



Die Festlegung des geringen w/z-Werts erfolgte, um das Bluten sicher zu vermeiden. Der Zementgehalt von  $430 \text{ kg/m}^3$  und der Frischbetonluftgehalt zwischen 4,5 - 7,5 % wurden gewählt, da auf diese Weise eine sehr gute Verarbeitbarkeit erreicht wird. Insbesondere ohne künstlich eingebrachte Luftporen war die Verarbeitbarkeit aufgrund eines sehr geringen Zusammenhalts der Betone unzureichend. Eine gute Verarbeitbarkeit war sehr wichtig, da der Prüfbeton auch bei  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  Frischbetontemperatur verarbeitet werden muss. Aus Sicht der Verarbeitung ist auch ein Beton mit stetiger Sieblinie möglich. Allerdings zeigten die Untersuchungen, dass es beim Ausbürsten häufiger zu einem größeren Verlust an Gesteinskörnern kommen kann, der bezüglich der Auswertung als störend empfunden wurde.

Für die weiteren Untersuchungen wurden die Betone je nach Untersuchungsziel mit 15, 20 und  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  Frischbetontemperatur hergestellt. Zudem kamen zwei unterschiedliche Zemente zum Einsatz. Mit einem weiteren CEM I 42,5 N (Z2), der eine 2d-Druckfestigkeit von  $27,4 \text{ N/mm}^2$  aufwies, sollten die Kombinationsmittel bei Verwendung von Zementen mit hoher Frühfestigkeit untersucht werden. Vergleichend dazu wurde ein CEM III/A 42,5 N (Z3) desselben Werks verwendet, um zu überprüfen, wie sich eine langsamere Festigkeitsentwicklung bei sonst gleichen Bedingungen auf die Waschbetontextur auswirkt.

### 3 Untersuchungsmethodik

#### 3.1 Untersuchungen mit Drahtbürste

Im ersten Teil wurde versucht, die Verzögerungswirkung der Kombinationsmittel bei 15 und  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  mittels Drahtbürste zu untersuchen. Dazu wurden Platten mit  $30 \times 30 \times 5 \text{ cm}$  hergestellt und die geglättete Oberfläche als Prüffläche verwendet. Ziel der Untersuchungen war es, die Ausbürstbarkeit und die sich ergebende Rautiefe in Abhängigkeit der Ausbürstzeit, der Erhärtungstemperatur und des verwendeten Zements zu untersuchen und eine Bewertungsgrundlage für die Kombinationsmittel zu schaffen. Dies sollte so geschehen, dass für eine jeweilige Lagerungsart eine Mindestzeit abgeleitet werden sollte, bis zu der noch eine Rautiefe von mind. 0,8 mm erreicht wird.

Im Rahmen dieser Untersuchungen erfolgte weiterhin eine tiefgreifendere Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen der Verzögerung und der Austrocknung der Randzone. Dazu wurden die Wasserabgabe bis zum Ausbürstzeitpunkt und der Wassergehalt des ausgebürsteten Materials bestimmt.

#### 3.2 Entwicklung einer Ausbürstvorrichtung und einer Wendeschalung

Die Ergebnisse des ersten Versuchsteils waren nicht zufriedenstellend. Eine Analyse der Ursachen ergab, dass ein Ausbürsten mit einer Drahtbürste keine ausreichende Reproduzierbarkeit und vor allem keine Übertragbarkeit zur Praxis aufwies. Es zeigte sich weiterhin, dass die abgezogene Oberfläche der Probekörper Schwankungen unterworfen ist, die sich negativ auf die Prüfung auswirken können (Bereiche ohne bzw. mit weniger Grobkorn). Es wurden deshalb eine zweite Schalung und eine Ausbürstvorrichtung entwickelt (Bild 1 bis Bild 4). In einem weiteren Versuchsprogramm wurde unter Einsatz der

neuen Schalung und der Ausbürstvorrichtung die Verzögerungswirkung bei  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  unter Verwendung des CEM I 42,5 N (Z2) und des CEM III/A 42,5 N geprüft. Es kamen die Mittel KM 2 und KM 3 zum Einsatz.



Bild 1: Ausbürstvorrichtung

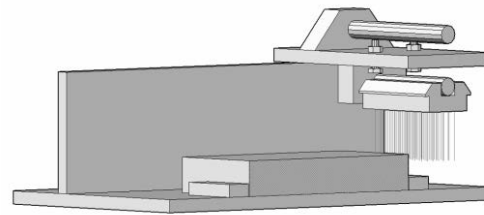


Bild 2: Schnitt durch die Ausbürstvorrichtung

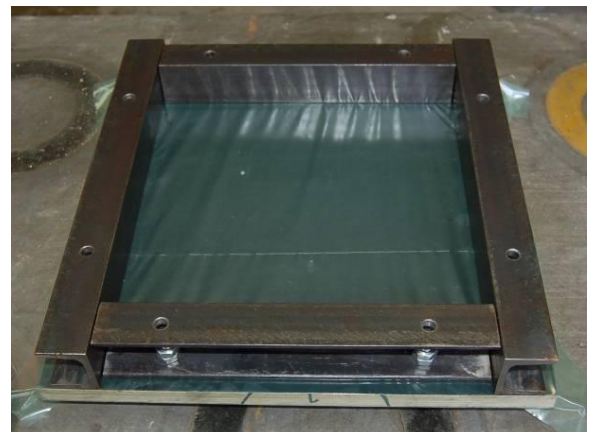


Bild 3: Stahlform mit Siebdruckplatte und eingelegter Folie (Wendeschalung)



