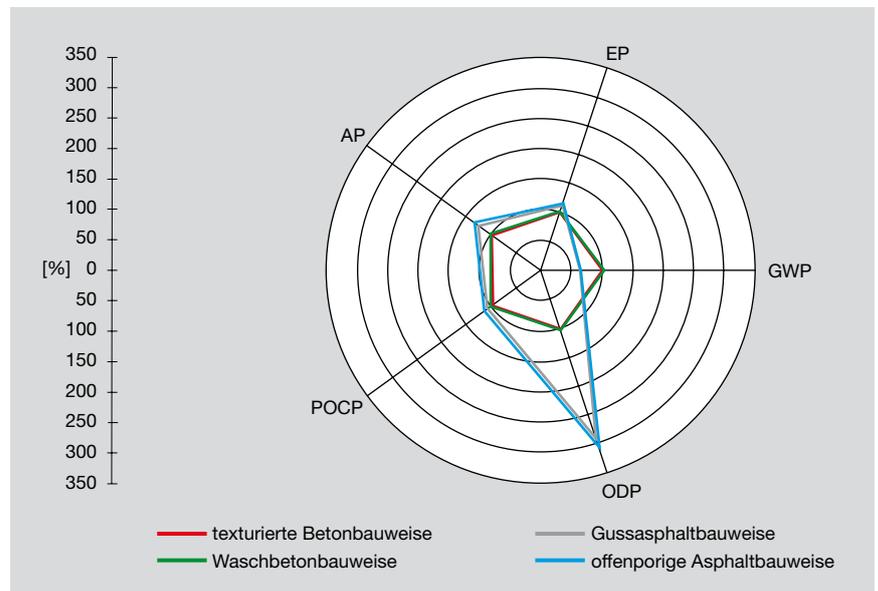
	Asphaltbauweisen		Betonbauweisen	
	Gussasphaltfahrbahn	Offenporige Asphaltfahrbahn	Texturierte Betonfahrbahn	Waschbetonfahrbahn
Sz. A	2x Austausch der Deckschicht 1x Austausch der Binderschicht	3x Austausch der Deckschicht 1x Austausch der Binderschicht	2x komplette Fugensanierung 5% Sanierung von Kanten- und Eckabbrüchen 1% Heben und Festlegen von Platten 1% Austausch ganzer Platten	
Sz. B	2x Austausch der Deckschicht 2x Austausch der Binderschicht	4,3x Austausch der Deckschicht 1x Austausch der Binderschicht	3x komplette Fugensanierung 20% Sanierung von Kanten- und Eckabbrüchen 3% Heben und Festlegen von Platten 3% Austausch ganzer Platten	

**Tabelle 4: Wirkungsindikatoren der Herstellung eines 1 km langen Autobahnabschnitts**

Ausführungsvarianten	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	ODP [kg CFC-1 1-eq.]	POCP [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.]	AP [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	EP [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq.]
Gussasphalt	1.694.573	0,39	413	8.191	1.232
Offenporiger Asphalt	1.730.430	0,40	431	8.516	1.264
Text. Beton	2.710.311	0,13	380	6.374	1.084
Text. Beton mit CEM III	2.153.620	0,13	344	6.343	1.079
Waschbeton	2.821.219	0,13	389	6.478	1.100
Waschbeton mit CEM III	2.227.417	0,13	350	6.447	1.094

Die Betonbauweisen weisen in fast allen Wirkungskategorien niedrigere potentielle Umweltwirkungen als die analysierten Asphaltbauweisen auf (Bild 2). Eine Ausnahme bildet das Treibhauspotential (GWP).

Bei den Bauweisen aus Beton besitzt die Waschbetonausführung aufgrund des höheren Zementgehalts der Deckschicht (430 kg/m<sup>3</sup>) geringfügig höhere potentielle Umweltwirkungen als die durch Nachziehen eines Kunstrasens texturierte Betondecke (Zementgehalt: 360 kg/m<sup>3</sup>). Der Baustoff Beton liefert den größten Beitrag an potentiellen Umweltwirkungen bei der Herstellung des Oberbaus. Eine Dominanzanalyse des Baustoffes ergab, dass Anmachwasser und Luftporenmittel einen vernachlässigbaren Beitrag auf die Umweltwirkungen haben. Den größten Beitrag liefert der CEM I bei dem Beton für die Deckschichten mit 70 (EP) bis 96 % (GWP). Die Gesteinskörnung weist einen Anteil von bis zu 10%



