

## Entwicklung frühhochfester Reparaturbetone in Waschbetonbauweise

FA 8.208

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

Bearbeiter: Breitenbücher, R. / Holzmann, F.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Oktober 2013

### 1 Aufgabenstellung

Der Unterhalt und damit auch die Instandsetzung von Verkehrsflächen aus Beton gewinnen angesichts der zunehmenden Beanspruchung infolge immer höherer Verkehrsbelastung zunehmend an Bedeutung. Damit Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Fahrkomfort sowie der wirtschaftliche Substanzerhalt von Fahrbahndecken über die gesamte Nutzungszeit gewährleistet werden können, sind einschlägige Instandsetzungsmaßnahmen oftmals unumgänglich. Hierbei kommt einer möglichst kurzen Sperrzeit höchste Priorität zu, um den Verkehr so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Sperrungen oder Umleitungen sind meist mit Staus und Überbeanspruchungen der Umleitungsstrecken verbunden. Um bei Verkehrsflächen die Sperrzeiten möglichst kurz halten zu können, ist bei Instandsetzungen in Betonbauweise eine relativ hohe Frühfestigkeit des Reparaturbetons unabdingbar. In den aktuellen Regelwerken wird daher gefordert, dass bei Ersatz von Platten und Plattenteilen ein frühhochfester Reparaturbeton zu verwenden ist, der bereits nach acht Stunden eine Mindestdruckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup> aufweist.

Für kleinere Instandsetzungsmaßnahmen, z. B. die Erneuerung von nur kleineren Teilflächen, werden meist vorkonfektionierte Trockenbetone mit speziellen Bindemittelkombinationen eingesetzt, deren Festigkeitsentwicklung bereits deutlich vor einer Stunde einsetzt. Für die Instandsetzung größerer Flächen (z. B. Einzelplattenauswechslung) werden in der Regel frühhochfeste Fließbetone verwendet. Beide Methoden sind bislang auf eine texturierte Oberfläche ausgerichtet und für diese erprobt. Hingegen existieren für die derzeitige Standardbauweise "Waschbeton" keine derartigen anwendungsreifen Reparaturbetone. Für die Herstellung einer Waschbetonstruktur in frühhochfestem Beton gilt es, das Zeitfenster zwischen einer ausreichenden Verarbeitbarkeitsdauer und der raschen globalen Festigkeitsentwicklung einerseits, sowie der Verzögerungszeit für die fachgerechte Herstellung der Waschbetonstruktur andererseits zu optimieren.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es daher, geeignete Reparaturbetone für Instandsetzungsflächen verschiedener Größen (lokale Stellen bis hin zu Einzelplattenauswechslungen) zu entwickeln bzw. zu überprüfen. Dabei ist zum einen für eine zweckmäßigen Waschbetonoberfläche eine mittlere Texturtiefe von etwa  $R_t = 0,6$  bis 1,1 mm anzustreben, zum anderen muss der Beton nach acht Stunden eine Mindestdruckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup> aufweisen. Darüber hinaus ist auch eine ausreichende Dauerhaftigkeit, insbesondere hinsichtlich Frost-Tausalz-Widerstand, sicherzustellen.

### 2 Untersuchungsmethodik

In die Untersuchungen wurden folgende fünf unterschiedliche Systeme zur Herstellung eines frühhochfesten Reparaturbetons in Waschbetonbauweise einbezogen:

- Schnellbetone mit speziellen Bindemittelkombinationen,
- Frühhochfeste Fließbetone,
- Betone auf Basis von Portlandzementen mit gleichzeitiger Verwendung von Erhärtungsbeschleunigern,
- beschleunigte kunststoffmodifizierte Betone und
- Kunstharzbetone (orientierend).

Für die einschlägigen Untersuchungen wurden Betonplatten (500 x 700 x 70 mm<sup>3</sup>) hergestellt. Auf die frischen Oberflächen der zementgebundenen Betone wurden jeweils drei verschiedene Kombinationsmittel (Oberflächenverzögerer in Kombination mit Nachbehandlungsmittel), zum einen mit der vom Hersteller empfohlenen Menge, zum anderen im MV 1:1 mit Wasser verdünnt, aufgesprüht. Nach entsprechender Wartezeit wurde – zu unterschiedlichen Zeitpunkten – der Oberflächenmörtel mit folgenden verschiedenen Ausbüst-/Auswaschverfahren entfernt:

- Stahlbürste,
- Messingbürste,
- Stahlbürste unter Wasserzugabe,
- Druckwasser ~3 bar,
- Druckwasser ~80 bar und
- Druckwasser ~160 bar.