Bild 4: Wendeschalung nach der Probekörperherstellung und dem Wenden

## 4 Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Ausbürstbarkeit bei 15 und 30 °C – Verwendung einer Drahtbürste

Durch ein Ausbürsten der Platten mit einer Drahtbürste konnte keine zufriedenstellende Prüfung der Kombinationsmittel erfolgen. Unabhängig vom verwendeten Zement und der Lagerungstemperatur wurde folgendes Verhalten festgestellt. Bei einem frühen Ausbürsten wurde eine sehr große Rautiefe (zwischen 1,1 - 1,4 mm) erreicht. Die Rautiefe nahm dann mit später einsetzendem Ausbürstzeitpunkt bis auf einen Wert zwischen 0,8 - 1,0 mm ab. Allerdings wurde diese Rautiefe auch noch nach 18 bis 24 Stunden erreicht. Bei einer Frischbeton- und Lagerungstemperatur von 30 °C ist es unter praktischen Bedingungen nicht möglich zu einem so späten Zeitpunkt noch eine zufriedenstellende Waschbetontextur herzustellen. Unterschiede zwischen den verwendeten Mitteln KM 1(b) und KM 2 konnten nicht sicher festgestellt werden. Auch ein Zementeinfluss ließ sich nicht zweifelsfrei ableiten.

Weitere Untersuchungen bei 20 °C zeigten, dass unter Verwendung der Drahtbürste nur Aussagen zur generellen Verzögerung bzw. Wirktiefe des Verzögerers möglich sind. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass auch eine Betonfläche (30 °C Lagerungstemperatur), die nicht mit einem Kombinationsmittel besprüht wurde, unter Verwendung einer Drahtbürste bis zu 8 Stunden nach Mischende ausgebürstet werden kann, d. h., eine Prüfung der Verzögerungswirkung mittels Drahtbürste muss in jedem Fall zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen, da sonst die Gefahr besteht, dass ein schlechtes Mittel dennoch als ausreichend geprüft wird.

In einem Baustellenversuch wurden die Ergebnisse aus dem Labor bestätigt. Obwohl es mit der auf Baustellen typischen maschinellen Ausbürstmethode bereits schwierig und zum Teil nicht mehr vollständig möglich war eine Waschbetonoberfläche zu erzeugen, war das beim händischen Ausbürsten mit der Drahtbürste oder einem Pendelbesen problemlos möglich.

### 4.2 Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Verzögerung und Austrocknung

Die Untersuchungen zur Änderung des Feuchtigkeitsgehalts in der verzögerten Mörtelschicht haben gezeigt, dass dieser Bereich neben der Wasserabgabe an die Umgebung vor allem durch eine innere Austrocknung massiv Feuchtigkeit verliert. Dies führt dazu, dass bei einer sehr guten Sperrwirkung zwar der Wasserverlust der Gesamtprobe sehr gering bleibt, die verzögerte Randzone aber dennoch fast vollständig austrocknet. Der bei 30 °C ungestört hydratisierende Kernbeton entzieht der verzögerten Randzone innerhalb von 15 Stunden so viel Wasser, dass der Feuchtegehalt auf 2 bis 4 M.-% absinkt. Im frischen Zustand beträgt der Wassergehalt ca. 17 M.-%. Die Folge dieser massiven Austrocknung ist, dass die Hydratation in der Randzone nicht zeitlich verzögert, sondern langfristig gestört wird. Die langfristige Beeinträchtigung der Hydratation in der Randzone erklärt, warum mit einer Drahtbürste auch nach 18 - 24 Stunden noch ausgebürstet werden kann. Der geringe Wassergehalt in der Randzone verlangsamt die weitere Hydratation so stark, dass dem stark abrasiven Angriff der Drahtbürste kein ausreichender Widerstand entgegengebracht werden

kann. Die sich gerade noch bildende geringe Festigkeit in der Randzone reicht aber aus, dass bei Anwendung einer weniger abrasiv wirkenden Ausbürsttechnik das Ausbürsten unmöglich ist.

### 4.3 Anwendung von Wendeschalung und Ausbürstvorrichtung

Die Vorteile der Wendeschalung und der Ausbürstvorrichtung können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Mit der Wendeschalung wird die untere Schalseite als Prüffläche verwendet. Dadurch ist eine gleichbleibende Mörtelschichtdicke möglich. Gleichzeitig unterliegt die Anzahl der groben Gesteinskörnung an der Oberfläche einer geringeren Schwankung.
- Die Ausbürstvorrichtung mit dem Pendelbesen erlaubt ein vom Bearbeiter weitgehend unabhängiges Ausbürsten der Proben.
- Durch die Verwendung einer Waage kann der Anpressdruck überprüft und gegebenenfalls mittels Stellschrauben eingestellt werden.
- Mittels der Ausbürstvorrichtung ist es möglich, die zeitliche Veränderung der Ausbürstbarkeit zu untersuchen.

