

## Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen

FA 89.204/08

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher)

Bearbeiter: Youn, B.-Y.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: Februar 2009

### 1 Aufgabenstellung

Mit Einführung der Waschbetonbauweise konnten die Oberflächen von Fahrbahndecken hinsichtlich Griffigkeit und Lärminderung (Reifen/Fahrbahn-Geräusch) gegenüber den herkömmlichen Oberflächen, z. B. mit Jutetuch texturierten, verbessert werden. Diese positiven Eigenschaften können jedoch nur sichergestellt werden, wenn die entsprechende Waschbetontextur der Oberfläche dauerhaft erhalten bleibt. In Bezug auf die Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 5/2006 und Nr. 14/2006 wurden bereits einschlägige Untersuchungen zur Optimierung sowie zur zielsicheren Herstellung von Waschbetonoberflächen durchgeführt.

Dennoch fehlen weitere Erkenntnisse über die Dauerhaftigkeit von Waschbetonoberflächen, insbesondere bei frühzeitigen Beanspruchungen der Oberfläche. Für eine frühzeitige Verkehrsfreigabe von Betonfahrbahndecken wird in der ZTV Beton-StB 07 eine Mindestbetondruckfestigkeit von 26 N/mm<sup>2</sup> gefordert. Insbesondere Betonfahrbahnen, die im Spätherbst bei niedrigen Temperaturen hergestellt und bereits kurze Zeit später, d. h., in noch jungem Alter, durch Frost und Taumittel beansprucht werden, müssen einen ausreichend hohen Widerstand gegen solche Frost-Tausalz-Wechsel aufweisen.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts die Dauerhaftigkeit von Waschbetonoberflächen bei Herstellung unter spätherbstlichen Klimabedingungen und bei frühzeitiger Verkehrsfreigabe unter Frost-Taumittelbeanspruchung untersucht. Im Fokus auf die Waschbetonoberfläche wurde insbesondere die Einbettung der groben Gesteinskörnung in der Oberfläche mittels Oberflächenzugfestigkeitsprüfungen an befrosten und unbefrosten Proben sowie die Makrotextur vor und nach der Frost-Tausalz-Prüfung überprüft.

### 2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen einer Literaturstudie wurden die maßgeblichen Schadensmechanismen infolge Frost-Taumittelbeanspruchung von Straßenbeton dargelegt. Des Weiteren wurden die beton-, einbau- sowie verarbeitungstechnologischen Aspekte zur zielsicheren Herstellung von Waschbeton erörtert.

Aus zahlreichen Forschungsarbeiten ging hervor, dass mit einer modifizierten bzw. optimierten Betonzusammensetzung, mit dem Glätten eines Längsglätters zur optimalen Ausrichtung und engen Anordnung der groben Gesteinskörner an der Waschbetonoberfläche, mit dem gleichmäßigen Aufsprühen des Kombinationsmittels und dem damit verbundenen richtigen Ausbüstzeitpunkt die angestrebte, mittlere Oberflächentexturtiefe von 0,8 mm erzielt werden kann.

Diese ist für die Sicherstellung der Griffigkeit und dauerhafter Lärminderung von maßgebender Bedeutung. Hierzu wurden Betonplatten mit einer Waschbetonoberfläche unter Variation zweier Zementarten (CEM I 42,5 R und CEM II/A-S 42,5 R) hergestellt. Zur Simulation spätherbstlicher Klimabedingungen wurden die Ausgangsstoffe vor dem Anmischen des Betons bei

8 °C und 85 % rel. F. vorgelagert. Anschließend wurden die hergestellten Betonplatten bei folgenden Klimabedingungen gelagert:

- 8 °C und 85 % rel. F.
- 8 °C und 99 % rel. F.
- 20 °C und 65 % rel. F.

Nach Erreichen der angestrebten Zieldruckfestigkeiten von 20, 26 bzw. 32 N/mm<sup>2</sup>, die orientierend anhand des aus den Vorversuchen ermittelten Reifegrades abgeschätzt wurden, wurden Probekörper (150x110x70 mm<sup>3</sup>) aus den Betonplatten gesägt und anschließend sofort, d. h. schon frühzeitig einer modifizierten CDF-Prüfung unterzogen. Dabei wurde auf eine 7-tägige Vorlagerung durch kapillares Saugen verzichtet, um eine möglichst frühe Frost-Tausalz-Belastung einzuleiten.

