

Selbstverdichtender Beton mit hoher Grünstandfestigkeit für den Einsatz in Gleitschalungsfertigern im Betonstraßenbau

FA 8.192

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum,
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
(Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher)

Bearbeiter: Cokovik, A./Sarmiento, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Juni 2011

1 Aufgabenstellung

Bei der Herstellung von Fahrbahndecken aus Beton werden bislang Betone von steifer bis sehr steifer Konsistenz mit Gleitschalungsfertigern eingebaut. Dementsprechend ist es unumgänglich, den Beton mit am Fertiger fest angeordneten Innenrüttlern zu verdichten. Dies führt dann unter Umständen zu lokal unterschiedlicher Verdichtung über den Querschnitt, wodurch sich auch die Betoneigenschaften über den Querschnitt geringfügig unterscheiden können. Kommt es im Laufe der Nutzung zu Spannungen, die die Zugfestigkeit des Betons überschreiten, entstehen Risse, die sich dann meist in den o. g. systembedingten Schwachstellen ausbilden. Dabei sind diese Schwachstellen nicht zwangsläufig als rissursächlich, sondern lediglich als lokalisierend zu bezeichnen.

Selbstverdichtende Betone (SVB) bedürfen keiner externen Verdichtungsenergie und sind allein unter dem Einfluss der Schwerkraft in der Lage, sich vollständig selbst zu entlüften. Mit selbstverdichtendem Beton könnte beim Bau von Fahrbahndecken der Einbau erleichtert, wirtschaftlich verbessert und die oben als potenzielle Schwachstellen dargelegten Bereiche eliminiert werden. Zu diesem Zweck müssen jedoch zwei einander mehr oder weniger entgegenlaufende Eigenschaften bzw. deren Anforderungen in Einklang gebracht werden. Zum einen muss der Beton so fließfähig sein, dass er sich allein unter dem Einfluss der Schwerkraft vollständig selbst entlüftet und zum anderen im ruhenden Zustand und innerhalb kürzester Zeit ein sehr steifes Verhalten aufweist, damit dieser beim Verlassen des Gleitschalungsfertigers, d. h. nach wenigen Minuten, eine ausreichend hohe Grünstandfestigkeit aufweist und die Fahrbahnplatte auch im frischen Zustand ihre Form beibehält.

2 Untersuchungsmethodik

Um dieser Fragestellung näher zu kommen, wurden in diesem Forschungsprojekt vor allem rheologische Untersuchungen an Bindemittelleimen durchgeführt. Schwerpunktmäßig wurden in diesen Untersuchungen das Verhalten von unterschiedlichen Zusatzstoffen und Zusatzmitteln, wie z. B. Flugasche, Quarzmehl, Metakaolin, Thixotropiermitteln, thixotropierenden Zusätzen etc. auf die rheologischen und thixotropen Eigenschaften von Bindemittelleimen erfasst.

Die Bindemittelleime wurden mit einer Wassermenge entsprechend dem 1,2- bis 1,4-fachen des jeweils ermittelten Wasseranspruchs des Bindemittels ($WA^{*1,2}$ bzw. $WA^{*1,4}$) hergestellt. Damit wurde eine ausreichende Konsistenz der Bindemittelleime für die Untersuchungen (im Rotationsviskosimeter) sichergestellt. Als Bindemittel kamen jeweils ein Portlandzement CEM I 42,5 N bzw. ein Hochofenzement CEM III/A 42,5 N zum Einsatz. Die Dosiermengen der (thixotropierenden) Zusätze richteten sich unter Berücksichtigung der Herstellerangaben in erster Linie nach der Verarbeitbarkeit der Leime.

Die Fließfähigkeit der Bindemittelleime (Scherfestigkeit und Viskosität in Kombination) wurde anhand eines Setzfließmaßes bestimmt sowie die "Grünstandfestigkeit" anhand der Formstabilität eines freistehenden Leimkörpers beurteilt. Zur Bestimmung des Setzfließmaßes wurde ein Setztrichter befüllt und anschließend hochgezogen. Der Bindemittelleim begann ohne weitere Schock- oder Klopfwirkung allein unter der Schwerkraft zu fließen. Nach Beendigung des Fließvorgangs wurde der Durchmesser des Leimkuchens als dessen Setzfließmaß zur Charakterisierung von dessen Fließfähigkeit bestimmt.