An diesen Probestplatten wurden die mittlere Texturtiefe und die Anzahl der Profilspitzen der Waschbetonoberfläche bestimmt. Parallel dazu wurde an separat hergestellten Probewürfeln die Festigkeitsentwicklung der Betone ermittelt. Darüber hinaus wurde an Teilproben aus den Waschbetonplatten der Frost-Tausalz-Widerstand im CDF-Test erfasst.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Die Schnellbetone mit speziellen Bindemittelkombinationen konnten im Alter von acht Stunden die geforderte Druckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup> problemlos erreichen. Für diese Betone erwies sich ein Ausbüstzeitpunkt von fünf Stunden nach der Betonherstellung als am günstigsten. Zu diesem Zeitpunkt war der Oberflächenmörtel noch erdfucht und ließ sich problemlos entfernen. Die grobe Gesteinskörnung war aufgrund der raschen Festigkeitsentwicklung bereits fest in der Mörtelmatrix eingebunden. Im Alter von vier Stunden war der Oberflächenmörtel noch vergleichsweise weich, die groben Gesteinskörner zum Teil noch nicht ausreichend fest eingebunden. Auch nach sieben Stunden war ein Entfernen des Oberflächenmörtels noch möglich, allerdings war das Ausbürsten zu diesem Zeitpunkt schon deutlich erschwert. Hieraus ergab sich für die

Schnellbetone ein offenes Zeitfenster für die Herstellung der Waschbetonstruktur von nur rund zwei Stunden. Sowohl bedingt durch die verschiedenen Oberflächenverzögerer als auch die verschiedenen Ausbürst-/Auswaschverfahren zeigten sich mehr oder weniger deutliche Unterschiede in den erzeugten Waschbetonstrukturen. So wurde der Oberflächenmörtel unter Verwendung von Oberflächenverzögerer OVZ I offensichtlich bis in größere Tiefe hin verzögert als bei OVZ II und III, was sich in einer größeren mittleren Texturtiefe zeigte.

Beim Auswaschen des Oberflächenmörtels mit Druckwasser (Hochdruck) wurden die größten mittleren Texturtiefen von bis zu 1,8 mm erzeugt. Demgegenüber erfolgte der Mörtelabtrag beim Ausbürsten schonender, was sich in mittleren Texturtiefen von rund 0,8 - 1,2 mm äußerte.

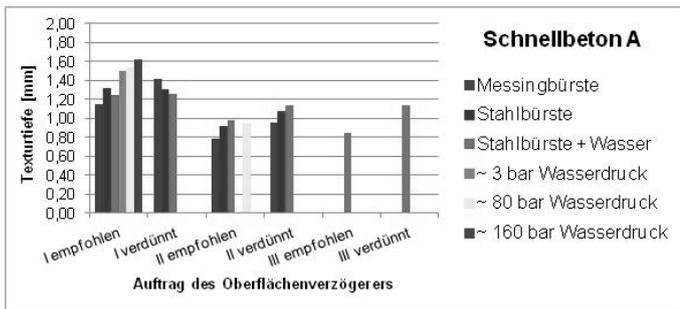


Bild 1: Texturtiefe von Schnellbeton A unter Variation der Ausbürst- bzw. Auswaschverfahren

Nicht mit allen frühhochfesten Fließbetonen konnte die angestrebte 8-Stunden-Druckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup> erreicht werden. Fließbeton, der mit einem frühhochfesten Zement (450 kg/m<sup>3</sup> CEM I 52,5 R, w/z-Wert: 0,38) hergestellt wurde, wies nach acht Stunden bereits eine Druckfestigkeit von 23,9 N/mm<sup>2</sup> auf. Bei Verwendung eines anderen Zements (CEM I 42,5 R) konnten die geforderte Druckfestigkeit erst nach rund 20 Stunden nachgewiesen werden. Der Oberflächenmörtel wurde bei diesen Betonen am zweckmäßigsten etwa acht Stunden nach der Betonherstellung entfernt. Bei den verschiedenen Ausbürstverfahren wurden mittlere Texturtiefen von 1,0 bis 1,5 mm erzielt (vgl. Bild 2). Durch die Wahl eines entsprechend frühhochfesten Zements ist es somit möglich, frühhochfeste Fließbetone herzustellen, mit denen die angestrebte Frühfestigkeit im Beton erreicht und gleichzeitig eine günstige Waschbetonstruktur herbeigeführt werden kann.

