

# Der Kugeleindringversuch – Ein Schnelltest zur Bestimmung der Sedimentationsbeständigkeit selbstverdichtender Betone

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 12 (2007)

Dipl.-Ing. Dirk Lowke, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Peter Schießl

Arbeitsgruppe 2: Beton

Förderer: Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)

## 1 Problematik

Trotz seiner zahlreichen betontechnologischen Vorteile hinsichtlich Verarbeitbarkeit und Ausführungsqualität, die sich bei fachgerechtem Umgang auch wirtschaftlich niederschlagen, ist es den selbstverdichtenden Betonen in Deutschland bisher nicht gelungen, im angemessenen Umfang zur Anwendung zu kommen. Eine Ursache stellt sicherlich der hohe Überwachungsaufwand der Frischbetoneigenschaften dar. Schwankungen in der Mischungszusammensetzung oder Schwankungen in der Qualität der Ausgangsstoffe können zu einem Verlust der optimalen Eigenschaften des selbstverdichtenden Betons führen. Während für die Verarbeitbarkeitseigenschaften geeignete Kriterien wie das Setzfließmaß mit und ohne Blockierung oder die Trichterauslaufzeit, die eine unmittelbare Bewertung auch unter baupraktischen Bedingungen zulassen, vorhanden sind, fehlt bisher ein entsprechender, einfach zu handhabender Schnelltest zur Bestimmung der Sedimentationsbeständigkeit.

Der hier vorgestellte Kugeleindringversuch bietet sowohl eine kurze Versuchsdauer als auch eine einfache Versuchsdurchführung. Mit diesem Versuch kann die Gefügestabilität sicher bewertet werden. Der Kugeleindringversuch zeigt eine gute Korrelation zum Zylinder-Sedimentationsversuch der Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ des DAfStb und ermöglicht somit die Festlegung eines äquivalenten Grenzwerts zur Klassifizierung der Sedimentationsbeständigkeit von SVB entsprechend dieser Richtlinie.

## 2 Kugeleindringversuch

Die Idee des Kugeleindringversuchs liegt in der Bewertung des Eindringverhaltens von Kugeln mit definiertem Durchmesser und definierter Dichte in den Beton. Der schematische Aufbau dieses Sedimentations-Schnelltests ist in Bild 1 dargestellt. Entgegen rheologischen Messverfahren, wie bspw. einem Kugelfallviskosimeter, dient dieser Test nicht dazu, die Fließgrenze oder die Viskosität des Betons zu bestimmen. Es soll

vielmehr das Sedimentationsverhalten der groben Gesteinskörnung simuliert werden. Aus diesem Grund entspricht die Dichte der Kugel der Dichte der groben Gesteinskörnung. Der Durchmesser liegt ebenfalls im Bereich der groben Gesteinskörnung. So entsprechen die Kraft- und Geschwindigkeitsverhältnisse dem realen Sedimentationsvorgang der groben Gesteinskörnung in der Mörtelmatrix. Um eine Behinderung des Absinkens der Kugel durch den Grobzuschlag zu vermeiden, wird zunächst ein Käfig mit einer Maschenweite von 8 mm in den Beton eingeführt. Anschließend wird ein definierter Strukturbruch im SVB-Mörtel ( $d < 8$  mm im Bereich des Käfigs) erzeugt und die Kugel von oben senkrecht vollständig in den Mörtel eingeführt. Der Strukturbruch erfolgt mit Hilfe einer Lochscheibe ( $d = 65$  mm) mit 19 Rundlöchern ( $d = 8$  mm) und einen konzentrisch angeordnetem Griff. Dazu wird die Lochscheibe parallel auf die Mörteloberfläche im Bereich des Käfigs aufgesetzt und innerhalb von 15 s zweimal vollständig in den Mörtel eingedrückt (Hubhöhe 400 mm) und wieder herausgezogen. Nach einer Ruhephase  $t_p$  lässt man die Kugel frei in den Mörtel eindringen. Beim Einsinkvorgang werden Sinkgeschwindigkeit und Eindringtiefe aufgezeichnet. Aus den ermittelten Messwerten kann die Sedimentationsneigung bestimmt werden.

## 3 Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden an zwei selbstverdichtenden Betonen mit üblicher Zusammensetzung und üblichen Mischzeiten durchgeführt (SVB.A bzw. SVB.B). Die entwickelten selbstverdichtenden Betone sind in Bezug auf ihre Gefügestabilität vergleichsweise robust gegenüber Schwankungen im Wassergehalt. Um die Gefügesta-

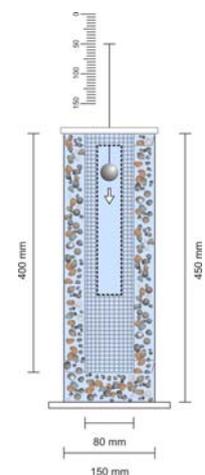


Bild 1: Kugeleindringversuch

bilität gezielt herabzusetzen und so eine Sedimentation der groben Gesteinskörnung zu erzeugen, wurde bei den Betonen planmäßig Wasser (5; 10; 15 l/m<sup>3</sup>) bzw. Fließmittel (0,2; 0,4; 0,6; 0,8 M.-%) überdosiert. An allen Betonen wurden zunächst die Fließeigenschaften 10 min nach Wasserzugabe bestimmt. Die Untersuchungen zum Sedimentationsverhalten wurden 15 min nach Wasserzugabe durchgeführt. In Ihrer Soll-Zusammensetzung ( $\pm 0$  l/m<sup>3</sup> Wasser /  $\pm 0$  M.-% Fließmittel) wiesen beide Betone ein Setzfließmaß mit Blockierung im Bereich von  $d_{Sj} = 710 \pm 20$  mm auf; mit zunehmendem Wassergehalt stieg das Setzfließmaß erwartungsgemäß.