Die Untersuchungen bei 30 °C unter Anwendung der Wendeschalung und der Ausbürstvorrichtung ergaben, dass bei Verwendung des CEM I 42,5 N (Z2) bis 8 Stunden nach Mischende ausgebürstet werden kann. Obwohl das Kombinationsmittel KM 3 im Vergleich zu KM 2 um 0,2 mm größere Rautiefen erzeugte, konnten bezüglich des möglichen Ausbürstzeitraums keine Unterschiede festgestellt werden. Beide Mittel ließen sich nur bis 8 Stunden nach Mischende ausbürsten. Die Rautiefe betrug ca. 0,9 mm (Kombinationsmittel KM 2) und 1,1 mm für das Kombinationsmittel KM 3. Unter Verwendung des CEM III/A 42,5 N (Z3) war ein Ausbürsten unabhängig vom verwendeten Kombinationsmittel bei sonst gleichen Bedingungen bis 10 Stunden nach Mischende möglich. Die zu diesem Zeitpunkt erreichte Rautiefe betrug für das Mittel KM 2 ca. 0,9 mm und für das Mittel KM 3 etwa 1,1 mm. Kurz bevor ein Ausbürsten nicht mehr möglich ist, wurden also für beide Zemente ganz ähnliche Rautiefen erreicht. Unter Verwendung des CEM I 42,5 N (Z2) und Kombinationsmittel KM 2 bei 20 °C war ein Ausbürsten bis 12 Stunden nach Mischende möglich. Die Rautiefe lag dann zwischen 0,9 mm und 1,0 mm.

## 5 Vorschläge für die Prüfung der Kombinationsmittel im Rahmen der TL NBM-StB

Auf Grundlage der Untersuchungen mittels Drahtbürste und der Ausbürstvorrichtung wurden zwei Vorschläge für eine Prüfung der Kombinationsmittel im Rahmen der TL NBM-StB erarbeitet. Für beide Vorschläge gilt: Die Prüfung muss mit einem Prüfbeton (gemäß Abschnitt 2 dieses Kurzberichts) und unter Verwendung der Wendeschalung durchgeführt werden. Es wird die Verwendung einer Ausfallkörnung empfohlen, da dann nicht das Problem der teilweisen Entfernung kleiner Splittkörner besteht. Um die schwierigsten Anforderungen an die Verzögerungskomponente zu stellen, muss die Frischbetontemperatur  $30 \pm 2$  °C betragen. Der verwendete Zement (CEM I 42,5 N)

muss die Anforderungen der TL Beton-StB 07 erfüllen und eine 2d-Druckfestigkeit von mindestens 25 N/mm<sup>2</sup> aufweisen. Die Lagerung der Probe erfolgt bei 30 °C/40 % r. F. Der Auftrag des Kombinationsmittels erfolgt 45 Minuten nach Mischende.

Vorschlag 1:

Der Vorschlag einer Prüfung der Kombinationsmittel mittels Drahtbürste erlaubt nur eine Beurteilung der generellen Verzögerungswirkung. Das heißt, es kann festgestellt werden, ob die verzögernde Komponente ausreichend oder zu stark dosiert ist. Damit können falsch eingestellte Kombinationsmittel von einer Verwendung ausgeschlossen werden. Aussagen, wie lange ein Ausbürsten möglich ist, sind damit nicht möglich. Ein Mittel, das nach diesem Vorschlag geprüft wird, muss 12 Stunden nach Mischende eine Rautiefe von 0,9 mm aufweisen. Ein oberer Grenzwert wird nicht festgelegt. Eine zu hohe Dosierung der Verzögerungskomponente wird dadurch verhindert, dass auf einer Fläche von 30 cm x 30 cm nicht mehr als 9 Splittkörner (≥ 5 mm) ausgebürstet werden dürfen.

Vorschlag 2:

Die vorgeschlagene Vorgehensweise bei Verwendung der Ausbürstvorrichtung erlaubt zwar detaillierte Aussagen zum zeitlichen Verlauf der Ausbürstbarkeit und weist eine größere Nähe zur Praxis auf. Die Datenbasis ist nach bisherigen Untersuchungen aber noch gering, da die Ausbürstvorrichtung bisher nur am FIB angewendet wurde. Hier wären deshalb im Rahmen einer eventuellen Einarbeitung in die TL NBM-StB in jedem Fall weitere Untersuchungen in Form eines Ringversuchs notwendig. Ein Mittel, das nach diesem Vorschlag geprüft wird, muss 8 Stunden nach Mischende eine Rautiefe von 0,8 mm aufweisen. Ein oberer Grenzwert wird nicht festgelegt. Eine zu hohe Dosierung der Verzögerungskomponente wird dadurch verhindert, dass auf einer Fläche von 30 cm x 30 cm nicht mehr als 9 Splittkörner (≥ 5 mm) ausgebürstet werden dürfen.