**Bild 2: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der Herstellung eines 1 km langen Autobahnabschnitts**

Tabelle 5 – Wirkungsindikatoren der Nutzung eines 1 km langen Autobahnabschnitts

Ausführungs-varianten / Verkehr	GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	ODP [kg CFC-1 1-eq.]	POCP [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.]	AP [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	EP [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq.]
Gussasphalt Sz. A	944.116	0,21	272	5.249	723
Gussasphalt Sz. B	1.230.617	0,27	352	6.808	943
Offenporiger Asphalt Sz. A	1.048.154	0,24	316	6.028	764
Offenporiger Asphalt Sz. B	1.363.116	0,33	423	7.986	995
Text. Beton Sz. A	60.520	0,01	46	265	36
Text. Beton Sz. B	170.920	0,01	81	742	110
Waschbeton Sz. A	63.971	0,01	46	270	37
Waschbeton Sz. B	181.274	0,01	82	756	113
Verkehrsbelastung	230.904.557	29,84	167.980	1.066.521	202.078

an den potentiellen Umweltwirkungen auf. Die restlichen Beiträge stammen aus den Aufwendungen für die Infrastruktur und aus Transportprozessen.

Durch Austausch von CEM I mit CEM III in der Deckschicht kann beim Treibhauspotential eine Einsparung von 20 % (texturierte Betonbauweise) bzw. 21 % (Waschbetonbauweise) erreicht werden. Bei den anderen Wirkungskategorien fällt das Einsparpotential mit 0,1 bis 10 % je nach Wirkungskategorie deutlich geringer aus.

Bei der Betrachtung der Asphaltbauweisen zeigt sich, dass die Bauweise aus offenporigem Asphalt bei den Wirkungskategorien GWP, POCP, AP und EP geringfügig höhere potentielle Umweltwirkungen aufweist als die Gussasphaltbauweise. Dies liegt zum einen an der Gesteinskörnung sowie dem hohen Bindemittelgehalt beim Asphalt für die Deckschicht, zum anderen ist hier eine zusätzliche Abdichtung nötig. Beim ODP unterscheiden sich die Varianten nur unwesentlich. Der Asphalt trägt bei weitem den größten Anteil an den potentiellen Umweltwirkungen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die potentiellen Umweltwirkungen bei der Herstellung des Straßenoberbaus im

Wesentlichen von den Rohmaterialien selbst stammen. Insbesondere die energieintensive Herstellung von Zement und Asphalt ist mit rund 57 bis 66 % als maßgebend zu betrachten. Bei der Betonbauweise können potentielle Umweltwirkungen durch die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen reduziert werden. Bei allen Bauweisen besteht Einsparpotential in der Reduzierung von Transportprozessen.

### Nutzung des Autobahnabschnitts

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die gesamten potentiellen Umweltwirkungen des 1 km langen Autobahnabschnitts in der dreißigjährigen Nutzungsphase. Im Ergebnis