Die Messungen zur Bestimmung der inneren und äußeren Schädigung des Betons wurden vor Beginn der Frost-Tau-Wechsel sowie nach 4, 8 und 14 Frost-Tau-Wechseln durchgeführt. Nach dem jeweiligen Frost-Tau-Wechsel wurden an befrosten und unbefrosten Proben der gleichen Prüferserie die Oberflächenzugfestigkeiten bestimmt.

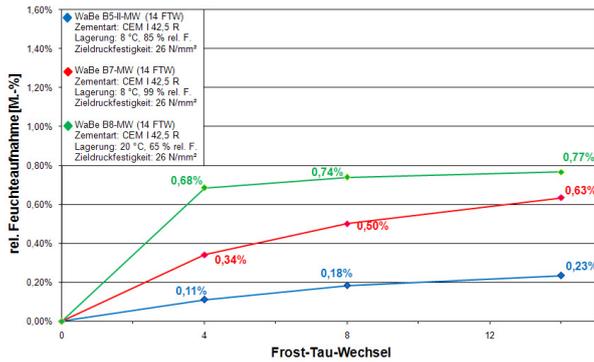
Die unbefrosten Proben wurden bis zur jeweiligen Oberflächenzugfestigkeitsprüfung unter der entsprechenden Erhärtungsbedingung gelagert. Die mittlere Oberflächentexturtiefe wurde vor der Frost-Tausalz-Prüfung und nach dem jeweiligen Frost-Tau-Wechsel bestimmt, um eine mögliche Änderung der Makrotextur zu erfassen.

Für eine ganzheitliche Analyse der Dauerhaftigkeit von Waschbetonoberflächen unter Frost-Taumittelbeanspruchung wurden insbesondere die Ergebnisse der Untersuchungen unter der Lagerungsbedingung von 8 °C und 99 % rel. F. mit den drei Zieldruckfestigkeiten zu Beginn der Prüfung (20, 26 und 32 N/mm<sup>2</sup>) herangezogen und mit den Ergebnissen der zwei anderen Untersuchungen mit einer Lagerung bei 8 °C, 85 % rel. F. bzw. 20 °C / 65 % rel. F. sowie einer Zieldruckfestigkeit von 26 N/mm<sup>2</sup> verglichen.

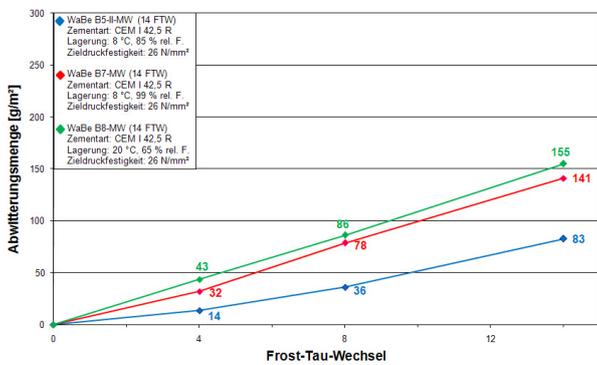
### 3 Untersuchungsergebnisse

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts zeigten sich bei den CDF-Prüfungen sowie den anschließend vorgenommenen Oberflächenzugfestigkeitsprüfungen nur geringfügige Unterschiede zwischen den beiden verwendeten Zementen CEM I 42,5 R und CEM II/A-S 42,5 R. Während der gesamten Frost-Tausalz-Prüfung wurde bei allen untersuchten Betonen ein deutlicher Anstieg der relativen Feuchteaufnahme in den ersten beiden Tagen, entsprechend 4 Frost-Tau-Wechseln, festgestellt. Dieser beruhte auf dem Füllen größerer Poren mit Wasser, da die sonst übliche Wasseraufsaugperiode vor den eigentlichen Frostzyklen hier ja entfallen war.

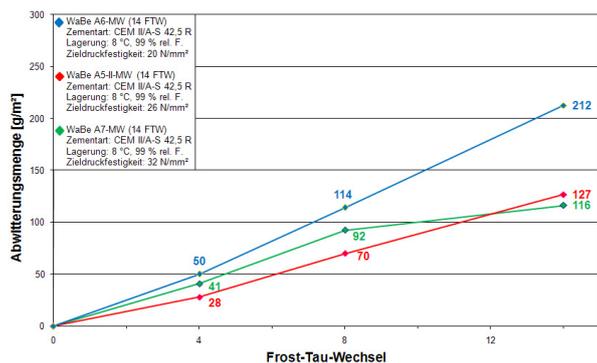
Im weiteren Verlauf nahm die Feuchteaufnahme zwar stetig, aber mit reduzierter Intensität zu, welches auf das spätere Füllen der kleineren Poren zurückzuführen ist. Im Hinblick auf die Abwitterung wurden bei den Serien mit der Zieldruckfestigkeit von 26 N/mm<sup>2</sup>, die bei 20 °C und 65 % rel. F. gelagert wurden, die höchste Abwitterungsmenge verzeichnet. Während die Serien durch ihre Lagerung (8 °C, 85 % rel. F. sowie 99 % rel. F.) oberflächennah wassergesättigt waren, kam es bei den Serien mit 20 °C / 65 % rel. F. Lagerung zum Austrocknen der oberflächennahen Schicht. Dies erklärt auch die im Vergleich zu den anderen Serien höhere Wasseraufnahme zu Beginn der Prüfung.