Die Formstabilität wurde nach einer entsprechenden Wartezeit von 5 bzw. 10 Minuten bestimmt, indem der Setztrichter erst nach dieser Wartezeit hochgezogen und anschließend das Setzmaß, d. h., das Absinken der Probenoberfläche gemessen wurde (Bild 1).

Zur Beurteilung der Grünstandfestigkeit bzw. Formstabilität wurde ein Formstabilitätskoeffizient K nach folgender Gleichung definiert:

$$K = \frac{11}{(D + d - h)}$$

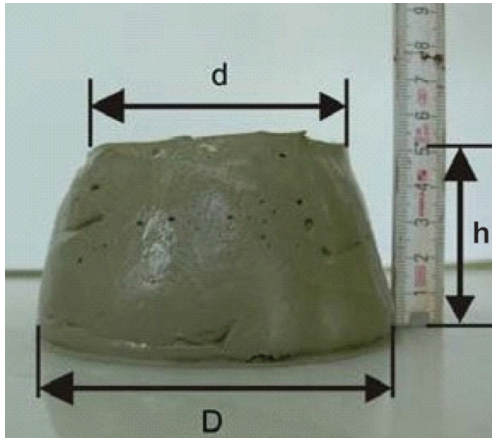


Bild 1: Bestimmung der Abmessungen (Basisdurchmessers D, Höhe h und oberer Durchmesser d) des freistehenden Probekörpers

Für die hier vorliegende Aufgabe wurde ein Formstabilitätskoeffizient K, der möglichst nahe an 1 herankommt, angestrebt.

Um dem Ziel miteinander entgegenlaufender Anforderungen (Selbstverdichtung mit unmittelbar anschließender hoher Grünstandfestigkeit) nahe zu kommen, wurden diesbezüglich vorab ein Setzfließmaß ≥ 20 cm sowie ein Formstabilitätskoeffizient $K \geq 0,9$ als Mindestgrenzen bestimmt.

3 Ergebnisse

3.1 Untersuchungen an Bindemittelleimen

In den Untersuchungen an Bindemittelleimen zeigte sich, dass jene, die mit CEM III/A 32,5 N hergestellt wurden, gegenüber den Bindemittelleimen mit CEM I 32,5 N ein verringertes Fließvermögen und relativ hohe Formstabilitäten aufwiesen. Höhere Wassergehalte in den Bindemittelleimen führten i. d. R. zu einer Verringerung der rel. Fließgrenze und rel. Viskosität. Die Zugabe

von Fließmitteln setzte lediglich die rel. Fließgrenze herab, während die Viskosität im Wesentlichen unverändert blieb.

Im Bild 2 sind die ermittelten Formstabilitäten und gemessenen Setzfließmaße der Bindemittelleime, die unter Zugabe einzelner Zusätze hergestellt wurden, dargestellt. Dabei sind nur jene Bindemittelleime berücksichtigt, die den vorab definierten Mindestgrenzen, einem Setzfließmaß größer 20 cm und einem Formstabilitätskoeffizienten $K > 0,9$, am nächsten lagen.

Wie anhand der Ergebnisse deutlich wird, wurde der Zielgrößbereich nur von Bindemittelleimen mit Fließmittel FM 2 (auf PCE-Basis) erreicht. Alle übrigen Bindemittelleime zeigten im Vergleich dazu z. T. deutlich geringere Setzfließmaße und Formstabilitätskoeffizienten auf. Die Erhöhung der Zugabemengen an Quarzmehl von 4,0 M.-% v. Z. auf 5,0 M.-% v. Z. führte zu einem Anstieg der gemessenen Setzfließmaße und ermittelten Formstabilitätskoeffizienten.

Generell führte das erneute Mischen der Bindemittelleime nach rd. 5 Minuten zu einer Verflüssigung des Mischguts und dementsprechend zu höheren Setzfließmaßen, welches im Wesentlichen auf den erneuten Strukturbruch des Mischguts zurückzuführen war. Im weiteren Verlauf der rheologischen Untersuchungen wurden Bindemittelleime unter Zugabe kombinierter Zusätze, wie z.B. Thixotropiermittel, Metakaolin und einem thixotropierenden Zusatz hergestellt. In diesen Untersuchungen wurde deutlich, dass Bindemittelleime, die mit Thixotropiermittel hergestellt wurden, im Vergleich zur entsprechenden Nullmischung (Bindemittelleim ohne Thixotropiermittel) geringere Fließfähigkeiten aufwiesen. Dafür konnte eine signifikante Erhöhung der Formstabilität beobachtet werden. Eine Erhöhung der Zugabemengen an thixotropierenden Zusätzen und Thixotropiermitteln, bei sonst gleichbleibender Leimzusammensetzung bewirkte i. d. R. eine verringerte Fließfähigkeit und erhöhte Formstabilität.