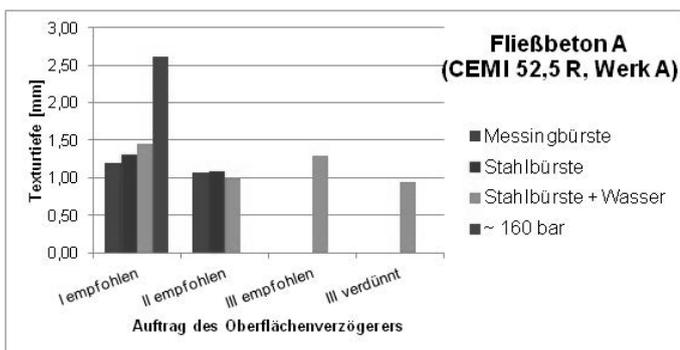


Bild 2: Mittlere Texturtiefe Fließbeton A

Durch die Zugabe von Erhärtungsbeschleunigern zu Betonen auf Basis eines CEM I 42,5 R bzw. CEM I 52,5 R konnten die Druckfestigkeiten nach acht Stunden erheblich gesteigert werden. Bei Verwendung eines CEM I 52,5 R konnten – unabhängig von der Art des Erhärtungsbeschleunigers – nach acht Stunden bereits Betondruckfestigkeiten von rund 35 N/mm<sup>2</sup> nachgewiesen werden. Bei Verwendung anderer Zemente (z. B. CEM I 42,5 R) sind ggf. höhere Zugabemengen an Erhärtungsbeschleunigern notwendig, um die angestrebten 20 N/mm<sup>2</sup> nach acht Stunden erreichen zu können. Trotz der raschen Festigkeitsentwicklung sind diese beschleunigten Betone ausreichend lang (bis 60 Minuten) verarbeitbar. An diesen beschleunigten Betonen wurde der Oberflächenmörtel nach etwa fünf Stunden entfernt. Beim Ausbürsten (mit einer Stahlbürste) wurden mittlere Texturtiefen von 0,8 bis 1,4 mm erreicht, beim Auswaschen mit Hochdruckwasserstrahl bis zu 1,8 mm. Letztere liegen deutlich über der angestrebten Texturtiefe von etwa 0,6 bis 1,1 mm (vgl. Bild 3). Da ein Ausbürsten mit Stahlbürste nach fünf Stunden problemlos möglich ist, besteht keine zwingend Notwendigkeit, den Oberflächenmörtel mit Hochdruckwasserstrahl auszuwaschen. Somit ist es prinzipiell möglich, größere Flächen auch mit Transportbeton unter Verwendung eines Erhärtungsbeschleunigers instandzusetzen, der ausreichend lang verarbeitbar ist, eine sehr schnelle Festigkeitsentwicklung aufweist und bei dem darüber hinaus auch eine entsprechende Waschbetonstruktur herbeigeführt werden kann.

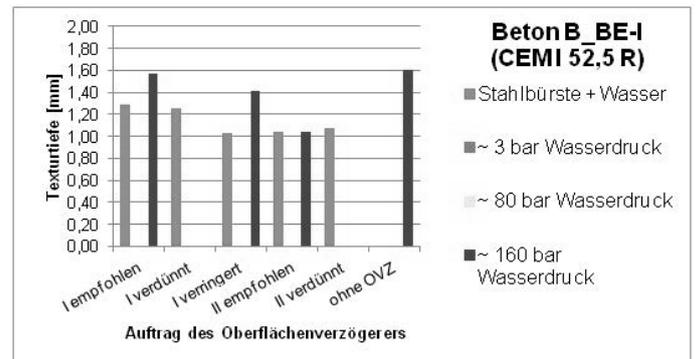
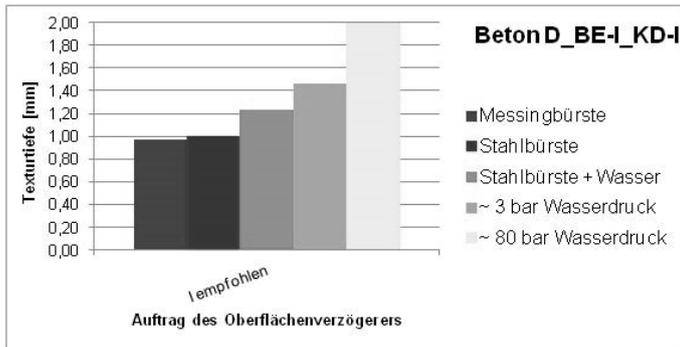