Zur Bestimmung eines Grenzwerts wurden die Ergebnisse des Kugeldringversuchs den Ergebnissen des Zylinder-Sedimentationsversuchs gegenübergestellt. Zunächst galt es zu klären, ob die Ergebnisse beider Versuche korrelieren und inwieweit dieser Zusammenhang von der Betonzusammensetzung beeinflusst wird. In Bild 2 sind die Eindringtiefen (Kugeldurchmesser  $d = 30$  mm, -dichte  $\rho = 2,7$  g/cm<sup>3</sup>, Messbeginn  $t_p = 120$  s, Messzeit  $t_e = 120$  s) für die Betone SVB.A ( $\diamond$ ) bzw. SVB.B ( $\triangle$ ) dargestellt. Die blau hinterlegten Symbole stellen dabei die Betone mit Soll-Zusammensetzung sowie Betone mit erhöhtem Wassergehalt (W) dar, während die gelb hinterlegten Symbole für die Betone mit erhöhtem Fließmittelgehalt (FM) stehen. Mit zunehmender Abweichung des Grobkorns  $\Delta m_{8/16}$  [%] beim Zylinder-Sedimentationsversuch steigt auch die Eindringtiefe der Messkugel  $e$  [mm] beim Kugeldringversuch. Dabei kann im untersuchten Bereich sowohl beim Beton SVB.A als auch beim SVB.B annähernd eine lineare Beziehung zwischen den Messergebnissen von Zylinder-Sedimentationsversuch und Kugeldringversuch festgestellt werden. Die Abhängigkeit zwischen Eindringtiefe beim Kugeldringversuch und der Abweichung des Grobkorns beim Zylinder-Sedimentationsversuch ist bei beiden Betonen gleichermaßen gegeben. Die Betone wurden bewusst unterschiedlich konzipiert, um eine erste Aussage über die Abhängigkeit eines Grenzwerts für die Gefügestabilität von der Zusammensetzung des Betons treffen zu können. Während SVB.A einen hohen Grobkorngehalt hat, weist SVB.B einen sehr hohen Mehlkorngehalt auf. Zudem wurden zwei verschiedene Zemente, Zusatzstoffe (SVB.A Kalksteinmehl, SVB.B Flugasche) und Fließmittel eingesetzt. In weiteren Versuchsreihen wurde die Dauer der Ruhephase  $t_p$  zwischen Strukturbruch und Versuchsstart, die Messdauer  $t_e$ , der Kugeldurchmesser  $d$  sowie die Rohdichte  $\rho$  der Kugel variiert. Eine detaillierte Darstellung der Untersuchungen ist in „beton“ 3/2007 [1] zu finden.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen lassen sich die folgenden Parameter als optimal für die Bewertung der Sedimentationsbeständigkeit selbstverdichtender Betone mit Hilfe des Kugeldringversuchs ableiten:

- Dichte der Kugel entsprechend der Dichte der groben Gesteinskörnung
- Kugeldurchmesser:  $d = 30$  mm
- Dauer der Ruhephase:  $t_p = 120$  s
- Messdauer:  $t_e = 120$  s

Die Ergebnisse, die mit den entsprechenden Parametern ermittelt wurden, sind in Bild 2 dargestellt. Legt man den in der Richtlinie Selbstverdichtender Beton des DAfStb [2] festgelegten Grenzwert für den Zylinder-Sedimentationsversuch von  $\Delta m_{8/16} \leq 20$  % zugrunde, so scheint für den Kugeldringversuch mit den o.g. Parametern ein äquivalenter Grenzwert von  $e \leq 100$  mm zur Klassifizierung gefügestabiler selbstverdichtender Betone angemessen.

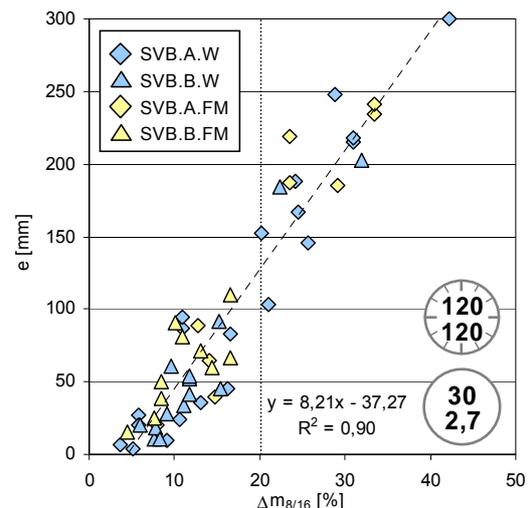


Bild 2: Eindringtiefe  $e$  beim Kugeldringversuch ( $d = 30$  mm,  $\rho = 2,7$  g/cm<sup>3</sup>,  $t_p = 120$  s,  $t_e = 120$  s) in Abhängigkeit von der max. Abweichung des Grobkorns

Mit dem Kugeldringversuch wird eine einfache und schnelle Beurteilung der Sedimentationsbeständigkeit selbstverdichtender Betone in situ möglich. Der Versuchsaufwand zur Bestimmung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung wird deutlich reduziert. Wie heute die Fließfähigkeit mit Hilfe des Setzfließmaßes bestimmt wird, kann zukünftig die Sedimentationsbeständigkeit ebenso schnell und unkompliziert bewertet werden. Letztendlich trägt dies zur Reduzierung des Überwachungsaufwands beim Einsatz von SVB bei und steigert die Attraktivität dieses innovativen Baustoffs.

[1] Lowke, D.; Schießl, P.: Schnelltest zur Bestimmung der Sedimentationsneigung selbstverdichtender Betone. Beton 3 (2007) 57, S. 86-90