3.2 Orientierende Untersuchungen an Betonen

In den orientierenden Untersuchungen an Betonen wurden insgesamt 6 Betonrezepturen untersucht. Dabei diente Mischung M-1 als Referenzmischung für einen üblichen Beton im Straßenbau. Den übrigen 5 Mischungen (Mischung M-2 bis M-6) wurden

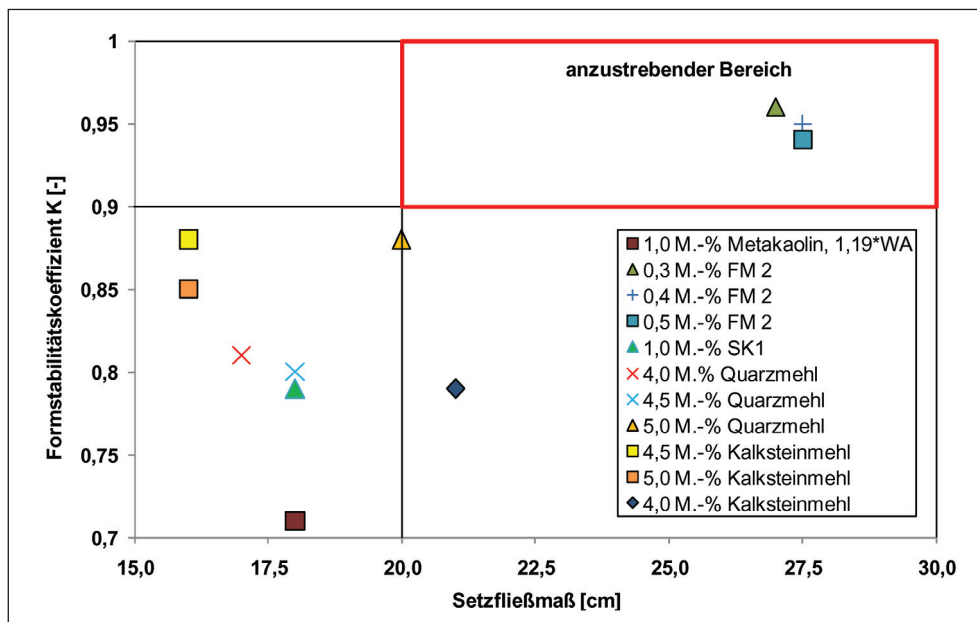


Bild 2: Bindemittelleime unter Zugabe einzelner Zusätze: Zusammenhang zwischen Setzfließmaß und Formstabilitätskoeffizient K

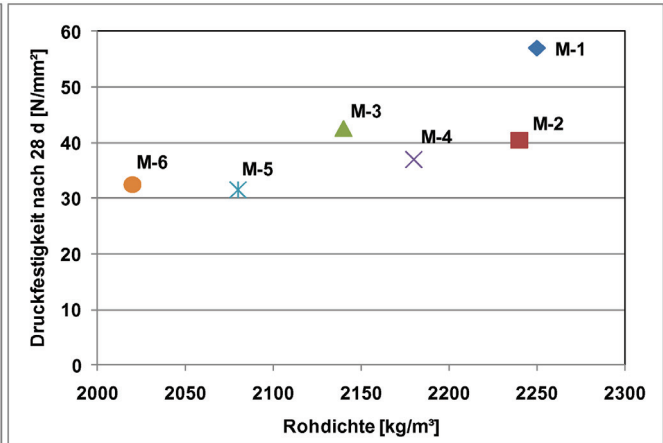
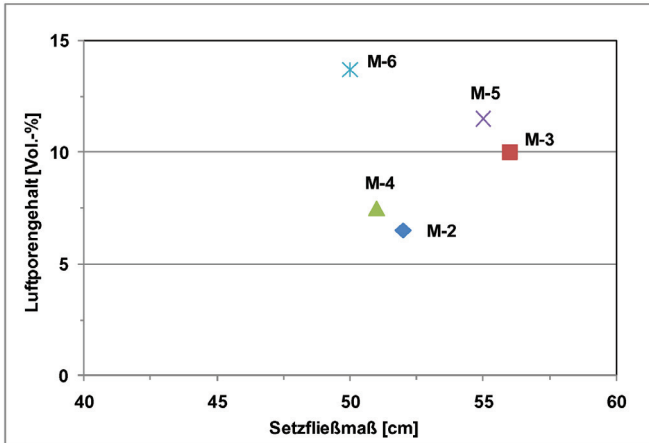