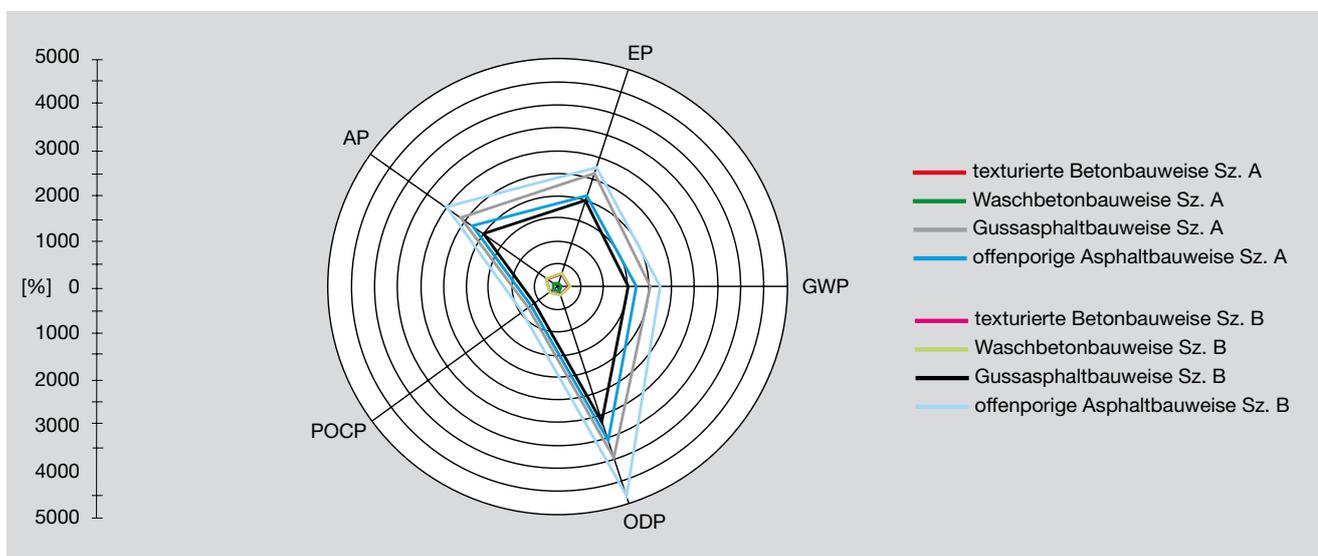


Bild 3: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der Erhaltung eines 1 km langen Autobahnabschnittes relativ zum Betonoberbau mit texturierter Oberfläche; Sz. A: minimaler Erhaltungsaufwand; Sz. B: maximaler Erhaltungsaufwand

zeigt sich, dass die Asphaltbauweisen im Erhaltungszeitraum höhere Umweltwirkungen als die Betonbauweisen aufweisen, Bild 3. Fasst man den Herstellungs- und Erhaltungsaufwand zusammen, dann besteht zwischen beiden Bauweisen bei der Wirkungskategorie GWP kein signifikanter Unterschied, bei den Wirkungskategorien ODP, POCP, AP und EP weisen die Betonbauweisen deutlich geringere potentielle Umweltwirkungen auf.

Das Einsparpotential in den Erhaltungsmaßnahmen durch die Szenarienbildung A (minimaler Erhaltungsaufwand) liegt je nach Wirkungskategorie und Maßnahme zwischen 20 und 60 %. Optimierungspotential besteht bei der baulichen Erhaltung von Autobahnen aus Beton hauptsächlich in der Dauerhaftigkeit der Fugenfüllungen.

Das größte Einsparpotential liegt jedoch - unter Einbezug der Verkehrsbelastung - in der Reduzierung des Treibstoffverbrauchs. Sie besitzt unter den getroffenen Annahmen (42.000 Pkw und 10.000 Lkw pro Tag) bis zu  $5 \times 10^3$  höhere Umweltbelastungen als die Erhaltung des Straßenoberbaus. Die Umweltwirkungen sind hauptsächlich auf die Verbrennung des Treibstoffs zurückzuführen. Der Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge hängt wiederum von verschiedenen Faktoren ab. In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl von Untersuchungen über den Einfluss der Oberflächeneigenschaften (Rollwiderstand, Ebenheit, Steifigkeit) von Fahrbahndecken auf den Treibstoffverbrauch durchgeführt. Die Fahrbahneigenschaften Oberflächengestalt (Textur), Unebenheit (obere Makro- und Megatextur) sowie Stei-

figkeit der Fahrbahn können demnach den Treibstoffverbrauch in einer Größenordnung von 5 bis 20 % beeinflussen [1, 4, 5, 7, 10]. Folglich besteht nicht nur in der Automobil- und Reifenindustrie, sondern auch bei Fahrbahndecken ein deutliches Optimierungspotential. Einer „treibstoffsparenden“ Bauweise kommt demnach eine deutlich größere Bedeutung zu als einer Bauweise mit geringen Umwelteinwirkungen während der Herstellung und Nutzung.

## 4 Zusammenfassung

Die Studie zeigt, dass bei der Herstellung und Nutzung einer Autobahn potentielle Umweltwirkungen reduziert werden können.

So besteht bei der Herstellung und Gewinnung der Ausgangsstoffe bei Betonbauweisen Optimierungspotential insbesondere durch die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen. Die Auswertung der Nutzungsphase zeigt, dass dauerhafte Bauweisen mit geringem Erhaltungsaufwand deutliche Vorteile besitzen. Da die potentiellen Umweltwirkungen aus der Verkehrsbelastung allerdings um etwa den Faktor 100 über denen aus Erhaltung und Herstellung zusammen liegen, ist hier das größere Einsparpotential vorhanden. Zahlreiche Studien zeigten bereits den Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn auf den Treibstoffverbrauch auf. Ein Ansatz für weitere Forschungsaufgaben ist damit gegeben.