Bild 3: Mittlere Texturtiefe Beton B\_BE-I

In einem weiteren System wurden den beschleunigten Betonen unterschiedliche Kunststoffdispersionen zugegeben. Die so erzeugten beschleunigten kunststoffmodifizierten Betone wiesen nach acht Stunden größtenteils Druckfestigkeiten von rund 20 N/mm<sup>2</sup> auf. Durch die Verwendung von Kunststoffdispersionen auf Basis von Styrolbutadien bzw. einem Copolymer (Vinylacetat/Ethylen) konnten die Druckfestigkeiten im Vergleich zu beschleunigten Betonen ohne Kunststoffdispersion um rund 5 N/mm<sup>2</sup> auf 22,0 N/mm<sup>2</sup> gesteigert werden. Durch die Verwendung einer Kunststoffdispersion auf Basis von Acrylat wurde die Druckfestigkeit nach acht Stunden allerdings nahezu halbiert. Obwohl die kunststoffmodifizierten Betone eine gewisse Klebrigkeit aufwiesen, ließen diese sich problemlos und auch ausreichend lange verarbeiten. Die Waschbetonstruktur konnte mit verschiedenen Ausbürstverfahren fünf Stunden nach der Herstellung erzeugt werden, wobei mit Werten von 0,8 - 1,2 mm auch mittlere Texturtiefen im angestrebten Bereich erreicht wurden (vgl. Bild 4).



**Bild 4: Mittlere Texturtiefe des beschleunigten kunststoffmodifizierten Betons D\_BE-I\_KD-I (CEM I 42,5 R)**

In den orientierenden Untersuchungen mit reinen Kunstharzbetonen erwies es sich schwierig, mit vorkonfektionierten Systemen aus Kunstharzmörteln und weiterem Zusetzen von Basaltsplitt eine geeignete Waschbetonstruktur herzustellen. Durch das Einstreuen von grober Gesteinskörnung in die frische Mörteloberfläche konnten nur sehr ungleichmäßige Waschbetonstrukturen erzeugt werden. Das Entfernen des Oberflächenmörtels mit Aceton war bei einem lösemittelfreien 2-Komponenten-Methacrylharzmörtel zwar möglich, erwies sich zum einen aber als sehr aufwendig, zum anderen waren die groben Gesteinskörner im weichen Mörtel Großteils nach unten abgesunken. Mit entsprechenden Modifikationen erscheint es aber nicht unmöglich, auch in Oberflächen von reinen Kunstharzbetonen eine Waschbetonstruktur herbeizuführen.

Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts erzielten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass es grundsätzlich mit allen fünf untersuchten Systemen möglich ist, frühhochfeste Reparaturbetone für Verkehrsflächen aus Beton mit Waschbetonoberfläche herzustellen, die

- ausreichend gut und lange verarbeitbar sind,
- ihre Festigkeit ausreichend rasch entwickeln,
- eine geeignete Waschbetonstruktur ermöglichen und
- die eine ausreichende Dauerhaftigkeit, insbesondere einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen.

Für die praktische Anwendung bedarf es jedoch in jedem Einzelfall der gezielten Auswahl der Ausgangsstoffe, der Betonzusammensetzung und des Ausbürst-/Auswaschverfahrens. Insbesondere sind dabei die jeweiligen Temperaturverhältnisse beim Einbau des Betons zu berücksichtigen, zumal sich letztere maßgebend auf die Verarbeitbarkeit sowie die Festigkeitsentwicklung des jeweiligen Betons und damit auch auf den geeigneten Ausbürst-/Auswaschzeitpunkt und die Freigabe der instandgesetzten Fläche für den Verkehr auswirken.