Bild 3: Links: Zusammenhang zwischen Luftporengehalt und Rohdichte; Rechts: Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Rohdichte

Tab. 1: Parametervariationen für die untersuchten Betone M-2 bis M-6

| Ausgangsstoffe in M.-%* | Mischungen | | | | |
|--|------------|------|------|------|------|
| | M-2 | M-3 | M-4 | M-5 | M-6 |
| Quarzmehl | 57,0 | 57,0 | 57,0 | | |
| Kalksteinmehl | | | | 57,0 | |
| Metakaolin | | | | | 25,0 |
| Fließmittel (PCE-Basis) | 1,9 | 1,95 | 2,55 | 2,0 | 4,15 |
| Thixotropiermittel T2 (Organische Polymere) | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,8 | 1,95 |
| Thixotropierender Zusatz SK 1 (Mineralgemisch aus Kaolinit, Illit und Quarz) | | 1,0 | | | |
| Thixotropierender Zusatz SK 5 (Stärke) | | | 1,0 | | |

* Alle Angaben beziehen sich auf den Zementgehalt

Betonzusatzstoffe, wie z. B. Quarzmehl und Metakaolin, thixotropierende Zusätze (SK1 und SK5) und Thixotropiermittel T2 (Basis modifizierte Polymere) zugegeben. Eine Übersicht der Parametervariationen ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 2: Formstabilitätskoeffizient zum Zeitpunkt von 10 Minuten (K_{10}) und 15 Minuten (K_{15})

| Formstabilitätskoeffizient | M-2 | M-3 | M-4 | M-5 | M-6 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| K_{10} | 0,97 | 0,19 | 0,31 | 0,61 | 0,35 |
| K_{15} | 0,94 | 0,26 | 0,39 | 0,84 | 0,45 |

Die Ergebnisse der orientierenden Untersuchungen sind dem Bild 3 zu entnehmen. Demnach zeigten die thixotrop eingestellten Betone Setzfließmaße von max. 56 cm auf, welches den Konsistenzklassen F4/F5 entsprach und dementsprechend den leicht verarbeitbaren Betonen zuzuordnen war. Mischung M-6 zeigte das geringste Setzfließmaß auf, welches primär auf die äußerst hohe Klebrigkeit dieses Betons zurückzuführen war.

In der Tabelle 2 sind die ermittelten Formstabilitätskoeffizienten der untersuchten Betone dargestellt.

Die höchste Formstabilität wurde für Mischung M-2 mit $K_{10} = 0,97$ und $K_{15} = 0,94$ ermittelt. Nach 15 Minuten wurde für diese Mischung jedoch ein geringerer Formstabilitätskoeffizient ermittelt, welches auf Prüfstreuungen zurückzuführen ist. Die Mischungen M-4 und M-6 wiesen Formstabilitätskoeffizienten von $K_{10} = 0,31$ bzw. $K_{10} = 0,35$ auf. Nach 15 Minuten stiegen die Formkoeffizienten geringfügig an.

Die Druckfestigkeiten der Betone lagen nach 28 Tagen zwischen rd. 32 N/mm² und 57 N/mm² (Bild 3, rechts), wobei die höchsten Festigkeiten von Mischung M-1 erzielt wurden.

4 Folgerungen für die Praxis

Zwar wurde das Ziel, der Entwicklung eines selbstverdichtenden Betons mit hoher Grünstandfestigkeit bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht in ausreichendem Maß erreicht, dennoch sind die Ergebnisse positiv zu werten. Aufgrund der bisherigen Versuche kann festgehalten werden, dass es grundsätzlich möglich erscheint durch entsprechende modifizierte Bindemittelleime die angestrebten einander entgegenlaufenden Anforderungen bezüglich Selbstverdichtung und hoher Grünstandfestigkeit zu erfüllen. Allerdings sind zum vollständigen Erreichen der o. g. Zielsetzung weitere Optimierungen der Betone unabdingbar.