Fahrbahndecke aus Beton mit Betonschutzwand

## Literatur

- [1] Descornet, G.: Road Surface Influence on Tire Rolling Resistance. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, p. 401-415, Philadelphia, 1990
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (2009): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA); Ausgabe 2008
- [3] <http://www.ecoinvent.ch>
- [4] Laganier, R.; Lucas, J.: The Influence of Pavement Evenness and Macrottexture on Fuel Consumption. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, Seite 454-459, Philadelphia, 1990
- [5] Lundström, K.; Finnsementti, O.: Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements, 8th International Symposium on Concrete Roads, Lisbon, 2003
- [6] Milachowski, C., Stengel T., Lowke D., Gehlen C.: „Erstellung einer Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts“. Forschungsbericht 20-F-0068, TU München, München 2010
- [7] NRC-CSTT: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption – Phase 2: Seasonal Test, CSTTHWV-CTR-041, National Research Council of Canada – Centre for Surface Transportation Technology, Ottawa, 2000
- [8] Spielmann M.; Kägi T., Stadle P., Tietje O.: Life Cycle Inventory of Transport Services; ecoinvent report No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004
- [9] Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Emissionsentwicklung 1990-2007 (Endstand 20.02.2009), [www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm](http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm)
- [10] Zaniewski, J.: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption. SR289.01 P Portland Cement Association, Skokie, 1989

## Weiterbildung für den Betoneinbau im Straßenbau - B-StB-Schein

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) hat im vergangenen Jahr den Arbeitskreis 8.3.3 „Stadt- und Landstraßen sowie besondere Verkehrsflächen“ gegründet. Dieser AK erarbeitet gegenwärtig Merkblätter für Kreisverkehre, Busverkehrsflächen, Tank- und Rastanlagen sowie Stadt- und Landstraßen in Beton als Ergänzung zu den bestehenden Regelwerken. Um die Umsetzung dieser technischen Merkblätter zu unterstützen, wurde ein Weiterbildungskonzept zum Fachmann für den Betoneinbau erarbeitet und als B-StB-Schein bezeichnet.

Der B-StB-Schein (Beton-Straßenbau-Schein) wird eine zertifizierte Weiterbildung sein, der durch die FGSV, den Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV), den Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, den Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (BDZ), die Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V. (GVB), den Bundesverband Transportbeton (BTB), die Qualitätsgemeinschaft Städtischer Straßenbau e.V. (QGS) und den Berufsverband für Straßenbau- und Verkehrstechniker Berlin-Brandenburg e.V. (VSVI) getragen wird. Ein noch

zu gründender Bildungsbeirat wird aus den Erfahrungen eines Pilotprojektes aufbauend einen einheitlichen Stoffplan, eine Prüfungsordnung sowie weitere Regularien erarbeiten.

Ziel der Weiterbildung ist die Vertiefung der theoretischen und praktischen Kenntnisse zum Baustoff Beton sowie deren Besonderheiten bei Planung, Konstruktion, Ausführung und notwendiger Baulichen Erhaltung für Stadt- und Landstraßen sowie besondere Verkehrsflächen.

Der Lehrgang ist als zweiwöchige Weiterbildungsveranstaltung konzipiert, beinhaltet auch eine praktische Unterweisung zum Prüfen des Betons und schließt mit einer schriftlichen Prüfung ab. In der ersten Woche werden Grundlagen zum Baustoff Beton vermittelt und in der zweiten Woche die Anwendungsmöglichkeiten im Straßenbau vertieft. Der Lehrgang ist für Bauleiter und Poliere der ausführenden klein- und mittelständischen Straßen- und Tiefbauunternehmen sowie für technisch orientiertes Personal der Transportbetonindustrie gedacht.

Mitarbeiter von Planungs- und Ingenieurbüros sowie der Straßenbauverwaltungen können ebenfalls ihre Kenntnisse zum Baustoff Beton erweitern.

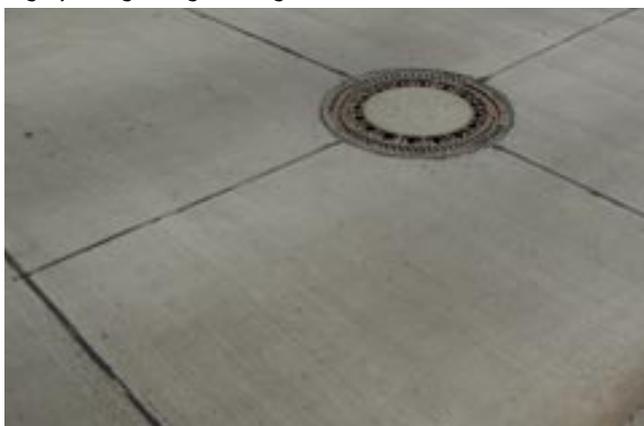
Mitgliedsfirmen der Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V. sollten dieses Bildungsangebot überprüfen und nutzen.