**Bild 1:** Rel. Feuchtaufnahmen der CEM I-Serien WaBe B5-II (8 °C, 85 % rel. F.), WaBe B7 (8 °C, 99 % rel. F.), WaBe B8 (20 °C / 65 % rel. F.) mit gleicher Zieldruckfestigkeit von 26 N/mm<sup>2</sup>



**Bild 2:** Abwitterungsmengen der CEM I-Serien WaBe B5-II (8 °C, 85 % rel. F.), WaBe B7 (8 °C, 99 % rel. F.), WaBe B8 (20 °C / 65 % rel. F.) mit gleicher Zieldruckfestigkeit von 26 N/mm<sup>2</sup>



**Bild 3:** Abwitterungsmengen der CEM II/A-S-Serien WaBe A6 (20 N/mm<sup>2</sup>), WaBe A5-II (26 N/mm<sup>2</sup>), WaBe A7 (32 N/mm<sup>2</sup>) bei gleicher Lagerung (8 °C, 99 % rel. F.)

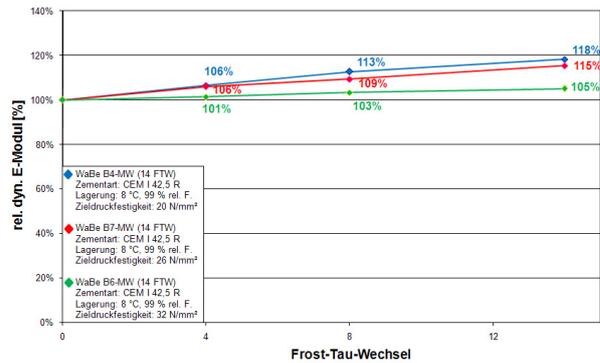
Bei gleicher Lagerung (8 °C und 99 % rel. F.) wiesen die Serien mit der höheren Zieldruckfestigkeit (32 N/mm<sup>2</sup>) erwartungsgemäß geringere Abwitterungsmengen als die mit einer Zieldruckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup>.

Aufgrund der höheren Zieldruckfestigkeit zu Beginn der Prüfung sowie der fortschreitenden Hydratation war die Verfestigung

des Betongefüges im Vergleich zu den anderen Serien ausgeprägter, welche sich günstig auf den Frost-Tausalz-Widerstand auswirkte. Einen ausreichend hohen Frost-Tausalz-Widerstand wiesen ebenfalls die Serien mit einer Zieldruckfestigkeit von 26 N/mm<sup>2</sup> auf.

Auffällig war die kontinuierliche Zunahme des relativen, dynamischen E-Moduls aller untersuchten Betone im gesamten Verlauf der Prüfung.

Diese ist auf die in diesem frühen Alter noch intensiv andauernde Hydratation zurückzuführen.

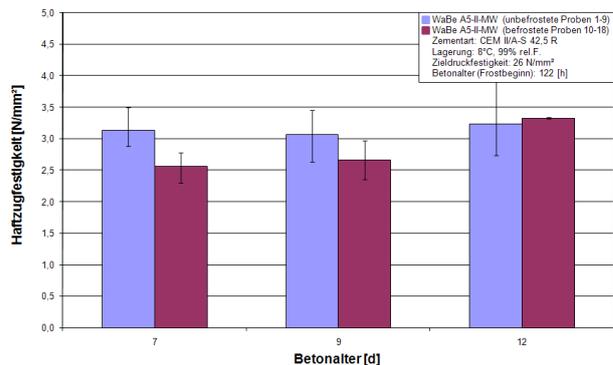


**Bild 4:** Rel. dyn. E-Modul der CEM I-Serien WaBe B4 (20 N/mm<sup>2</sup>), WaBe B7 (26 N/mm<sup>2</sup>), WaBe B6 (32 N/mm<sup>2</sup>) bei gleicher Lagerung (8 °C, 99 % rel. F.)