Die Teilnehmer erhalten den B-StB-Schein als zertifizierte Weiterbildung und als Grundlage für einen qualitätsgerechten Einbau des Betons im Straßenbau.

Der Bildungsbeirat wird die Bildungseinrichtungen benennen, die diese Weiterbildung durchführen werden. Das Pilotprojekt wurde am Betonzentrum Dresden des Berufsförderungswerkes Bau Sachsen e.V. durchgeführt. Der nächste Lehrgang für den B-StB-Schein ist vom 14.02.2011 bis 26.02.2011 in Dresden vorgesehen. Lehrgangsanmeldungen sind unter [www.betonzentrum-dresden.de](http://www.betonzentrum-dresden.de) möglich.

Weitere Bildungseinrichtungen werden für den kommenden Winter diese Weiterbildungsmaßnahme anbieten.

### Fugenplanung und -gestaltung im städtischen Betonstraßenbau



## Neuwahlen des Vorstandes der GVB

In der Mitgliederversammlung vom Februar 2010 standen satzungsgemäß Neuwahlen der ehrenamtlich tätigen Vorstände der Gütegemeinschaft an. Zunächst wurde Dipl.-

Ing. Uwe Bielenberg als Vorstandsvorsitzender von der Mitgliederversammlung einstimmig wiedergewählt. Dipl.-Ing. Bernd Diening und Dr.-Ing. Walter Fleischer wurden ebenso von

der Mitgliederversammlung als Vorstände bestätigt.

Der neue Vorstand tritt somit in der bisherigen Konstellation für die nächsten beiden Jahre an

und bedankt sich für das in ihn gesetzte Vertrauen. Damit bleibt die Kontinuität einer effektiven Tätigkeit der Gütegemeinschaft sichergestellt.

An welchen Themen sind Sie besonders interessiert? Oder möchten Sie die kostenlose Broschüre „Griffig“ bestellen? Bitte senden Sie uns Ihre Vorschläge oder Bestellung an E-Mail: [ehrllich@bdzement.de](mailto:ehrllich@bdzement.de) oder per Fax an: (0211) 4578-44721.

I  
M  
P  
R  
E  
S  
S  
U  
M

#### Aufgaben der Gütegemeinschaft

Die Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V. hat die Aufgabe, die Qualität von Straßen und sonstigen hochbelasteten Verkehrsflächen aus Beton zu fördern und zu sichern. Dabei sind insbesondere die Anforderungen der Belastbarkeit, der Wirtschaftlichkeit, der Ökologie und der Sicherheit an derartige Verkehrsflächen maßgebend. Gleichzeitig hat die Gütegemeinschaft die Aufgabe, diese Qualitätsmerkmale gegenüber Dritten, insbesondere den zuständigen Behörden zu vermitteln.

#### Dazu werden

- alle technologischen Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung sowie die Erfahrungen aus dem Verkehrswegebau mit Beton ausgewertet und umgesetzt,
- der Erfahrungsaustausch zwischen den für den Verkehrswegebau zuständigen Behörden und Ministerien, den bauausführenden Unternehmen und der Forschung gefördert und
- die Einhaltung der durch die Gütegemeinschaft von ihren Mitgliedern geforderten Qualitätsstandards kontrolliert.



#### Herausgeber

Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V.  
Tannenstrasse 2  
40476 Düsseldorf  
Telefon: 0211/436926-627  
Fax: 0211/4578-44721  
E-Mail: [ehrllich@bdzement.de](mailto:ehrllich@bdzement.de)  
[klaus.boehme@f-kirchhoff.de](mailto:klaus.boehme@f-kirchhoff.de)

Konzept/Realisation  
diba komm e.K.,  
Düsseldorf

Gestaltung/Layout  
B. Birnbaum, Düsseldorf

Nachdruck, auch auszugsweise mit Quellenangabe und Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Herstellung  
Werbedruck GmbH  
Horst Schreckhase  
Dörnbach 22  
34286 Spangenberg

[www.guetegemeinschaft-beton.de](http://www.guetegemeinschaft-beton.de)

GRIFFIG 1/2010