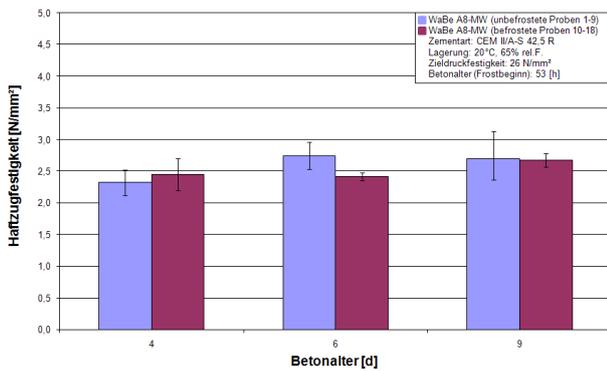
Im Rahmen der Oberflächenzugfestigkeitsprüfungen wurden insbesondere bei den unbefrosten Proben in der Feuchtlagerung bei 8 °C und 99 % rel. F. die höchsten Oberflächenzugfestigkeiten ermittelt.

Im Gegensatz dazu wurde den Betonen der Serien, die bei 20 °C und 65 % rel. F. lagerten, das zur vollständigen Hydratation notwendige Wasser offensichtlich im oberflächennahen Bereich durch Austrocknung entzogen.

Dementsprechend wiesen diese Serien zu den jeweiligen Prüfzeitpunkten jeweils geringere Oberflächenzugfestigkeiten als die feuchter gelagerten Betone auf.



**Bild 5:** Oberflächenzugfestigkeiten der CEM II/A-S-Serie WaBe A5-II (8 °C, 99 % rel. F.; 26 N/mm<sup>2</sup>)



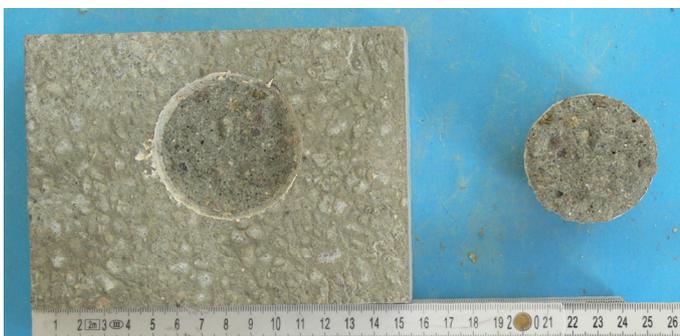
**Bild 6: Oberflächenzugfestigkeiten der CEM II/A-S-Serie WaBe A8 (20 °C / 65 % rel. F.; 26 N/mm²)**

Allen untersuchten Proben konnten Brüche sowohl in der Gesteinskörnung als auch in der Zementsteinmatrix (Kohäsionsbrüche) zugeordnet werden.

Die Proben, die die größten Oberflächenzugfestigkeiten erreichten, wiesen Kohäsionsbrüche in tiefer liegenden Schichten auf, während bei den Proben mit geringeren Oberflächenzugfestigkeiten Kohäsionsbrüche in der oberflächennahen Schicht festgestellt wurden. Die Ursachen hierfür konnten nicht eindeutig geklärt werden.



**Bild 7: Kohäsionsbruch in der oberflächennahen Schicht der CEM II/A-S-Probe WaBe A8-18 (20 °C / 65 % rel. F.; 26 N/mm²) im Betonalter von 9 d mit Oberflächenzugfestigkeiten von 2,6 N/mm²**



**Bild 8: Kohäsionsbruch in tiefer liegenden Schichten der CEM I-Probe WaBe B5-II-7 (8 °C, 85 % rel. F., 26 N/mm²) im Betonalter von 11 d mit Oberflächenzugfestigkeiten von 3,2 N/mm²**

Allerdings lässt sich auch in den Fällen mit gerissenen Gesteinskörnern aufgrund der generell erzielten Oberflächenzugfestigkeiten (stets > 1,5 N/mm²) keine Beeinträchtigung der

Dauerhaftigkeit (einschließlich der Korneinbettung) der Waschbetonoberfläche, die bei kühler und feuchter Witterung nur kurze Zeit erhärten konnte und frühzeitig Frost-Tausalzbeanspruchung ausgesetzt war, erkennen, solange die Festigkeit des Betons bei der ersten Frosteinwirkung größer als ca. 20 N/mm² ist.